

Caracterización Operacional y de Mantenimiento de la Flota de Cargadores Cat-990 en Servicio ubicados en una Mina de la Región Caribe.

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.13>

Fecha de Recepción: 15/09/2021. Fecha de Publicación: 2/10/2021

Oscar Alfredo Jiménez Meza

Universidad de la Costa CUC. Barranquilla, (Colombia)

Ojimenez9@cuc.edu.co

Resumen: El presente artículo muestra los resultados de la investigación en la cual se aplicó la metodología RCM 2 que tuvo como propósito establecer el contexto operacional, el listado de funciones y la determinación de los sistemas críticos aplicando un análisis de criticidad a la flota de cargadores CAT-990 en servicio, ubicado en una mina de la región caribe. Este trabajo fue desarrollado para optar mejora de funcionamiento en área de logística en la empresa minera de investigación. A través de este artículo se destaca la importancia que tiene el mantenimiento y la logística empresarial como herramienta tecnológica para el mejoramiento de procesos productivos, que va más allá del simple monitoreo impuesto por las técnicas de control convencionales, sin desmeritarlas como herramientas útiles para controlar su rendimiento.

Palabras Clave: Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, Contexto Operacional, Listado de Funciones, Análisis de Criticidad.

Abstract: This article shows the results of the research in which the RCM 2 methodology was applied, whose purpose was to establish the operational context, the list of functions and the determination of critical systems by applying a criticality analysis to the fleet of CAT-loaders. 990 in service, located in a mine in the Caribbean region. This work was developed to opt for operational improvement in the logistics area of the research mining company. Through this article, the importance of maintenance and business logistics as a technological tool for the improvement of production processes is highlighted, which goes beyond the simple monitoring imposed by conventional control techniques, without detracting from them as useful tools to control their performance.

Keywords: Reliability centered maintenance, operational context, List of Functions, Criticality Analysis.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el área de mantenimiento, ha sufrido cambios aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Así, como en su concepción de trabajo, pasando a ser de una actividad reactiva, intensivo en tareas a una idea con enfoque eficiente y proactivo, debido a que los imprevistos, generan un descenso en la productividad y aumento en los costos. El mantenimiento nace en respuesta a la necesidad existente de las industrias en mantener en forma continua y creciente los niveles de producción, para garantizar un buen funcionamiento de los equipos. Esto le proporciona a la actividad de mantenimiento una visión de negocio ya que se

convierte en un factor a tener en cuenta dentro de la estructura empresarial. Así como asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, costos generales y utilización de recursos disponibles. [1-3]

De manera cronológica el mantenimiento ha sufrido muchas variaciones, desde 1940 el mantenimiento se centraba en la máquina y en repararla; una década después se ajustó en la producción y en el mantenimiento los equipos; a los 80's el mantenimiento se enfoca en la productividad manteniendo la disponibilidad de los equipos a menores costos, en los años noventa y se centró en la disponibilidad, confiabilidad, seguridad, y calidad para tener una alta competitividad; del

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

BILO vol. 3.No. 1 Enero - Junio, 2021

Barranquilla. ISSN Online 2711-3280.

milenio en adelante, se centraliza en la innovación tecnológica manteniendo como pilares la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad con un enfoque ecológico y reducción de costos. Es debido a este nuevo concepto que actualmente el mantenimiento es uno de los pilares en los que se basa la estrategia del negocio cambiando paradigmas y conceptos que nos permitirán llegar a grandes innovaciones. Por estas razones muchos empresarios y responsables de mantenimiento se preguntan si la dimensión, calidad y recursos de su sistema de mantenimiento, están en concordancia con los objetivos de su empresa. Es decir, desean conocer si su servicio de mantenimiento, será capaz ahora y en el futuro de lograr que la maquinaria e instalaciones trabajen con seguridad de funcionamiento, pero a un costo razonable y sostenible para la economía de la empresa. [4]. En la actualidad, la minería colombiana está sufriendo una expansión sin precedentes en los anales de esta actividad. Pero ese avance al ser tan abrupto y repentino, muchas veces no es acompañado por el de las actividades de apoyo como las constituyen mantenimiento, y sus ligadas, logística y abastecimiento. Es acá donde debe ponerse la mayor atención, pues el mantenimiento en minería (en especial la gran minería) es en muchos casos el primer presupuesto de la empresa y por lo tanto debe ser manejado de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite paradas, accidentes, problemas ecológicos, desviaciones en el presupuesto, etc. [5-9]. Es por ello que el desarrollo del presente proyecto tuvo como propósito desarrollar un plan de mantenimiento preventivo e identificar los sistemas críticos que causan mayor relevancia en cuanto al mantenimiento de la flota de los cargadores CAT-990 en servicio, Ubicado en la región Caribe de Colombia. Incluido a lo anteriormente descrito, el interés del trabajo radica en que el sistema actualmente presenta inconvenientes que influyen adversamente sobre la gestión de mantenimiento, como lo son incremento de las paradas no programadas, gran cantidad de horas extras utilizadas, desgaste de los equipos por antigüedad, igualmente la importancia que representa para lograr normal producción en la empresa.

2. ESTADO DEL ARTE.

El mantenimiento es uno de los factores claves para la buena operación y desarrollo de las plantas industriales. Este se puede definir como el conjunto de actividades ejecutadas para mantener en buenas condiciones de funcionamiento los bienes, equipos e instalaciones que posee la empresa minera, que permitan la maximización de la disponibilidad de estos para la producción. Dependiendo de la forma, el objetivo y la oportunidad en que se realizan las acciones, se pueden resaltar tres tipos de mantenimiento: el preventivo, correctivo y

predictivo, permitiendo este último la detección de las anomalías que presente el equipo, mediante el análisis e interpretación de los parámetros de funcionamiento. [10-13]. Durante muchos años, el tipo de mantenimiento predominante ha sido el preventivo, que consiste en la sustitución o reparación de componentes a intervalos fijos determinados ya sea en base a recomendaciones del fabricante del equipo o por estadísticas extraídas de los historiales. Pero esto no garantiza los niveles de confiabilidad requeridos en la actualidad, al mismo tiempo que lleva a un sobrecosto por sustitución de partes o lubricantes cuando todavía se encuentran aptos para el uso. El mantenimiento predictivo se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria. El mayor beneficio de la utilización de estas herramientas, es que se logra una alerta temprana que permite planificar una parada para corregir el problema, alcanzando de ésta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.

[14]. A medida que ha pasado el tiempo el mantenimiento de equipos en grandes proyectos civiles ha ido evolucionando, adoptando nuevas herramientas para su desarrollo como las mencionadas anteriormente, en un futuro se prevé que los equipos cuenten con sistemas con vidas útiles predeterminadas, donde no será necesario la reparación de los componentes sino simplemente el cambio de este por uno nuevo. En los últimos tiempos, se ha empezado a hablar del concepto de confiabilidad, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas críticas durante la operativa, es decir lograr conseguir una alta confiabilidad. La no disponibilidad tiene fuerte impacto en la operativa y asociados altos costos de no disponibilidad. Las consecuencias de una falla pueden ir desde el lucro cesante o pérdida de producción, pasando por las horas hombre improductivas de operaciones, hasta la degradación y rotura de las propias máquinas. [15-17].

Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria presenta una baja probabilidad de falla. Para el caso de la maquinaria pesada, la confiabilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone. La confiabilidad y la disponibilidad de una empresa minera dependen, en primer lugar, de su diseño y de la calidad de funcionamiento de sus equipos. Si se trata de un diseño robusto y fiable, y la mina ha sido construida siguiendo fielmente su diseño y utilizando las mejores técnicas disponibles para la ejecución, depende en segundo lugar de la forma y buenas costumbres del personal de producción, el personal que opera las instalaciones.

En tercer y último lugar, confiabilidad y disponibilidad dependen del mantenimiento que se realice. Si el

mantenimiento es básicamente correctivo, atendiendo sobre todo los problemas cuando se presentan, es muy posible que a corto plazo esta política sea rentable. Debemos imaginar el mantenimiento como un gran depósito. Si realizamos un buen mantenimiento preventivo, tendremos el depósito siempre lleno. Si no hacemos nada, el depósito se va vaciando, y puede llegar un momento en el que el depósito, la reserva de mantenimiento, se haya agotado por completo, siendo más rentable adquirir un nuevo equipo o incluso construir una nueva planta que atender todas las reparaciones que van surgiendo. Debemos tener en cuenta que lo que hagamos en mantenimiento no tiene su consecuencia de manera inmediata, sino que los efectos de las acciones que tomamos se revelan con seis meses o con un año de retraso. Hoy pagamos los errores de ayer, o disfrutamos de los aciertos.

La ocasión perfecta para diseñar un buen mantenimiento programado que haga que la disponibilidad y la fiabilidad de una mina es muy alta, es durante la construcción de ésta. Cuando la construcción ha finalizado y la mina es entregada al propietario para su explotación comercial, el plan de mantenimiento debe estar ya diseñado, y debe ponerse en marcha desde el primer día que la planta entra en operación. Perder esa oportunidad significa renunciar a que la mayor parte del mantenimiento sea programado, y caer en el error (un grave error de consecuencias económicas nefastas) de que sean las averías las que dirijan la actividad del departamento de mantenimiento.

Es muy normal prestar mucha importancia al mantenimiento de los equipos principales, y no preocuparse en la misma medida de todos los equipos adicionales o auxiliares. Desde luego es otro grave error, pues una simple bomba de refrigeración o un simple transmisor de presión pueden parar una planta y ocasionar un problema tan grave como un fallo en el equipo de producción más costoso que tenga la instalación. Conviene, pues, prestar la atención debida no sólo a los equipos más costosos económicamente, sino a todos aquellos capaces de provocar fallos críticos.

Un buen plan de mantenimiento es aquel que ha analizado todos los fallos posibles, y que ha sido diseñado para evitarlos. Eso quiere decir que para elaborar un buen plan de mantenimiento es absolutamente necesario realizar un detallado análisis de fallos de todos los sistemas que componen la planta.

Por desgracia, esto raramente se realiza. Sólo en los equipos más costosos de la planta industrial suele haberse realizado este pormenorizado análisis, y lo suele haber realizado el fabricante del equipo. Por ello, en esos equipos principales debe seguirse lo indicado por el fabricante. Pero el resto de equipos y sistemas que componen la planta, capaces como

hemos dicho de parar la planta y provocar un grave problema, también deben estar sujetos a este riguroso análisis.

Ocurre a veces que no se dispone de los recursos necesarios para realizar este estudio de forma previa a la entrada en funcionamiento de la planta, o que ésta ya está en funcionamiento cuando se plantea la necesidad de elaborar el plan de mantenimiento. En esos casos, es conveniente realizar este plan en dos fases:

1. Realizar un plan inicial, basado en instrucciones de los fabricantes (modo más básico de elaborar un plan) o en instrucciones genéricas según el tipo de equipo, completados siempre por la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta, y las obligaciones legales de mantenimiento que tienen algunas instalaciones. Este plan puede elaborarse con rapidez. Hay que recordar que es mejor un plan de mantenimiento incompleto que realmente se lleva a cabo que un plan de mantenimiento inexistente. Este plan de mantenimiento inicial puede estar basado únicamente en las instrucciones de los fabricantes, en instrucciones genéricas para cada tipo de equipo y/o en la experiencia de los técnicos.

2. Una vez elaborado este plan y con él ya en funcionamiento (es decir, los técnicos y todo el personal se ha acostumbrado a la idea de que los equipos hay que revisarlos periódicamente), realizar plan más avanzado basado en el análisis de fallos de cada uno de los sistemas que componen la planta. Este análisis permitirá no sólo diseñar el plan de mantenimiento, sino que además permitirá proponer mejoras que eviten esos fallos, crear procedimientos de mantenimiento o de operación y seleccionar el repuesto necesario. [18-20]. Se han realizado trabajos encaminados a la implementación de metodologías de detección y análisis de fallas, Palmezano y Tapia [21] elaboraron una “Metodología para el análisis de fallas en el sistema hidráulico para minicargadores”, en este trabajo se desarrolló una forma de encontrar fácilmente las fallas más frecuentes en este tipo de equipos y analizar a través de causa raíz.

Bolaño y Chávez [22] realizaron un “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas hidráulicas que trasiegan combustible diésel marino del bote Urabá de la empresa petrocomercial S.A”. En este proyecto, El siguiente artículo presenta el estudio de un diseño de un plan de mantenimiento preventivo de las bombas hidráulicas que trasiegan combustible de una bote utilizado para la venta de combustible Diesel marino, dicho plan contempla cada una de las fases que son necesarias para la alcanzar el objetivo del estudio, mejorar la disponibilidad operativa y seguridad del bote debido a que estos equipos han venido presentando continuos fallos, representando esto pérdidas económicas por los continuos mantenimientos correctivo todo esto desarrollado por medio de investigación de análisis bibliométrico y bases de datos de ESCOPUS, por medio la

universidad para desarrollar análisis de mantenimiento centralizado y confiable con el objetivos de ver su mayor enlaces y bases de temas centralizados con el objetivos de encontrar mejoras en los procesos productivos a nivel general y empresarial.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se desarrolló bajo una investigación documental según la estrategia, ya que se basó en la revisión de fuentes, planos, revista, artículos, documentos bibliográficos, uso de textos, normas, bitácoras, registros, tesis de pregrados y otros que respaldan los fundamentos teóricos para la solución del problema. Así, como también en manuales de especificaciones técnicas de los equipos, procedimientos utilizados en éstos y la consulta de criterios y metodologías de mantenimiento de diversos autores. También se fundamentó en una Investigación de campo, porque los problemas se describen, se analizaron en forma directa, utilizando métodos y técnicas para inspeccionar y observar las condiciones de los equipos y establecer las posibles soluciones, para los cargadores CAT – 990. Según el nivel de conocimiento la investigación fue de tipo descriptiva debido a que se obtuvo información y se detallaron las condiciones actuales de los cargadores CAT – 990 en servicio. Así, como para describir registro e interpretación del problema actual, además se requirió de técnicas específicas, criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

Para la realización de este trabajo, se revisó y recolectó una serie de datos concernientes a las actividades de planificación y ejecución del mantenimiento, con la finalidad de actualizar y mejorar estas acciones. La información recolectada necesaria para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados será teórica – práctica con el propósito de diseñar el plan de mantenimiento preventivo, para los cargadores CAT – 990. Entre las técnicas empleadas en la recolección de datos se encuentran: recopilación bibliográfica, observación directa, la descripción, gráficas, entrevistas con el personal, la explicación, encuestas, manejo de programas de computación entre otras. Para desarrollo del proyecto en búsqueda de la solución adecuada y satisfactoria al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos se realizaron las fases que se describen a continuación.

Fase 1: Revisión Bibliográfica

Esta fase se fundamentó en la búsqueda de información técnica sobre el problema planteado, para lograr el cumplimiento de los objetivos y alcanzar bases teóricas necesarias. Se recopilará información centrada en los siguientes tópicos: Mantenimiento preventivo, Lista de

funciones, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Contexto Operacional, Análisis de Criticidad (AC) y demás activos que conforman el sistema objeto de estudio.

Fase 2: Diagnostico y Recopilación de Información de los cargadores CAT – 990.

Esta fase contó con la utilización de varias técnicas y sub-fases, las cuales ayudaran a descifrar la situación actual de los cargadores CAT – 990 en servicio existente en la empresa. La primera fase se basará en la recolección de datos e información en las superintendencias de operaciones y técnica. La segunda fase consistirá en realizar visitas al área de mantenimiento realizando entrevistas al personal, para así determinar el estado de los cargadores.

Fase 3: Listado de funciones para los sistemas de los cargadores CAT – 990.

En esta fase se desarrollaron un listado de funciones para cada sistema presente en el cargador CAT – 990, utilizando los manuales de operación y mantenimiento. Así como material de apoyo y demás bibliografía, que se relacione con la problemática planteada, y que su propósito permita evaluar el estado actual de cada sistema en los cargadores.

Fase 4: Determinación de los Equipos Relevantes del Sistema.

Esta fase de la investigación consistió en jerarquizar los componentes de los cargadores CAT – 990, para así enfocar e intensificar los estudios hacia los componentes que lo ameriten. Esta jerarquización propició al equipo de trabajo a seleccionar los equipos relevantes del sistema, para lo cual se emplearán una serie de técnicas.

Fase 5: Redacción y Presentación del Trabajo final.

En esta fase se realizó la redacción del trabajo de trabajo de investigación, con el fin de perfeccionar los detalles para ser presentado de acuerdo a lo que contemplado a la organización establecida para mejora esperada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diagnostico Y Contexto Operacional De Los Cargadores CAT 990

Para el proceso de cargue se utilizan los cargadores frontales de ruedas Caterpillar modelo CAT 990II Serie 4FR, serie BCR y CAT 990H serie BWX. Las diferencias de las series es su mayoría están ubicadas en el tipo de motor. Por ejemplo el cargador CAT 990H serie BWX tiene un motor con tecnología

ACERT (ecológico) y los demás tienen un motor HEUI (Ver Figura 1).

Los cargadores frontales CAT 990 se utilizan para la alimentación de mineral al proceso en un área llamada patio de cargue, se utilizan dos equipos que toman el mineral distribuido en diferentes pilas de almacenamiento (10 pilas) y lo descargan en el grizzly, donde a través de bandas transportadoras es enviado hasta la trituradora primaria y de esta manera alimentan el proceso de producción de ferro níquel. La alimentación total suministrada por estos equipos a la planta de producción debe ser de aprox. 6000 ton/turno.

Fig 1. Cargador CAT 990



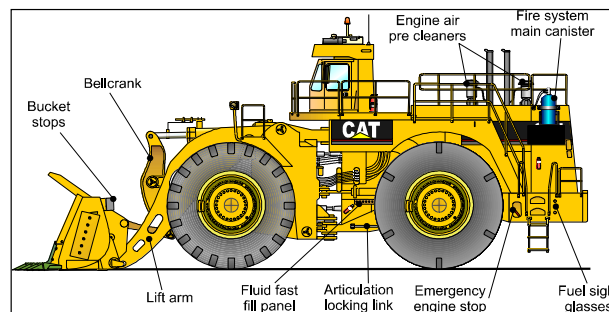
Fuente: [Propia]

La flota de cargadores está compuesta de:

- 4 Cargadores CAT 990II serie 4FR
- 2 Cargadores CAT 990II serie BCR
- 1 Cargador CAT 990H serie BWX

En el patio de cargue se requiere que el cargador cargue 9,2 metros cúbicos. En los frentes de cargue distribuidos en el pit, se requiere que la maquina cargue camiones con un ciclo promedio de 30 seg, en operación normal de 8 horas, dos turnos por día. En condiciones de lluvia y tormentas eléctricas se tiene prohibido trabajar con los equipos móviles, por lo tanto la operación se detiene.

Fig 2. Esquemático del cargador CAT 990



Fuente: Operation and Maintenance Instructions - Caterpillar

El cargador en vista esquemática se muestra en la Figura 2, la principal función del mismo es que sirve para recoger y descargar el material sobre camiones, piso y banda transportadora, con una capacidad de 9.2 metros cúbicos.

Para ello está provisto de los elementos que le proporcionan potencia para trasladarse, atacar el material, levantar material, bajar el cucharón, inclinar el cucharón y realizar giros direccionales. En la Figura 3 se observan las entradas y salidas del proceso de operación de un cargador CAT 990.

Fig 3. Diagrama de entradas y salidas

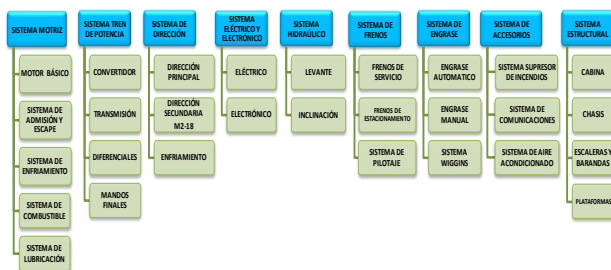


Fuente: [Propia]

Este equipo se compone de varios sistemas que son: sistema motriz, sistema de tren de potencia, sistema de dirección, sistema eléctrico y electrónico, sistema hidráulico, sistema de frenos, sistema de engrase, sistema de accesorios y sistema estructural.

Cada uno de estos sistemas se descompone en otros como se muestra en la Figura 4.

Fig 4. Diagrama de bloques del cargador



Fuente: [Propia]

4.2 Lista De Funciones Por Sistemas Del Cargador CAT 990

Se desarrolló una lista de funciones para cada sistema del cargador CAT990, que consiste en una lista de criterios o de

aspectos que conforman indicadores de logro que permiten establecer su presencia o ausencia en el funcionamiento de los sistemas del cargador. Estas listas se usaron para:

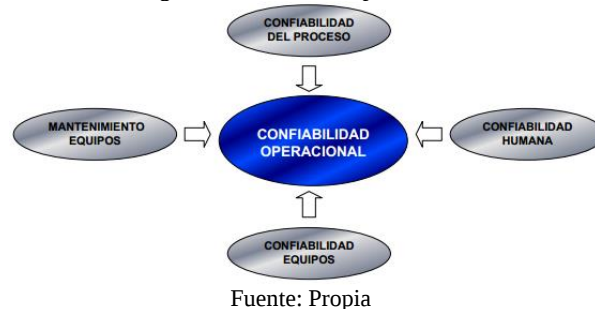
- Comprobar la presencia o ausencia de una serie de indicadores, aspectos o aseveraciones en cada uno de los sistemas del cargador.
- Verificar si los indicadores del cargador, aspectos o aseveraciones se manifiestan en una ejecución.
- Anotar si el desempeño del cargador cumple o no con determinadas características.
- Observar ciertas características que deben estar presentes en el objeto o proceso dados por el cargador.
- Verificar si un comportamiento está o no presente en la actuación o desempeño en los sistemas del cargador.

El Anexo A muestra las listas de funciones para cada sistema del cargador.

4.3 Análisis De Criticidad

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos como se muestra en la Figura 7.

Fig. 5. Confiabilidad Operacional



Fuente: Propia

Lamentablemente se dispone de recursos limitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la Confiabilidad Operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un Análisis de Criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación, principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

El objetivo de un Análisis de Criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta, personal. Un

modelo básico de Análisis de Criticidad es equivalente al mostrado en la Figura 20. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Fig 6. Modelo básico de criticidad



Fuente: Propia

En el ámbito de mantenimiento. Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se puede establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, defectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo. A todas las personas involucradas en el estudio se les realiza una presentación completa del tema donde se explica la metodología, los alcances y la importancia de los resultados. Se dan las instrucciones sobre cómo diligenciar el formato de encuesta. Además, se puntualiza en el compromiso que se debe tener para que el estudio arroje los mejores resultados. La recolección de la información fue realizada a partir de las encuestas contestadas por los ingenieros, técnicos y operarios de los camiones. La ecuación de criticidad vista desde un punto matemático para el análisis realizado dentro del estudio se presenta en la Ecuación 1.

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

Ecuación 1

Siendo:

$$\text{Consecuencia} = A+B$$

$$A = \text{Costo de reparación} + \text{Impacto seguridad} + \text{impacto ambiental} + \text{impacto satisfacción cliente}$$

$$B = \text{Impacto en la producción} \times \text{tiempo promedio para reparar MTTR}$$

El formato de la encuesta que se entregó al personal de la mina, se muestra en el Anexo B. Esta encuesta está compuesta

por 7 preguntas. Cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación diferente, esta ponderación se presenta en el Anexo C y le asigna un valor específico a cada valor o parámetro dependiendo de las características del equipo a evaluar. Una vez realizada la encuesta los resultados se clasifican en una hoja de cálculo, donde se obtiene el valor de criticidad para cada equipo por cada una de las personas entrevistadas y finalmente se realiza un promedio con los resultados obtenidos para determinar la criticidad final del equipo. El formato de encuesta, la tabla de ponderaciones y la ecuación de criticidad fueron adaptados por los proyectistas tomando como base el Análisis de Criticidad, debido a que los factores de ponderaciones ya están estandarizados y su formulación depende de un estudio profundo de criterios de ingeniería. Resultados del estudio: El primer paso para obtener los resultados del Análisis de Criticidad es establecer los puntajes de los parámetros dependiendo de las respuestas de las personas entrevistadas. Un ejemplo es el mostrado en la tabla 1, donde se muestra las respuestas hechas por uno de los operadores del cargador CAT 990 al sistema motriz – subsistema – motor básico.

Tabla 1. Hoja de Respuesta para un operador del camión de AC

PARÁMETRO	RESPUESTA	PUNTAJE
Frecuencia de falla	Entre 16 y 30 por año	3
MTTR	Entre 24 y 48 horas	4
Impacto en la producción	La afecta totalmente	1x N° fallas
Costos de reparación	Entre 15 y 35 millones de pesos	10
Impacto ambiental	Contaminación ambiental alta	25
Impacto salud personal	No origina heridas ni lesiones	0
Impacto satisfacción cliente	Perdidas económicas mayores a 25 SMMLV	20

Luego se realiza un promedio de los puntajes correspondientes a cada una de las personas entrevistadas para el sistema motriz, subsistema motor básico. Este promedio se ingresó a una hoja de cálculo para obtener la criticidad final. Como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Promedio de los resultados obtenidos del AC del grupo evaluador.

PARÁMETRO	PUNTAJE FINAL
Frecuencia de falla	2.9
Costos de reparación	8.0
Impacto salud personal	4.3
Impacto ambiental	20
Impacto satisfacción cliente	10.0
Impacto en la producción	13.8
Tiempo promedio para reparar	3.3

Fuente: Propia

Recordando la ecuación de criticidad tenemos que:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = [2.9] \times (8 + 4.3 + 20 + 10) + (13.8 \times 3.3)$$

$$\text{Criticidad} = 254.736$$

Este procedimiento se realiza para cada sistema incluido dentro del estudio de criticidad. En la Tabla 3 se observa las ponderaciones para cada una de las respuestas contestadas por el personal para cada sistema, al final se promedian y se incluyen dentro de la ecuación de criticidad.

**Tabla 1. Nivel de Criticidad De Los Sistemas en Estudio
(CARGADORES CAT 990)**

Sistema	Valor de la Criticidad	Nivel de Criticidad
Motriz	254	Crítico
Tren de potencia	250	Crítico
Hidráulico	225	Crítico
De dirección	236	Crítico
De frenos	140	Semi- Crítico
Eléctrico	239	Crítico
Electrónico	221	Crítico
De accesorios	170	Semi- Crítico
Estructural	156	Semi- Crítico

Fuente: Propia

Por lo tanto, se evidencia que el sistema con mayor criticidad es el Motriz con 254, seguido del Tren de potencia con 250. Estos sistemas serán de consideración al momento de desarrollar el plan de mantenimiento de los cargadores.

5. CONCLUSIONES

El sistema de mantenimiento utilizado anteriormente por la empresa minera presentaba cierta anormalidad en su operación, puesto que venía presentando diversas alarmas y fallas, que llevaban a condiciones desfavorables desde el punto de vista de la productividad y disponibilidad de la maquinaria pesada en servicio de la empresa minera. El desarrollo del contexto operacional del cargador permitió establecer las circunstancias bajo las cuales operan los cargadores en la mina y constituir un plan de mantenimiento para la flota de cargadores trabajada. Adicionalmente, se detectaron puntos críticos en el cargador que antes eran desconocidos por los operadores y supervisores de mantenimiento, que fueron puestos a consideración en el plan de mejoramiento y ajustados en la frecuencia horaria programada.

Las listas de funciones realizadas permitieron el desarrollo de listas de chequeo en el desempeño de los cargadores durante su operación y aumento la eficacia con la que los supervisores de mantenimiento ejecutan el chequeo de cada sistema. Al aplicar el análisis de criticidad con la metodología trabajada,

permitió establecer la criticidad de cada uno de los sistemas de los cargadores de manera eficaz. El sistema motriz del cargador fue el que presentó mayor criticidad (254) seguido del sistema de potencia (250). Por lo tanto, al momento de seleccionar al personal disponible el número de técnicos en mecánica aumentó en cada turno de trabajo. Durante la implementación del RCM2 se observó un aumento de la disponibilidad en un 22%, que en principio se atribuyen a la identificación y eliminación de la causa de fallas y mantenimientos innecesarios. Por su parte, los costos de producción disminuyeron en un 15 % debido a la optimización de rutinas y disminución de fallas, asegurando la mejor utilización de recursos, gastando de manera inteligente el dinero.

La frecuencia de fallas en los sistemas del cargador disminuyó en un 9% debido a que se ejecutó el mantenimiento de manera eficaz, mediante la eliminación de los problemas desde sus causas. Igualmente, el sobre mantenimiento de la flota de cargadores tuvo una baja en 16% debido a que la optimización de rutinas de predictivo y preventivo en sistemas y equipos, así como una eficiente ejecución de mantenimiento.

Los resultados anteriores reportaron un incremento de la producción de la mina ya que el aumento de la disponibilidad y la confiabilidad del equipo, mejora su utilización, eficiencia y calidad. De la misma manera, la vida útil de los cargadores aumentó ya que el producto da una mejor gestión del activo físico, basados en una integración de tecnologías y formas de trabajo del personal.

Referencias

- [1] Amendola, L. "Modelos mixtos de confiabilidad" Universidad politécnica Valencia-España, Departamento de proyecto de ingeniería (2003)
- [2] CATERPILLAR. Operation and Maintenance Instructions - Off-Highway Trucks 773D, 773E and 773F SEBU7765-04. September 2009.
- [3] CATERPILLAR. Operation and Maintenance Instructions - Large Wheel Loaders 990II and 990H SEBU6880-02. September 2009
- [4] Herrera, H. Manual de mantenimiento preventivo. Impreso en el taller de edición de la UTP. Pereira, Risaralda. 2002.
- [5] HOLDERBANK. Mantenimiento preventivo. [en línea]. < <http://www.opentext.com/news/pr.html?id=1097>>-. [citado en 18 de abril de 2012] Ginebra, 1973
- [6] Jimenez, A. Mantenimiento LA: [en línea]. < <http://maintenancela.blogspot.com/2010/05/desde-la-implementacion-del-primer.html>>-. [citado en 10 de Agosto de 2012]
- [7] Klimauskas, R. Mantenimiento de máquinas pesadas (Parte II). Universidad Nacional de la Plata

[8] MANTENIMIENTO PREDICTIVO [en línea].<
[Http://www.azimadli.com/vibman-](http://www.azimadli.com/vibman-)

Spanish/Mantenimientopredictivo.Html. > -.[citado en 17 de abril de 2012].

[9] Montaña, M. “Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Sistema de Gas, Complejo Santa Rosa, PDVSA-GAS, Distrito Social Anaco” Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2007).

[10] Moubay, J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (2ª edición) - publicado en 1997.

[11]NAVAIR 00-25-403 "Directrices para la Aviación Naval Centrado en Confiabilidad Proceso de Mantenimiento", emitida en febrero de 2001 y actualizado en julio de 2005

[12] Paolucci, A. “Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en la Evaluación de la Confiabilidad de los equipos críticos, para una Planta de policloruro de Aluminio” Caso: LIPESA, El tigre, Edo. Anzoátegui. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de ing. mecánico (2009).

[13] PEMEX. Aprendizaje virtual Metodología de Análisis Causa Raíz. Sistemas de confiabilidad operacional. [en línea]. <http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Causa_Raiz.pdf>-. [citado en 21 de Agosto de 2012].

[14]Montgomery douglas c, diseño y análisis de experimentos. 1991.

[15] SAE JA1011 "Criterios de Evaluación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Procesos", publicada en agosto de 1999

[16] Silva, C. “Diseño de un plan de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre”. Universidad tecnológica de Pereira – Facultad de ingenierías – Programa de ingeniería mecánica. Colombia, 2007. <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/6200046S586ds.pdf>

[17] Suárez, D. “Clasificación de equipos en función de su criticidad”. Introducción para el estudio de equipos. Confima y Consultores. Puerto la Cruz (2007).

[18] Tavares, L “Administración moderna del mantenimiento”. Río de Janeiro, Brasil, Novo Polo Publicações, 1999.

[19]Torres, D. “Diseño de un plan de mantenimiento para la empresa centrífugos concisa Ltda.”. Universidad tecnológica de Pereira – Facultad de ingenierías – Programa de ingeniería mecánica. Colombia, 2007. <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/6200046A715d.pdf>.

[20] Vargas, W. Programa de mantenimiento para la maquinaria pesada de la zona vial 11, de caminos, en el departamento de Izabal. ”, Universidad de San Carlos de

Guatemala - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Mecánica, Guatemala, junio de 2004. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0441_M.pdf.

[21] ESCOPUS CENTRO INVESTIGACION BIBLIOTECA VIRUTAL, UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC, Temas relacionado, Mantenimiento centralizado y confiable. <<https://ezproxy.cuc.edu.co:2104/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=b2de7766b08ad8abb4fdae8a635b602d&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2bscosubjabbr%2c%22ENGI%22%2ct&sl=47&s=TITLE-ABS-KEY%28Reliability+Centered+Maintenance%29&offset=2&origin=recordpage>>

ANEXO A: LISTA DE FUNCIONES DEL CARGADOR CAT 990

Sistema Motriz

1. Proporcionar un torque de 450 lb/pie a una velocidad de 2510 RPM al cargador.
2. Contener combustible
3. Contener aceite motor
4. Contener refrigerante
5. Permitir aumentar o disminuir las RPM del motor de 850 a 2150 RPM.
6. Permitir seleccionar la aceleración automática.
7. Permitir ajustar las RPM de trabajo de aceleración automática del cargador.
8. Indicar en el panel de instrumentos el nivel de combustible
9. Suministrar combustible a los múltiples de los inyectores a razón de 80 gpm a una presión de 65 psi.
10. Prevenir que partículas de agua lleguen a la cámara de combustión.
11. Prevenir que partículas mayores a 420 micrones lleguen a los inyectores.
12. Pulverizar combustible a una presión de 21.000 psi en la cámara de combustión.
13. Permitir bloquear la alimentación de combustible del tanque a la bomba de combustible.
14. Mantener una presión de 65 psi en el sistema de combustible.
15. Permitir llenar el sistema de combustible.
16. Disminuir las RPM del motor a 950 cuando la temperatura de combustible este por encima de 65 °C
17. Suministrar aceite lubricante a las galerías de lubricación del motor a una presión por encima de 16 psi.
18. Indicar la presión de lubricación del motor en el panel de instrumentos, cuando la presión de lubricación del motor sea menor a 16 psi activar la
20. Prevenir que partículas mayores a 5 micrones ingresen a las galerías de lubricación motor
21. Disminuir la temperatura de aceite del motor un delta de 42 °C
22. Suministrar presión de aceite de actuación a los inyectores en un rango entre 725 y 3000 psi.
23. Permitir drenar aceite del motor
24. Permitir medir el nivel de aceite de motor
25. Suministrar presión de aire de admisión superior a 27 psi a la cámara de combustión
26. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 250 micrones a los filtros de aire.
27. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 250 micrones a los turbo alimentadores del motor
28. Indicar el nivel de saturación de los filtros de admisión de aire localmente.
29. Disminuir la temperatura del aire de admisión un delta de 40 °C
30. Prevenir la emisión de ruido mayores 95 decibeles distancia de cinco metros cuadrados.
31. Mantener la temperatura de operación del motor máximo a 105 °C
32. Indicar paso de flujo de refrigerante al bloque del motor en el panel de instrumentos.
33. Emitir una señal luminosa y/o sonora cuando la temperatura del motor está por encima de 105 °C en el panel de instrumentos del operador.
34. Suministrar refrigerante a las galerías del motor a una presión mínima de 90 psi
35. Soportar el motor
36. Amortiguar las vibraciones del motor.

Sistema Hidráulico

1. Levantar el material hasta 3 metros cúbicos una altura desde 1 hasta 3.5 metros en 9.6 seg.
2. Inclinar el cucharón en un tiempo máximo de 2.5 seg.
3. Contener aceite del sistema hidráulico.
4. Permitir suministrar aceite al sistema hidráulico en presencia de una tapa de llenado de respaldo.
5. Indicar el nivel de aceite del sistema hidráulico localmente.
6. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 250 micrones al tanque de aceite hidráulico
7. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 250 micrones al sistema de levante e inclinación.
8. Mantener la presión de gases de aceite en el tanque en 20 psi.

9. Emitir una luz de advertencia en el panel de instrumentos cuando la temperatura de aceite hidráulico es superior a 101 °C
10. Suministrar aceite a los cilindros de levante y de inclinación a 15 gpm.
11. Mantener la presión del aceite hidráulico en cilindros de levante y de inclinación hacia arriba en 4005 psi.
12. Liberar aceite hidráulico cuando la presión en cilindros de levante y de inclinación hacia arriba es superior 25 psi.
13. Permitir bajar el cucharón cuando el motor se apaga repentinamente.
14. Detener la escualización del cucharón
15. Detener el sistema hidráulico cuando el cucharón alcanza una altura de 4 metros.
16. Reducir 40 grados centígrados la temperatura del aceite hidráulico.
17. Liberar aceite hidráulico cuando la presión en el cilindro de inclinación en posición hacia abajo es superior 120 psi.

Sistema De Frenos

1. Permitir reducir la velocidad y detener la maquina gradualmente.
2. Permitir bloquear y desbloquear la máquina cuando se encuentra detenida.
3. Detener la maquina cuando la presión del sistema de frenos de servicio está por debajo de 875 psi.
4. Emitir una señal luminosa en el panel de instrumentos, hasta que la presión de aceite del sistema de frenos alcance 1200 psi.
5. Emitir una señal luminosa y sonora en el panel de instrumentos, cuando la presión de aceite del sistema de frenos cae por debajo de 950 psi.
6. No enganchar la primera velocidad cuando este activado el freno de parqueo.
7. Suministrar aceite al sistema de freno y sistema piloto a 12.37 gpm y 2300 psi.
8. Mantener presión de aceite entre 1600 y 1950 psi.
9. Mantener presión de nitrógeno en 800 psi
10. Indicar una señal de advertencia luminosa en el panel de instrumentos, cuando la temperatura del aceite del diferencial es mayor a 93 grados centígrados.
11. Indicar un código de servicio cuando hay falla en el circuito del Interruptor de presión de aceite
12. Indicar una señal luminosa cuando el freno de parqueo este activado, en el panel de instrumentos.
13. Contener el aceite del sistema frenos.
14. Contener el Nitrógeno.

Sistema Tren De Potencia

1. Desplazar el equipo hacia adelante y hacia atrás a una velocidad máxima de 30 Km/h y 10 Km/h. correspondiente
2. Permitir seleccionar el tipo de tracción
3. Regular el torque entre un 65% y 80% del generado por el motor a los mandos finales
4. Transmitir el 100% del torque del motor a los mandos finales
5. Permitir desconectar el tren de potencia del motor.
6. Aliviar la presión de aceite al interior del convertidor a una presión de 65 psi.
7. Indicar la temperatura del aceite de la transmisión en el panel de instrumentos y mostrar una señal sonora y luminosa cuando la temperatura es superior xx °C.
8. Transmitir el movimiento del convertidor al diferencial en velocidad uno, velocidad dos y velocidad tres.
9. Permitir seleccionar la velocidad de desplazamiento
10. Permitir seleccionar marcha adelante y marcha atrás del cargador.
11. Contener aceite de la transmisión.
12. Permitir medir el nivel de aceite de la transmisión.
13. Permitir drenar aceite de la transmisión en presencia de un tapón de respaldo.
14. Suministrar aceite a los embragues de la transmisión y convertidor a una presión de 480 psi.
15. Prevenir el ingreso de partículas superiores a 2 micrones a la transmisión.
16. Aliviar gases de aceite en la transmisión.
17. Soportar la transmisión
18. Absorber fluctuaciones de movientes de la transmisión.
19. Girar un ángulo de 45 grados con respecto a la dirección

20. Aliviar los gases de aceite cuando la presión en el diferencial y mandos finales sea igual a 3 psi.
21. Permitir suministrar aceite al diferencial.
22. Permitir drenar aceite del diferencial.
23. Contener aceite del diferencial
24. Contener aceite de los mandos finales
25. Permitir suministrar aceite a los mandos finales.
26. Permitir drenar aceite a los mandos finales.
27. Transmitir movimiento del diferencial a las ruedas.
28. Deslizar la estructura del cargador con fricción para desplazar la máquina hasta en superficies pentosas.
29. Contener nitrógeno

Sistema Estructural

1. Prevenir ruidos mayores a 85 decibeles al interior de la cabina a una distancia de 7 metros
2. Soportar el peso de hasta 120 Kg de una persona sentada a una altura deseada.
3. Permitir desplazamientos verticales y horizontales de la silla con una persona hasta de 160 Kg.
4. Permitir inclinar la silla hasta 15 grados con respecto a la vertical.
5. Permitir ajustar la posición del descansabrazo
6. Soportar los antebrazos del operador rígidamente mientras está sentado hacia atrás.
7. Permitir al ocupante permanecer sentado hasta 8 horas sin incomodidad
8. Permitir sujetar el operador a la silla.
9. Permitir visualizar desde la cabina áreas traseras del equipo.
10. Prevenir la transferencia de calor de la parte externa de la cabina a la parte interior de la misma.
11. Lucir aceptable.
12. Prevenir deformación de la cabina cuando ocurre volcamiento.
13. Mantener en posición horizontal el bastidor trasero
14. Contener 8.3 metros cúbicos de material
15. Prevenir la caída de personas durante el ascenso y descenso de la máquina.
16. Prevenir el contacto con partes móviles y calientes de la máquina.
17. Permitir el desplazamiento sin deslizar en la parte superior del equipo.
18. Prevenir que material arcilloso salpique a los retrovisores.
19. Permitir acceder a la parte superior del cargador.
20. Prevenir la radiación de rayos solares al operador en caso de presencia de sol.

Sistema De Dirección Y Enfriamiento

1. Proporcionar movimiento hacia la derecha y la izquierda en un tiempo no mayor a 3.7 (+-.3 s) segundos.
2. Contener aceite de la dirección.
3. Permitir suministrar y drenar aceite del tanque
4. Indicar el nivel de aceite en el tanque.
5. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 5 micrones al sistema de dirección.
6. Liberar gases de aceite cuando la presión en el tanque alcanza los 20 psi.
7. Emitir una señal luminosa en el panel de instrumentos cuando la temperatura del aceite de la dirección es mayor de 101 °C
8. Suministrar aceite al sistema de dirección a 4500 psi.
9. Suministrar aceite al motor del ventilador a 1945 psi.
10. Permitir mover el carrete de la válvula control principal de la dirección.
11. Liberar la presión de aceite del sistema de dirección cuando alcanza 4255 psi.
12. Limitar el giro del cargador en dirección derecha o izquierda.
13. Mantener la presión de aceite piloto en 480 psi
14. Girar el ventilador del sistema de enfriamiento entre 746 a 860 rpm.
15. Disminuir 50 °C la temperatura del aceite de la dirección.
16. Liberar la presión de aceite entre los cilindros y la válvula de control de la dirección cuando es 5005 psi.
17. Permitir bloquear los bastidores delanteros y traseros.

ANEXO B: Formato tipo encuesta para el análisis de criticidad.

FORMATO PARA ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

PERSONA _____ ÁREA O SECCIÓN _____
EQUIPO _____ FECHA _____

1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA).		2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR.	
☐	No más de 1 por año	☐	Menos de 4 horas
☐	Entre 2 y 15 por año	☐	Entre 4 y 8 horas
☐	Entre 16 y 30 por año	☐	Entre 8 y 24 horas
☐	Entre 31 y 50 por año	☐	Entre 24 y 48 horas
☐	Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	☐	Más de 48 horas
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN		4. COSTO DE REPARACIÓN (MILLONES DE PESOS)	
☐	No afecta la producción	☐	Menos de 3 millones
☐	25% de impacto	☐	Entre 3 y 15 millones
☐	50% de impacto	☐	Entre 15 y 35 millones
☐	75% de impacto	☐	Más de 35 millones
☐	La afecta totalmente		
5. IMPACTO AMBIENTAL			
☐	No origina ningún impacto ambiental		
☐	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta		
☐	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta		
☐	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios		
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL			
☐	No origina heridas ni lesiones		
☐	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes		
☐	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días		
☐	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente		
7. IMPACTO EN SATISFACCIÓN CLIENTE. (DEPARTAMENTOS DE LA EMPRESA A LA QUE SE LE PRESTAN SERVICIOS).			
☐	No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta		
☐	Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV		
☐	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV		
☐	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 SMMLV		

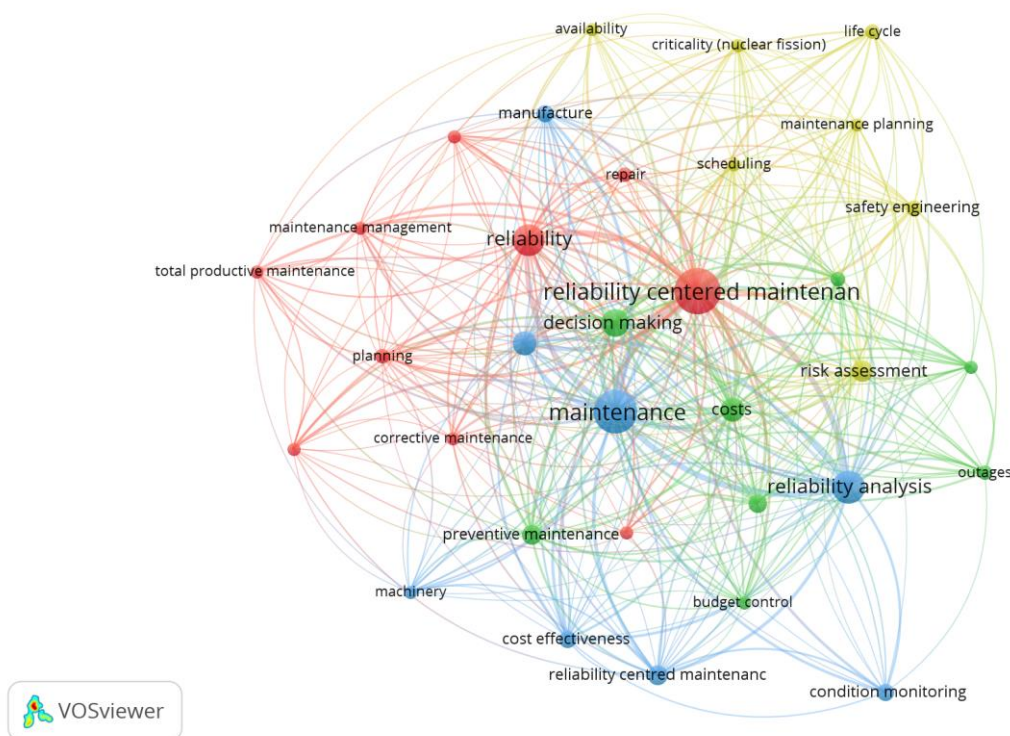
Fuente: Propia

ANEXO C. Ponderación de Factores AC

PONDERACIÓN POR FACTORES ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEPARTAMENTO DE CAMIONES Y CARGADORES	
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Entre 31 y 50 por año	4
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 48 horas	4
Más de 48 horas	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el número de fallas al año F)	Puntaje
No afecta la producción	0,05F
25% de impacto	0,3F
50% de impacto	0,5F
75% de impacto	0,8F
La afecta totalmente	1F
4. COSTOS DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 3 millones de pesos	3
Entre 3 y 15 millones de pesos	5
Entre 15 y 35 millones de pesos	10
Más de 35 millones de pesos	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad	25
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	25
7. IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE (áreas de la planta a las cuales se le suministran los servicios industriales)	Puntaje
No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta	0
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV	5
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV	10
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 SMMLV	20

Fuente: Propia

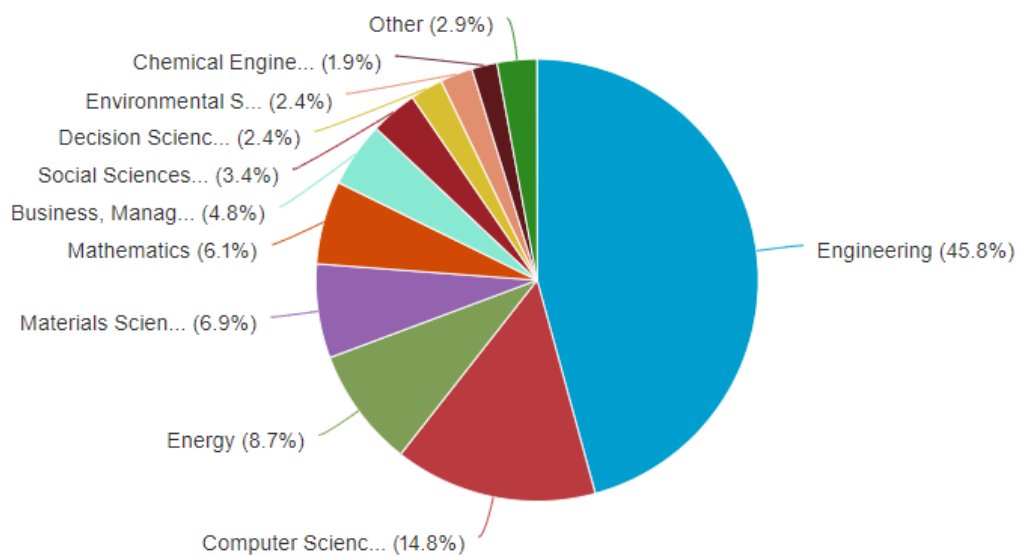
ANEXO D, Análisis de investigación tema relacionado Mantenimiento Centralizado Confiable



Fuente: propia. Investigación VOSviewer

ANEXO D, Análisis de investigación por área temática.

Documents by subject area

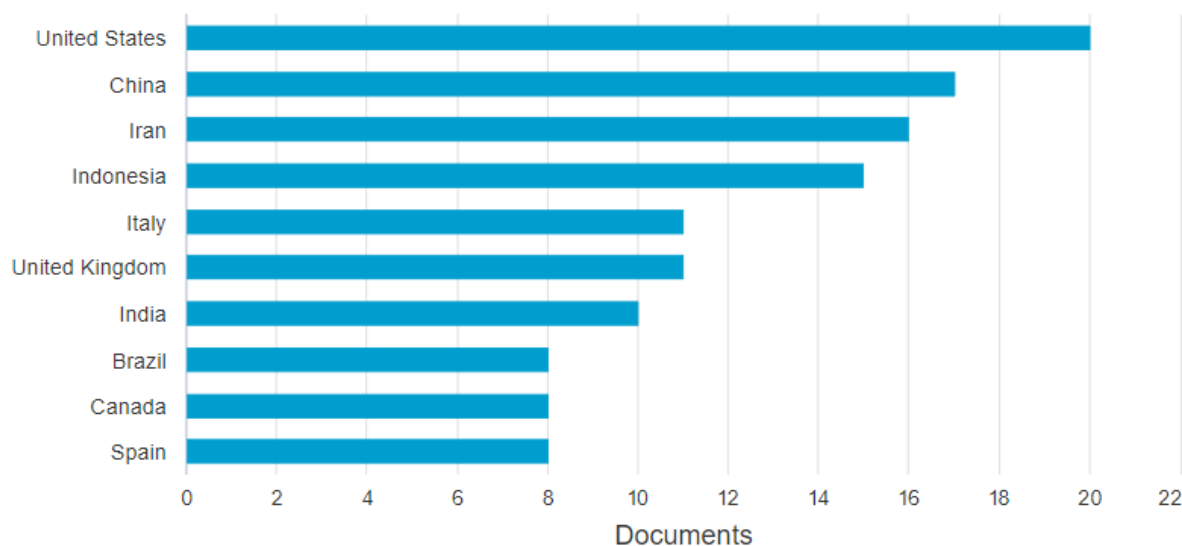


Fuente: propia. Investigación VOSviewer

ANEXO E, Análisis de investigación por Países de investigación por tema RCM2

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



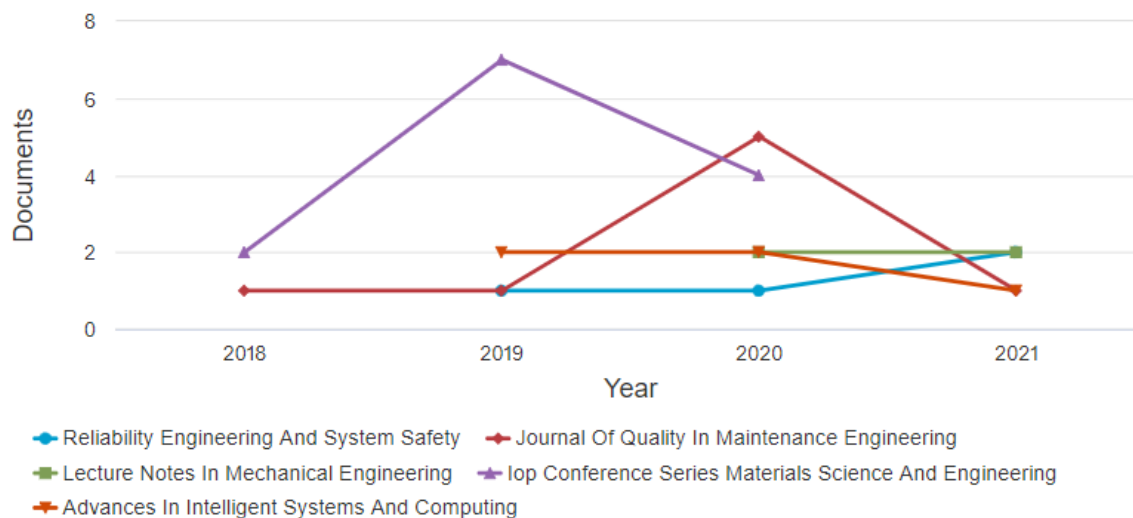
ANEXO F, Análisis de investigación por años fuente y citas temas tratados;

Fuente: propia. Investigación VOSviewer

Documents per year by source

Compare the document counts for up to 10 sources.

[Compare sources and view CiteScore, SJR, and SNIP data](#)



ANEXO G, Análisis de Costo y presupuesto de ejecución de mantenimientos.

PRESUPUESTO PROYECTOS;

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.
BILO vol. 3.No. 1 Enero - Junio, 2021
Barranquilla. ISSN Online 2711-3280.

	MANO DE OBRA		MATERIALES		COSTO FIJO	PRESUPUESTO
TAREA DE MANTENIMIENTOS	HRS	TARIFA	UNID	\$/UNID		
CATEGORÍA CRÍTICOS						
Sistema Motriz	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 640,000.00	\$ 7,760,050.00
Sistema Tren de potencia	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 390,000.00	\$ 7,510,050.00
Sistema Hidráulico	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 540,300.00	\$ 7,660,350.00
Sistema De dirección	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 400,560.00	\$ 7,520,610.00
Sistema Tarea	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 340,000.00	\$ 7,460,050.00
Sistema Eléctrico	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 620,000.00	\$ 7,740,050.00
Sistema Electrónico	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 620,000.00	\$ 7,740,050.00
						\$ 53,391,210.00
CATEGORÍA SEMICRÍTICOS						
Sistemas De frenos	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 620,000.00	\$ 7,740,050.00
Sistemas De accesorios	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 304,000.00	\$ 7,424,050.00
Sistemas Estructural	8	\$ 890,000.00	5	\$ 10.00	\$ 230,000.00	\$ 7,350,050.00
						\$ -
						\$ -
						\$ 22,514,150.00
TOTAL						\$ 75,905,360.00