



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**Departamento de Posgrados**

**Maestría en Gestión de Mantenimiento**

**Tercera Versión**

**Elaboración de políticas de gestión de repuestos para mantenimiento de equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco.**

Trabajo previo a la obtención del título de:

Magíster en Gestión de Mantenimiento

Autor:

Ing. Christian Giovanni Vásquez Granda

Director

Mgst. Luis Felipe Sexto Cabrera

Cuenca, Ecuador

2020

## **RESUMEN**

*Resumen*— La gestión de repuestos en una Central Hidroeléctrica es de gran importancia, puesto que una buena gestión de repuestos brinda un correcto stock de repuestos en bodega omitiendo la compra y almacenamiento de repuestos innecesarios que aumentan los inventarios ociosos en bodega. La Corporación Eléctrica del Ecuador y la Unidad de Negocio ENERJUBONES carecen de políticas para la gestión de repuestos debido a que no se ha realizado un análisis técnico con la información disponible en centrales hidroeléctricas que ya tienen un determinado tiempo de operación. El presente proyecto tiene como objetivo principal elaborar políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco, (utilizando una metodología técnica y administrativa, jerarquizando los equipos de la central) a través de un análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad) que permita junto con las condiciones administrativas planteadas en el sector público elaborar las políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco que sirva como guía piloto para las demás centrales de generación pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC – EP. Además de esto se realizará un análisis beneficio/costo, siendo la relación entre los valores cobrados por la Central de Generación teniendo el stock de repuesto propuesto en el presente Proyecto y los costos asociados a la adquisición del stock de repuestos propuesto.

*Palabras clave*— CELEC EP, mantenimiento, gestión de repuestos, generación eléctrica, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad

**Subject:** "Development of spare parts management policies for maintenance of critical equipment at the Minas San Francisco Hydroelectric Power Plant".

**Abstract**— The management of spare parts in a hydroelectric power plant is very important. An adequate management of spare parts provides a correct stock in the warehouse, omitting the purchase and storage of unnecessary spare parts that increase idle inventories. The Corporación Eléctrica del Ecuador and the ENERJUBONES Business Unit lack policies for the management of spare parts because a technical analysis has not been carried out with the information available in hydroelectric plants that already have a certain operating time. This project has as main objective to elaborate policies for the management of spare parts of critical equipment of the Minas San Francisco Hydroelectric Power Plant, (using a technical and administrative methodology and ranking the equipment of the plant) through an RMA analysis (Reliability, Maintainability, Availability) that allows to elaborate the policies for the management together with the administrative conditions presented in the public sector.

**Keywords**— CELEC EP, maintenance, spare parts management, power generation, availability, reliability, maintainability.



  
Translated by  
Ing. Paúl Arpi

## I. ELABORACIÓN DE POLÍTICAS DE GESTIÓN DE REPUESTOS PARA MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MINAS SAN FRANCISCO

Christian Giovanni Vásquez Granda  
Departamento de Postgrados, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador  
Email: crvzqz@hotmail.com

**Resumen**— La gestión de repuestos en una Central Hidroeléctrica es de gran importancia, puesto que una buena gestión de repuestos brinda un correcto stock de repuestos en bodega omitiendo la compra y almacenamiento de repuestos innecesarios que aumentan los inventarios ociosos en bodega. La Corporación Eléctrica del Ecuador y la Unidad de Negocio ENERJUBONES carecen de políticas para la gestión de repuestos debido a que no se ha realizado un análisis técnico con la información disponible en centrales hidroeléctricas que ya tienen un determinado tiempo de operación. El presente proyecto tiene como objetivo principal elaborar políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco, (utilizando una metodología técnica y administrativa, jerarquizando los equipos de la central) a través de un análisis CMD (Confiablez, Mantenibilidad, Disponibilidad) que permita junto con las condiciones administrativas planteadas en el sector público elaborar las políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco que sirva como guía piloto para las demás centrales de generación pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC – EP. Además de esto se realizará un análisis beneficio/costo, siendo la relación entre los valores cobrados por la Central de Generación teniendo el stock de repuesto propuesto en el presente Proyecto y los costos asociados a la adquisición del stock de repuestos propuesto.

**Palabras clave**— CELEC EP, mantenimiento, gestión de repuestos, generación eléctrica, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad.

**Abstract.**- The management of spare parts in a hydroelectric power plant is very important. An adequate management of spare parts provides a correct stock in the warehouse, omitting the purchase and storage of unnecessary spare parts that increase idle inventories. The Corporación Eléctrica del Ecuador and the ENERJUBONES Business Unit lack policies for the management of spare parts because a technical analysis has not been carried out with the information available in hydroelectric plants that already have a certain operating time. This project has a main objective to elaborate policies for the management of spare parts of critical equipment of the Minas San Francisco Hydroelectric Power Plant, (using a technical and administrative methodology and ranking the equipment of the plant) through an RMA analysis (Reliability, Maintainability, Availability) that allows to elaborate the policies for the management together with the administrative conditions presented in the public sector.

**Keywords**—CELEC EP, maintenance, spare parts management, power generation, availability, reliability, maintainability.

### I. INTRODUCCIÓN: EMPRESA, PRODUCTO, PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS

La Unidad de Negocio ENERJUBONES perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador, genera energía eléctrica a través de la Central Minas San Francisco y entrega al Sistema Nacional Interconectado, este último entrega la energía a las distribuidoras las cuales comercializan la energía a los usuarios finales, completando de esta manera el proceso de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

A diciembre de 2019, ENERJUBONES gestiona la producción de energía hidroeléctrica con una capacidad instalada de 270 MW a través de tres unidades de generación de 90 MW cada una.

ENERJUBONES cuenta con un valor en activos de USD 560'000.000 con un patrimonio de USD 500'000.000 desde su inicio en operación en noviembre 2018 hasta diciembre 2019 registró ingresos por USD 15'000.000 y cubre alrededor del 5 % de la demanda de energía eléctrica a nivel nacional. [1]

ENERJUBONES al ser una de las unidades de negocio de la Corporación Eléctrica CELEC EP debe tener una adecuada sinergia entre las demás unidades de negocio, permitiendo a la entidad corporativa ser más valiosa que la suma de sus partes de manera individual.

El plan estratégico de la Unidad de Negocio ENERJUBONES se rige al plan estratégico corporativo vigente para el periodo 2017-2021, el cual establece seis objetivos entre los cuales se encuentran los siguientes: Mantener la disponibilidad, confiabilidad y resiliencia de los sistemas de generación/transporte de energía eléctrica y de telecomunicaciones de acuerdo a la normativa y estándares internacionales. [4]

Incrementar la sostenibilidad financiera de la Corporación.

Incrementar la eficiencia y eficacia institucional

Dentro de la cadena de valor y de los macro procesos sustantivos de CELEC EP, resaltan los macroprocesos de: planificar la expansión, desarrollar las obras de infraestructura eléctrica, operar centrales de generación, operar sistemas de transmisión, realizar el mantenimiento y realizar liquidación de transacciones. [1,4]

El proceso de mantenimiento ofrece como producto final la disponibilidad y confiabilidad de las instalaciones, sistemas y equipos a través de la aplicación sistemática del plan de mantenimiento, teniendo como cliente final al proceso de Operación. [1,4]

A la fecha ENERJUBONES carece de políticas para la gestión de repuestos debido a que el plan de gestión de mantenimiento carece de herramientas, modelos y manuales que pudieran orientar y guiar a los administradores y técnicos de ENERJUBONES a alcanzar lo planteado por la

alta gerencia quedando, dentro de la gestión de repuestos, a buen criterio encontrar la manera de realizar una gestión que básicamente se orienta a cumplir la ejecución de planes operativos anuales y presupuestos aprobados. Si bien los objetivos de disponibilidad y confiabilidad han dado resultados aceptables, no existe la ruta ni secuencia sistemática bajo una metodología única, a aplicar en la unidad de negocio que permita alinear el uso eficiente de los recursos para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco.

De lo anterior se desprende la necesidad de elaborar las políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco a través de un manual práctico que abarcará métodos y técnicas para lograr una mayor exactitud para la gestión del stock de repuestos para cada equipo crítico de la Central incrementando los ingresos por disponibilidad y producción energética de la Central.

Lograr la excelencia en gestión de mantenimiento es un objetivo que se enmarca en lo que se denomina mantenimiento de clase mundial (WCM); el cual se puede entender como la gestión de mantenimiento que satisface los requerimientos y expectativas relativas a cada momento de desarrollo industrial de la humanidad y del entorno social y de mercados, relacionados con la seguridad, el medio ambiente, la calidad, la productividad y la economía [3].

No obstante la diversidad bibliográfica sobre gestión de repuestos y estrategias de mantenimiento existentes, según las fuentes consultadas, no se han encontrado publicaciones específicas sobre la gestión de repuestos aplicada a la gestión de mantenimiento bajo la metodología utilizada en el presente trabajo; además, en consideración a lo indicado en los párrafos previos, el presente trabajo plantea como objetivo general: teniendo como punto de partida el plan de gestión de mantenimiento de la Corporación, definir las políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco, como un camino viable para iniciar la ruta de mejora continua en búsqueda de la sustentabilidad, como un alineamiento corporativo, que permita crear valor de manera óptima y ventajas competitivas para la organización.

Los objetivos específicos incluyen la definición de: jerarquizar los equipos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco, seleccionar el stock de repuestos para los equipos críticos de la Central Minas San Francisco, realizar un análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad), Elaborar el listado de repuesto basado en el análisis de modos de fallo y en recomendaciones del fabricante, Realizar el análisis de costos por indisponibilidad operativa debido a la falta de stock de repuesto, realizar un análisis beneficio/costo que facilite la toma de decisiones a los directivos; la consecución y sumatoria de todos los objetivos específicos descritos servirán como insumo para lograr el objetivo general del Proyecto descrito anteriormente.

En base al contexto indicado, en lo posterior, se deberán definir bajo la responsabilidad de ENERJUBONES los planes quinquenales y planes anuales de la Central en las cuales se plasmarán las acciones concretas que permitan

alcanzar los objetivos de la gestión de repuestos que apoyen a los objetivos del proceso de gestión de mantenimiento.

La estructura del presente trabajo contiene las siguientes secciones: Conceptos generales sobre la gestión de repuestos, método aplicado, resultados, conclusiones y recomendaciones.

## II. GESTIÓN DE REPUESTOS DE EQUIPOS CRITICOS DE LA CENTRAL MINAS SAN FRANCISCO

Hoy en día toda empresa competitiva está obligada a establecer sus objetivos estratégicos y a definir de manera sistemática su estrategia y caminos para alcanzarlos, razón por la cual el proceso de gestión de repuestos de la unidad de Negocio ENERJUBONES, se fundamentará bajo los siguientes considerandos:

Por muy bien que se realice el mantenimiento de una planta, en algún momento de su vida útil se requerirán piezas de repuesto para sustituir algunos de los componentes que integran las máquinas que forman parte de una instalación industrial. Estas piezas pueden ser originales, reacondicionadas, adaptadas, equivalentes o fabricadas exprofeso, pero sin duda, serán necesarias. Es imposible abordar la explotación de una instalación sin pensar cómo se va a gestionar el repuesto que se necesitará a lo largo de la vida útil de ésta.

Los aspectos a gestionar por los responsables del departamento de mantenimiento de una instalación industrial relativos a la gestión del repuesto son los siguientes:

La selección del stock de repuesto. - es difícil abordar el mantenimiento de la gran mayoría de instalaciones industriales si no se determina y adquiere una serie de piezas que deben permanecer en stock durante toda la vida útil de la instalación. La selección de las piezas que deben incluirse en ese stock es un aspecto clave para conseguir valores aceptables de disponibilidad y confiabilidad de la instalación. *“No es presentable para un gestor de mantenimiento de una instalación mantener indisponible una instalación por periodos largos o cortos por no disponer de forma inmediata de piezas de costo razonables cuyo fallo era fácil proveer.”* [3]

### A. TIPOS DE REPUESTO

Entre las divisiones más habituales están las siguientes: clasificación de acuerdo con la función que cumplen dentro del equipo, en función de la forma en que se realiza el aprovisionamiento o en función de la necesidad de que las piezas deban permanecer en planta en stock permanente. [3]

1. Clasificación del repuesto según su función.  
De acuerdo a la función que ocupan es posible dividir el repuesto en las seis categorías que se indican a continuación:

#### a. Piezas sometidas a desgaste

A este grupo, aquellos elementos que unen piezas fijas y móviles, o aquellas partes en contacto con fluidos, como cojinetes, casquillos, retenes, o elementos de estanquidad

en general. Son piezas sometidas a desgaste, fatiga, erosión, abrasión, corrosión o pérdida de alguna propiedad en función del tiempo de uso.

#### *b. Consumibles*

Son aquellos elementos de duración inferior a un año (8000 horas de uso), con una vida fácilmente predecible, de bajo coste, que generalmente se sustituyen sin esperar a que den síntomas de mal estado. Su fallo y su desatención pueden provocar graves averías. Los consumibles más usuales son los siguientes:

- Filtros.
- Lubricantes de todo tipo.
- Adhesivos.
- Disco de ruptura.
- Material de limpieza.
- Elementos de estanqueidad estándar.
- Consumibles de taller.
- Material desecante.
- Lámparas, bombillas.
- Ánodos de sacrificio.
- Escobillas de motores.
- Alúmina, silica-gel o en general, material adsorbente para desecadores.

#### *c. Elementos de regulación y mando mecánico*

Son aquellos elementos cuya misión es controlar los procesos y el funcionamiento de la instalación: válvulas, muelles, motores, o accionadores en general. Aunque pueden presentar cualquier mecanismo de fallo, su modo de fallo más habitual es por fatiga.

#### *d. Piezas móviles*

Son aquellas destinadas a transmitir movimiento. Son engranajes, ejes, correas, cadenas, reductores, etc. Presentan diferentes modos de fallo: fatiga, abrasión, erosión, etc.

#### *e. Componentes electrónicos (Instrumentación)*

A pesar de su altísima fiabilidad, un fallo en este tipo de componente puede llegar a suponer una parada total del equipo incluso de una planta completa. Su fallo habitual se produce por exceso de temperatura, por humedad ambiental suciedad o por estar alimentados por una tensión que oscila o que no cumple unas determinadas condiciones. Un ejemplo habitual es un fallo en otro elemento que provoca un funcionamiento anormal del equipo; otro puede ser trabajar en condiciones atmosféricas extremas de calor, frío, humedad o polvo.

#### *f. Piezas estructurales*

Difícilmente fallan, al estar trabajando en condiciones muy por debajo de sus capacidades. Se trata de bastidores, patines, soportes, basamentos, etc.

## 2. Clasificación de acuerdo con el tipo de proveedor

### *a. Pieza equivalente*

Se trata de elementos incorporados por el fabricante en el equipo, que él no fabrica, sino que adquiere en el mercado a proveedores especializados. Estas piezas cumplen una serie de especificaciones, que también cumplen otros elementos similares de otros fabricantes. Por ejemplo, es el caso de muchos de los transmisores empleados en instalaciones industriales: en muchos casos pueden reemplazarse por otros de diferentes marcas siempre que las especificaciones (rangos de medida, tensión de alimentación, características de la salida, comunicación con otros elementos, etc.) y los elementos de conexión y fijación coincidan con los de la pieza original con la que contaba el equipo.

### *b. Pieza original*

Es la pieza que el fabricante incluyó originalmente en su diseño. No se trata de piezas equivalentes a las originales, sino precisamente la pieza que el fabricante eligió o diseñó para un equipo concreto. La pieza original, a su vez puede dividirse en dos categorías: la pieza que diseña y construye el fabricante del equipo, que es específica de él y, por lo tanto, debe ser aprovisionada a través del fabricante mismo; y la pieza que el fabricante adquiera otro proveedor para incorporarla en su diseño, y que por tanto, el propietario podría adquirir comprándola directamente al fabricante original del repuesto.

### *c. Pieza a medida*

Es la pieza que el propietario encarga o fabrica a medida en un taller o proveedor especializado.

## 3. Clasificación del repuesto atendiendo a la necesidad de tenerlo en stock en planta

Desde este punto de vista, es posible dividir las piezas en cuatro categorías. La utilidad de esta división radica en que establece qué piezas será conveniente acopiar y qué piezas será conveniente acudir al mercado cuando se requieran.

- Piezas que es necesario mantener en stock en planta.
- Consumibles, es decir, piezas cuyo consumo es habitual y que por tanto puede ser práctico no tener que activar todo el protocolo de compra cada vez que se requieren.
- Piezas que simplemente es necesario tener localizadas, con proveedor, teléfono y plazo de entrega.
- Piezas que no es necesario prever, pues un fallo en ellas no afecta a la operatividad de la planta (como mucho supondrán ligeros inconvenientes).

## B. JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE TENER UN STOCK DE REPUESTO

Las razones por las que es necesario disponer de un stock permanente de determinadas piezas en la Central se enuncian a continuación. En primer lugar, los costos

asociados a una parada por no tener una pieza de repuesto pueden ser muy altos, costos que pueden evitarse totalmente si se dispone de un conjunto seleccionado de piezas, ya que el tiempo de reparación puede ser muy corto si se dispone de dichas piezas.

En segundo lugar, los fabricantes ya no tienen el stock de repuesto que antes podían tener. Los costos financieros asociados al dinero inmovilizado, la obsolescencia provocada por el continuo desarrollo de nuevos equipos y el aumento de las referencias hacen que los fabricantes no tengan el acopio de repuestos que antes sí tenían, por la menor posibilidad de comercializarlos, a pesar de los altísimos márgenes con los que trabajan. Otros actores del mundo industrial, como almacenistas, importadores o distribuidores también han huido de tener stocks de piezas ante los costes financieros y logísticos asociados a los almacenes. Por todo ello, el propietario de una instalación industrial debe estudiar con cuidado su instalación para seleccionar el conjunto de piezas que deben integrar su almacén.

### C. ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DEL STOCK

Hay cinco aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el stock de repuesto que debe permanecer en planta: la criticidad de los equipos en que están situados, su consumo, el coste de la pieza, el plazo de aprovisionamiento y la posibilidad de poner en marcha medidas provisionales en espera del repuesto.

- Criticidad de las averías.
- Consumo.
- Plazo de aprovisionamiento.
- Costo de la pieza.
- Medidas alternativas.

### III. METODOLOGÍA

La metodología seleccionada para el diseño de las políticas de gestión de repuestos para los equipos críticos de la Central Minas San Francisco de CELEC EP- Unidad de Negocio ENERJUBONES se basa en el libro: Ingeniería del Mantenimiento del Dr. Santiago García Garrido, editado en el año 2019; [3], así como también en la norma UNI 10749-3: "Mantenimiento - Guía para la gestión de materiales de mantenimiento - Criterios para la selección de los materiales a gestionar" editada en el año 2003; [8]. La metodología incluye tres etapas o lineamientos generales los cuales se detallan a continuación:

La primera etapa consiste en realizar la estructura jerárquica de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco para lo cual se tomará como referencia los criterios establecidos en la Norma NORZOK estándar Z-008 "Criticality analysis for maintenance purposes" [9], los resultados de esta etapa son las declaratorias de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede definir como:

Criticidad=Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia está ligada al número de fallos o eventos que se presenta en un sistema o equipo, mientras que la consecuencia hace referencia al impacto para los costos de reparación, producción, seguridad, salud, ambiental. [9]

El cálculo de criticidad para los equipos analizados se obtiene del producto entre la probabilidad de ocurrencia de cada criterio multiplicado por los valores de ponderación del criterio y del factor. El resultado de criticidad del equipamiento, corresponde a la sumatoria de los productos parciales obtenidos en cada uno de los factores dando un valor entre 0 y 100 para cada equipo los cuales se clasifican de la siguiente manera:

Mayor o igual a 70: Crítico

Entre 40 y 69: Semi-Crítico

Menor a 40: No crítico

*"Un equipo no es crítico en sí mismo, sino que su posible criticidad está en función de los fallos que pueda tener. Considerar un equipo crítico no aporta, además, ninguna información que condicione un planteamiento acerca de su mantenimiento".* [3]

La segunda etapa es el proceso de selección del stock de repuesto, el cual incluye tres formas completamente diferentes de realizar la estimación del repuesto que una instalación industrial puede requerir para realizar un mantenimiento correcto y adecuado. Estas tres formas son las siguientes:

- Basarse en las recomendaciones de los fabricantes.
- Basarse en el análisis de fallos de la instalación.
- Formas mixtas.

1. Basado en recomendaciones del fabricante.- esta forma consta de cuatro fases las cuales se describen continuación.

#### Fase 1. Selección de equipos significativos

Los equipos significativos de la planta son aquellos que tienen cierta entidad, es decir, aquellos que bien por su afectación a la producción o por los costes derivados de una avería se intuye que tienen cierta importancia dentro de la planta. En esta lista no se incluyen pues todos aquellos equipos que pueden considerarse de entidad menor.

#### Fase 2. Solicitar recomendaciones a los fabricantes

El segundo paso consiste en solicitar a los fabricantes de los diversos equipos significativos una oferta valorada de las piezas de repuesto que ellos recomiendan mantener en stock.

#### Fase 3. Filtrado

La lista de repuesto recomendada por los fabricantes resulta en ocasiones demasiado larga y costosa, por lo que es recomendable proceder al filtrado de dichas listas, primero con criterios técnicos y después con criterios económicos.

#### Fase 4. Adquisición

Por supuesto, la última fase será la generación de los órdenes de compra para la adquisición del repuesto que ha resultado de este proceso.

### 2. Selección basada en fallos potenciales

La selección del stock de repuesto basado en el estudio previo de fallos es sin duda la forma más precisa de llevar a cabo la selección de la lista de repuesto. Es la más precisa sí, pero también la más compleja y la que conlleva un tiempo de estudio y determinación más largo.

Consta de seis partes:

#### a. Determinación de consumibles.

Para todos los componentes que se prevean que tendrán una vida corta, generalmente inferior a un año, no merece la pena activar el protocolo de compras cada vez que se requieren, por lo que puede resultar más interesante tenerlo en stock que activar la compra cada vez que se requieren.

A esta categoría también pertenecen una serie de elementos de tipo genérico, y que se pueden englobar en tres categorías: material de ferretería, material eléctrico genérico y consumibles de mantenimiento.

#### b. Análisis de fallos históricos.

Se trata de determinar en esta segunda vía de análisis un listado con todas las paradas que hayan afectado a la producción en cada uno de los sistemas, provocando paradas o pérdidas de capacidad productiva durante periodos superiores a 48 horas.

Una vez determinada la lista de paradas históricas dividida por sistemas, es necesario determinar qué repuesto fue necesario para repararlas y en qué medida tener o no tener repuesto influyó en que la parada fuera de mayor o menor duración. Se parte de una idea clara: si un fallo ha provocado una parada de planta que se ha visto agravada por no tener el repuesto necesario, podría volver a ocurrir. Se puede pagar un alto precio por cometer un error una vez, pero no dos veces.

Para plantas de nueva construcción, la realización de esta fase no es posible, obviamente. No obstante, como sucedáneo si se dispone de ello, pueden estudiarse las averías en instalaciones similares. La lista elaborada, que de momento ya tiene un gran valor, debe ser filtrada en un paso posterior.

#### c. Análisis de fallos potenciales de la instalación.

Para cada uno de los fallos que se establezcan es necesario determinar, como afectan a la producción.

Para los que afecten a la producción, qué repuesto es necesario para su completa reparación.

Puede ser conveniente realizar este estudio con el rigor propio de los análisis RCM; pero también da un buen resultado realizarlo de forma más resumida, más estimativa, y por tanto más rápida.

#### d. Establecimiento de la lista preliminar.

La recopilación del repuesto seleccionado por las tres fuentes de información (consumibles, análisis de fallos históricos y análisis de fallos potenciales) determina una lista de repuesto preliminar, que requiere ser filtrada con criterios estrictamente técnicos, lo que redundará en su eficacia.

#### e. Filtrado técnico.

El conjunto de piezas seleccionadas debe ser filtrado siguiendo dos criterios, para intentar rebajar su coste y evitar almacenar piezas innecesarias:

- Si se han implementado medidas preventivas eficaces, que hayan hecho disminuir la criticidad de los fallos, y por tanto, la necesidad del repuesto.
- Si se han adoptado medidas de carácter predictivo, que permitan detectar el fallo antes de que éste ocurra, y por tanto reduzcan la necesidad de tener stock de repuesto pues una vez detectado el síntoma de un fallo futuro es posible organizar la compra antes de que el equipo termine fallando.

Ambos filtrados pueden hacer reducir sensiblemente la lista de repuesto necesario. Obsérvese que en esta forma de seleccionar el repuesto no hay un filtrado por razones económicas, por ser más arbitrarias y menos rigurosas, sino estrictamente técnicas. [3]

#### f. Elaboración final de la lista de repuesto

Completadas todas las fases, se dispondrá de una lista de repuesto, y se puede proceder a la compra. Téngase en cuenta que esta lista cambia con el tiempo, y que no es un documento muerto o eterno. La lista cambia fundamentalmente por dos razones:

- Con el paso del tiempo se producen averías no consideradas, que afectan a la producción, y que obligan a acopiar nuevos repuestos para evitar que las averías se produzcan.
- Los equipos cambian, se dan de baja algunos, se adquieren otros nuevos y se realizan modificaciones en los que están en uso que afectan a determinadas piezas.

### 3. Formas mixtas

Existen formas de seleccionar el repuesto que no se adoptan exactamente a ninguna de las formas indicadas, sino que representan una forma mixta de hacerlo, una mezcla entre los criterios seguidos por las diferentes

formas expuestas. Así, para unos equipos se siguen las recomendaciones de los fabricantes; para otros, se prefiere basarse en la experiencia de los técnicos y en la selección de los repuestos por tipos de equipos genéricos; y, por último, para un pequeño conjunto de equipos, se prefiere analizar los posibles fallos que pudiera tener a lo largo de su vida y los repuestos que se deberían disponer en stock.

En realidad, la mayoría de las veces la selección del repuesto se realiza aplicando una fórmula mixta que contiene cada una de las técnicas en mayor o menor proporción.

La complejidad de la selección del repuesto basándose en el análisis de fallos expuesto en el punto anterior hace que esta forma de elaborar la lista de materiales que deben permanecer en stock no sea la recomendable para plantas de nueva construcción, de las que en muchas ocasiones no se conoce el comportamiento exacto. Por otro lado, la elaboración de listas de repuestos basándose en las recomendaciones de los fabricantes tiene serios inconvenientes, y a pesar de su sencillez, en general en la práctica no ha dado buenos resultados globales.

Parece pues que la forma ideal de llevar a cabo la selección de repuestos en plantas de nueva construcción es elaborar dichas listas a partir de conjuntos seleccionados por tipos de equipos. En realidad, esto es lo mismo que decir que la lista de repuestos debe basarse en la experiencia de los técnicos que llevan a cabo estas listas o la de los técnicos que los asesoran. Y tiene sentido. Una bomba centrífuga es una bomba centrífuga con una serie de elementos comunes a prácticamente todos los fabricantes. Conocer previamente qué piezas tienen mayor probabilidad de fallo en cada equipo, y por tanto, qué piezas tienen mayor probabilidad de fallo en cada equipo, por lo mismo, que piezas habrá que tener en stock en función de los tipos de equipo que posea la planta no solo parece razonable, sino que además es efectivo y rápido de hacer, especialmente para plantas de nueva construcción que requieren una lista justo antes de empezar la explotación comercial.

La tercera etapa denominada análisis financiero para la factibilidad de la implementación de gestión de repuestos con la metodología propuesta.- consta de dos fases, en la primera fase se realiza el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco en función de los registros de fallos desde el inicio de operación comercial de la Central, y en la segunda fase se realiza el análisis financiero considerando tanto los ingresos por generación y disponibilidad de energía con el stock de repuestos propuesto y los costos asociados a la adquisición del mismo.

La cuarta y última etapa es la elaboración de las políticas para la gestión de repuestos en función de los resultados obtenidos previamente en las etapas uno, dos y tres.

#### IV. RESULTADOS

A continuación se indicarán los resultados para las cuatro etapas descritas en el punto anterior.

##### A. El análisis de criticidad

Este análisis se realizó para todos los equipos/sistemas de todas las zonas de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco, estas zonas son: Presa, Tunel de Conducción, Casa de Máquinas y Subestación. Los resultados obtenidos siguiendo el método mencionado en la etapa uno del numeral II del presente artículo son los siguientes.[9]

EQUIPOS CRÍTICOS	VALOR DE CRITICIDAD
Regulador de velocidad	81,5
Válvula esférica	78,5
Sistemas auxiliares de unidad	74
Transformador	71

Tabla 1. Resultados del Análisis de Criticidad

Los resultados indicados en la Tabla 1 servirán como insumo para el análisis en las siguientes dos etapas.

##### B. Selección del stock de repuestos.

###### 1. Basado en recomendaciones del fabricante

Luego de haber realizado todas las fases descritas en la metodología para el desarrollo del presente trabajo, el listado de repuestos basado en recomendaciones del fabricante para cada sistema se rige a lo que estipula el formulario 32 de la Licitación para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Minas San Francisco, Cuenca 2011; [6].

###### 2. Basado en el análisis de fallos potenciales

Para determinar los modos de fallo y sus causas, se implementó la herramienta de diagramas de ishikawa previo a la elaboración del listado de repuestos.

El listado de repuestos basado en el análisis de fallos potenciales para cada sistema se rige a lo que estipulan los manuales de operación y mantenimiento de los sistemas críticos de la Central; [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19].

###### 3. Formas Mixtas

Para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la Central, se elaborará el listado definitivo del stock repuestos para los sistemas críticos de la Central, para lo cual se complementará el listado basado en recomendaciones del fabricante [6] con el listado de repuestos basado en el análisis de fallos potenciales [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19] para cada sistema crítico de la Central Minas San Francisco.

A continuación, en la tabla 2 se indicarán los resultados obtenidos del análisis CMD (Confiabilidad, Disponibilidad,

Mantenibilidad), tiempo de provisionamiento, tipo de proveedor los costos asociados a la falta de stock de repuesto siguiendo los criterios descritos en la Norma UNI 10749-3.

**C. Análisis de Factibilidad de la Gestión de Repuestos a través de la metodología propuesta.**

Esta etapa consta de dos fases, la primera es el análisis CMD (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad) y la segunda el análisis de pérdidas por indisponibilidad de la unidad de generación por falta de stock de repuesto, en función de las pérdidas y los costos asociados a la compra de los repuestos se mostrarán los resultados B/C, TIR, VAN, a través de los resultados del análisis financiero se definirá si el proyecto es factible o no.

**Primera Fase. - ANÁLISIS CMD (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad) de los equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco.**

SISTEMA	ANÁLISIS CMD (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad)				
	TASA DE FALLOS (f/fallas/año)	TASA DE REPARACIÓN μ (horas/fallo)	CONFIABILIDAD (%)	MANTENIBILIDAD (%)	DISPONIBILIDAD (%)
	$\lambda = \frac{1}{MTBF}$	$\mu = \frac{1}{MTTR}$	$R(t) = e^{-\lambda t}$	$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	$D = \frac{R(t)}{M(t)}$
VÁLVULA ESFÉRICA	0,000114261	0,12371134	92,10%	100%	92,10%
REGULADOR DE VELOCIDAD	0,000457361	0,585365854	71,94%	100%	71,94%
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	0,000228439	0,406779661	84,83%	100%	84,83%
AGUA DE ENFRIAMIENTO	0,000228509	0,263157895	84,83%	100%	84,83%
ACEITE DE TURBINA	0,000114163	1,714285714	92,11%	100,00%	92,11%
AIRE COMPRIMIDO DE BAJA PRESIÓN	NA	NA	100,00%	NA	100,00%
CONTRA INCENDIOS	NA	NA	100,00%	NA	100,00%
DRENAJE	NA	NA	100,00%	NA	100,00%
VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	NA	NA	100,00%	NA	100,00%
INSTRUMENTACIÓN HIDRÁULICA DE UNIDAD	NA	NA	100,00%	NA	100,00%

Tabla 2. Análisis CMD de los sistemas críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco. [Autor]

La tabla 2 indica el análisis CMD de los sistemas críticos de la Central Minas San Francisco considerando los registros de fallas que se han presentado para los diferentes sistemas desde el periodo de operación comercial, es decir desde el 01 de enero de 2019 hasta diciembre de 2019.

Los valores MTBF y MTTR son valores acumulativos anuales, los valores de confiabilidad y mantenibilidad son valores dependientes del tiempo, se ha considerado para un mes de 720 horas de operación, la disponibilidad es la relación entre la confiabilidad y la mantenibilidad y es independiente del tiempo, no así la confiabilidad y mantenibilidad. [7]

Estos resultados permitirán analizar a través de probabilidades las fallas que tienen los sistemas analizados para de esta manera poder tener un mayor conocimiento del impacto económico que se tendría en caso de que cualquiera de estos equipos fallara.

A continuación se indica los costos por pérdidas tanto por indisponibilidad como por producción de energía asociados

por falta de stock de repuesto para cada Sistema en el caso de que uno de ellos fallara, para este análisis se ha considerado dos situaciones, la primera que en caso de existir una falla en cualquiera de estos sistemas esto provocará la indisponibilidad de la unidad de generación y la segunda que en caso de falla existiese falta de stock de repuesto propuesto en el listado de repuestos forma mixta para cada sistema crítico de la Central Minas San Francisco.

**Segunda Fase.- ANÁLISIS DE PÉRDIDAS POR COSTOS DE INDISPONIBILIDAD Y PRODUCCIÓN DEBIDO A LA FALTA DE STOCK DE REPUESTOS.**

La regulación No. CONELEC 004/09 ‘‘ Regulación complementaria No. 2 para la aplicación del Mandato Constituyente No. 15’’ establece que el factor de disponibilidad promedio para las centrales denominadas de ‘‘pasada’’ tendrá que ser de 0,9, en caso de ser inferior se penalizará de manera proporcional en función del factor de disponibilidad promedio para las Centrales Hidroeléctricas. [20]

Es por ello, que a continuación, en la tabla 3 se indica cómo se verían afectados los ingresos de la Unidad de Negocio y las penalizaciones que tendría la Central por no disponer de repuestos cuando existan fallas en los sistemas críticos y sea necesario realizar reparaciones. [20,8]

SISTEMA	COSTO DE REPUESTOS	PÉRDIDAS POR INDISPONIBILIDAD DE STOCK DE REPUESTO (\$)	B/C	TIR	VAN (\$)	INGRESOS PROYECTADOS DE LA UNIDAD DE NEGOCIO CON STOCK DE REPUESTO PROPUESTO (\$)	INGRESOS PROYECTADOS DE LA UNIDAD DE NEGOCIO SIN STOCK DE REPUESTO PROPUESTO (\$)
REGULADOR DE VELOCIDAD	\$ 340.668,63	\$ 1.538.758,90	4,52				
VÁLVULA ESFÉRICA	\$ 102.055,87	\$ 1.538.758,90	15,08				
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	\$ 38.927,84	\$ 1.538.758,90	39,53	105%	\$3.006.185,29	\$ 11.843.347,47	\$ 10.304.588,57
SISTEMAS AUXILIARES DE UNIDAD	\$ 343.005,80	\$ 1.538.758,90	4,49				

Tabla 3. Análisis financiero para la Implementación de la Gestión de repuestos con el método propuesto.

La tabla 3 considera un tiempo de aprovisionamiento ya sea para proveedor local o extranjero de 140 días, el costo del KWH de 0,002\$ ;[20] y los costos de repuestos estipulados en la oferta del contrato de licitación, [6].

El proyecto es factible en función de los resultados del análisis financiero que se muestran en la tabla 3 por lo que se espera socializar con los directivos de la Corporación el presente proyecto para que pueda servir como guía piloto para las demás Unidades de Generación de Energía Hidroeléctrica y de esta manera mejorar el proceso de Gestión de Mantenimiento de la Corporación.

**D. POLÍTICAS**

Inevitablemente la experiencia, la habilidad y el sentido común utilizado para la ejecución del presente proyecto ha permitido la realización de políticas para la gestión de repuestos, las mismas que tienen sus bases fundamentadas en los resultados obtenidos en el numeral III. A continuación, se enumeran las políticas que permitirá

mejorar el proceso de la gestión de repuestos desde la parte técnica, administrativa, financiera, compras, bodega, talleres y almacenamiento para la Unidad de Negocio ENERJUBONES.

1. ENERJUBONES garantizará la adquisición de los repuestos que deberán permanecer en stock, por lo tanto, una vez determinado este stock los responsables del área de mantenimiento deberán asegurarse de que generan las correspondientes órdenes de compra y se adquieran.

La Central Minas San Francisco, definirá las categorías en que se pueden agrupar las piezas de repuesto, los criterios de selección del stock que debe permanecer en planta, o incluso formas de abordar la gestión del repuesto de manera que suponga un ahorro de costos para la planta.

Los responsables del área de mantenimiento de la Central Minas San Francisco deben analizar los siguientes aspectos:

1.1 La selección del stock de repuesto. El responsable de la gestión de repuestos deberá garantizar el cumplimiento de las metas presentadas a CELEC EP-Matriz a inicios de cada año en base a una correcta selección de los repuestos que se deben incluir en los equipos críticos de la Central Minas San Francisco.

1.2 El almacenaje.- El especialista de la gestión de repuestos será el responsable del almacenaje de los repuestos delegando esta función al especialista de bodega de la Unidad de Negocio el cual deberá garantizar de que todos los repuestos que permanecen en stock en la planta deben ser guardadas y custodiadas en un almacén que reúna una serie de características elementales, como la seguridad, la degradación o el control del stock disponible, y en el que sea fácil localizar lo que se necesita.

1.3 El control del consumo.- El responsable de la gestión de repuestos deberá controlar el consumo de los repuestos, dicho control permitirá calcular los costos de mantenimiento, elaborar presupuestos futuros, reponer los repuestos que se consumen y que se requieren que permanezcan en stock, conocer los principales incidentes de la instalación y ampliar el conocimiento y experiencia durante la vida útil de la planta.

1.4 La obsolescencia.- el responsable de la gestión de repuestos deberá informar al gestor de mantenimiento la obsolescencia de los repuestos, implementando mecanismos que por un lado eviten mantener en stock repuestos que ya no se utilizarán nunca, y por otro lado que asegure la disponibilidad en todo momento de las piezas de repuesto que se requieran.

2. Los responsables del área de mantenimiento deberán garantizar un stock permanente de repuestos en función de:

2.1 Los costos asociados a una parada de planta por no tener una pieza de repuesto.

2.2 Realizar el estudio y análisis la instalación para seleccionar el conjunto de piezas que deben integrar su almacén.

3. Para la selección de stock que deben permanecer en bodega los responsables de la gestión de repuestos deberán tener en cuenta cinco aspectos fundamentales: la criticidad de los equipos, su consumo, el costo del repuesto, el plazo de aprovisionamiento y la necesidad de poner en marcha medidas provisionales en espera del repuesto.

3.1 La criticidad de las averías.- los responsables de la gestión de repuestos deberán realizar el análisis de fallos críticos de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco, es decir la criticidad de estos fallos, como afectan éstos a la producción, a la seguridad, al medioambiente o a los costos de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de repuestos para los fallos significativos.

3.2 Consumo.- Luego de haber elaborado el histórico de averías, los responsables de la gestión de repuestos deberán definir los elementos que se consumen habitualmente durante el cambio de piezas.

3.3 Plazo de aprovisionamiento.- los responsables de la gestión de repuestos deberán elaborar y actualizar mensualmente el listado de repuestos, tanto de los repuestos que se encuentran en stock permanente en proveedores cercanos a la planta, como de los que se fabrican bajo pedido.

3.4 Costo del repuesto.- Los responsables de la gestión de repuesto deberá tener un almacén con el menor costo posible, aquellos repuestos de precio alto no deberían mantenerse en stock, sino, deberían estar sujetas a un sistemas de mantenimiento predictivo eficaz.

3.5 Medidas alternativas.- Los responsables de la gestión de repuestos deberán planificar medidas alternativas en caso de una falla significativa hasta la llegada del repuesto.

4. Para la selección del stock de repuesto los responsables de la gestión de repuestos deberán estimar el listado basados en las recomendaciones de los fabricantes, y en el análisis de fallos de la instalación.

4.1 Para la selección basada en las recomendaciones de los fabricantes, los responsables de la gestión de repuestos deberán: 1) realizar la selección de equipos significativos, 2) solicitar recomendaciones a los fabricantes, 3) realizar el filtrado del listado de repuestos y 4) la adquisición de los repuestos en función de las políticas de compras para las empresas públicas.

4.2 Los responsables de la gestión de repuestos deberán elaborar el listado de repuestos basado en el análisis de fallos que contempla las siguientes fases: Análisis de

fallos históricos, análisis de fallos potenciales de los equipos críticos, elaboración del listado de repuestos.

5. Formas mixtas.- Los responsables de la gestión de repuestos, deberán aplicar una fórmula mixta que contenga en mayor, igual o menor proporción de repuestos enlistados tanto en las recomendaciones del fabricante como del análisis de fallos, al ser una planta nueva la Central Minas San Francisco, durante el período de garantía se deberá realizar el listado final el cual estará conformado por todos los repuestos recomendados por el fabricante y por el análisis de fallos.

6. Los responsables de la gestión de repuestos deberán definir el almacén para los repuestos utilizando criterios basados en: proximidad a la máquina, si se trata de un repuesto específico de una sola máquina o de varias, las dimensiones, las mediadas a tomar para su almacenamiento.

7. Los responsables de la gestión de repuestos deberán determinar además del almacén central los almacenes o bodegas distribuidas en las diferentes zonas de la Central Hidroeléctrica.

8. Para decidir donde ubicar los repuestos, los responsables de mantenimiento en conjunto con la Jefatura de Bodegas deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

10.1 Los repuestos específicos deben estar situados en los almacenes de zona, en lugar del almacén central.

10.2 El repuesto pesado, voluminoso o que requiera especiales medidas a tomar para su almacenamiento debe estar situado en el almacén central.

10.3 El almacén central debe contener, fundamentalmente, repuesto genérico, utilizable en diversas plantas.

11. Para la elaboración del presupuesto para repuestos de los equipos críticos se deberá realizar una estimación muy aproximada, basándose en el costo de la planta. El costo anual en repuesto es proporcional al costo de la planta, el responsable de la gestión de repuestos estimará el presupuesto para repuestos entre el 0,5 y 1,5 el valor de los equipos más el montaje de éstos.

12. Los responsables de la gestión de mantenimiento, deberán elaborar adicionalmente el listado de repuestos para tres años de operación, siendo estos los materiales que se pueden requerir en un mantenimiento mayor de la planta.

13. Previo a la adquisición del repuesto, los responsables de la gestión de repuestos deberán considerar las posibles formas de ahorro teniendo en cuenta los siguientes criterios:

a) Disminución del presupuesto en la compra de repuestos aplicando técnicas de mantenimiento adecuadas, que incluyan mayor peso al mantenimiento preventivo que el correctivo y que se apliquen técnicas de mantenimiento condicional en sustitución de técnicas sistemáticas.

b) Realizar un estudio de mercado para saber quienes son en realidad los fabricantes de los repuestos para determinado equipo y evitar comprar los repuestos directamente al fabricante, ya que a veces el fabricante no fabrica determinados repuestos y pudiese hacer de intermediario entre el cliente y el proveedor.

c) Analizar la posibilidad de adquirir determinadas piezas equivalentes a otro proveedor, o incluso, es posible fabricarlas en talleres paralelos. Ésto se analizará posterior al período de cobertura de la garantía contractual.

d) El reacondicionamiento de piezas.- muchos elementos no sufren un desgaste total, sino simplemente en alguna parte concreta de éstas.

e) La realización periódica de inventarios de almacén que permita conocer con precisión lo que se tiene, evitando incurrir en gastos innecesarios, como el envío urgente de piezas o la adquisición de repuestos para máquinas que van a ser retiradas de servicio.

14.- Los responsables de la gestión de repuestos deberán elaborar el listado de los Kit de Rotación para cada equipo crítico.

15.- Los responsables de la gestión de repuestos deberán tener en cuenta el recorte de repuesto del fabricante para tener el stock necesario en bodega a través de un estudio técnico que seleccione adecuadamente las piezas que se requieren y que pueden afectar a la producción.

16.- Los responsables de la gestión de repuestos deberán detectar los repuestos obsoletos utilizando las siguientes vías.

a) Adquisición de nueva maquinaria: al adquirir maquinaria nueva que sustituya a otra, debe retirarse de la planta no solo la maquinaria sustituida, sino también todo el repuesto específico de dicha maquinaria.

b) Los inventarios periódicos son otra vía para detectar los repuestos obsoletos: se debe realizar inventarios periódicos de repuestos existentes en los almacenes de la planta.

17. En caso de encontrar repuestos obsoletos, los responsables de la gestión de repuestos deberán:

a) Verificar si es posible utilizarlo directamente o con alguna modificación en otra parte de la instalación.

b) Ponerlo a la venta.

c) Venderlo como chatarra.

d) Modificar la contabilidad de la empresa para que tenga en cuenta la pérdida asociada a la depreciación de los repuestos obsoletos.

## V. CONCLUSIONES

1. Las políticas para la gestión de repuestos planteadas, deberán ser analizadas durante la fase contractual de la Central Minas San Francisco, actualmente se encuentra en la etapa de cobertura de la garantía técnica la cual por temas contractuales y legales deberá tener prioridad durante el tiempo restante de cobertura de garantía.

2. La jerarquización de los equipos de la planta permite discriminar a través de los criterios mencionados la importancia y criticidad de todos los equipos de la planta, los resultados arrojados por este análisis sirvieron como insumo para continuar con la metodología planteada previo a elaborar las políticas para la gestión de repuestos de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco.

3. La elaboración del listado de repuestos basado en las recomendaciones del fabricante permite a la Unidad de Negocio ENERJUBONES tener el punto de arranque hacia una buena gestión, para la elaboración del listado se toma como base lo que consta en el contrato de la construcción del proyecto, el cual ha sido socializado con los técnicos responsables de la Unidad de Negocio ENERJUBONES responsables de la administración y de la ejecución del proyecto.

4. Sin lugar a dudas, la elaboración del listado de repuestos basado en fallos potenciales es la forma más precisa de llevar a cabo la selección de la lista de repuesto. Es la más precisa sí, pero también la más compleja y la que conlleva un tiempo de estudio y determinación más largo por lo que fue necesario crear grupos de trabajo integrado por personal de mayor experiencia tanto de la Unidad de Negocio como de la Empresa Contratista.

5. Debido a la poca información referente al histórico de averías de los equipos críticos de la Central Minas San Francisco, ha sido necesario tener como referencia la operación de Centrales Hidroeléctricas de Generación de un contexto operacional similar para proyectar las metas de disponibilidad, confiabilidad e indisponibilidad no programada, estos indicadores sirvieron como insumo para la elaboración de la matriz de criticidad de los equipos de la Central, específicamente en la tasa de fallos.

6. La elaboración del listado final de repuestos utilizando la forma mixta, es decir que contenga tanto el listado de repuestos basado en las recomendaciones del fabricante como también el listado de repuestos basado en fallos potenciales es óptima teniendo en cuenta dos factores influyentes en el contexto operacional de la Central Minas San Francisco, estos factores son: La Operación y

Mantenimiento de la Central se encuentra en etapa contractual y la etapa actual del ciclo de vida de la Central en su período de vida infantil, por lo que es necesario tener una mayor cantidad de cobertura ante posibles fallas que afecten la disponibilidad de la planta.

7. La propuesta de construcción de almacenes centralizados y almacenes distribuidos en zonas ayudará a que todos aquellos elementos pesados, voluminosos, específicos estén situados en el almacén central y los repuestos de mayor rotación, consumibles, piezas de desgaste se sitúen próximos a los equipos, es decir en almacenes zonales, éstos pueden estar cerca a la casa de máquinas.

8. Para cumplir con las metas referentes a disponibilidad, confiabilidad e indisponibilidad no programada enviadas a CELEC EP – Matriz a inicios de cada año, es necesario tener un stock de repuestos de calidad, que garantice la disponibilidad de la planta y evite pérdidas y penalizaciones por la parada ante fallos potenciales. De igual manera, el análisis del listado a través de estadísticas y análisis de modos de fallo es una herramienta fundamental para evitar la compra de repuestos que con el pasar del tiempo se convertirán en repuestos obsoletos.

9. La actualización de inventarios, y el retiro de repuestos de equipos que ya no están en funcionamiento en la planta se convierten en actividades fundamentales para la mejora en la gestión de repuestos, mejorando directamente el proceso de gestión de mantenimiento de la Unidad de Negocio ENERJUBONES siendo de gran ayuda a la gestión organizacional de los directivos de la Corporación.

10. Durante el desarrollo del trabajo de investigación se obtuvo muy poca información de la gestión de repuestos de las otras unidades de negocio que conforma la Corporación, debido a que en su gran mayoría se basan en las recomendaciones del fabricante y en listas de consumibles y kit de rotación, es decir no se realiza un análisis de fallos potenciales por lo que las políticas mencionadas en el presente documento tiene en cuenta aspectos como: técnico, adquisiciones, obsolescencia, recomendaciones del fabricante, análisis de fallos potenciales, presupuesto, almacenamiento, ahorro, kit de rotación, análisis de posibles reparaciones, entre otros, por lo que este proyecto podría ser un piloto para el resto de Unidades de Negocio de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP.

11. La implementación del proyecto resulta beneficioso en función de los resultados mostrados en el análisis financiero, esto motiva a socializar el proyecto con los directivos para que a través de la implementación del mismo se logre una mayor eficiencia en la gestión administrativa y financiera de los recursos destinados al proceso de Operación y Mantenimiento de la Central Minas San Francisco.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Para el análisis de criticidad se recomienda debatir en mesas de trabajo los factores que se deben tener en cuenta para cuantificar la criticidad, estas mesas de trabajo estarán conformadas entre personal con determinado perfil de la contratista y CELEC.
2. Se recomienda realizar la taxonomía de todos los sistemas que conforman la planta, esto servirá como insumo para realizar el análisis de criticidad.
3. Definir el valor mínimo para determinar la criticidad de los equipos de la planta, estos valores deben ser socializados en reuniones de trabajo con el personal que trabaja en la planta (Jefes, supervisores, técnicos).
4. Se recomienda trabajar en conjunto con el personal de la Contratista en la elaboración y revisión de los manuales de operación y mantenimiento de los equipos, los manuales son un insumo importante para la definición de los modos de fallo que tiene cada equipo o sistema.
5. Crear equipos de trabajo con personal con una mayor experiencia en donde se analice conjuntamente con los manuales de operación y mantenimiento los fallos potenciales de los equipos críticos de la Central.
6. Coordinar y socializar con los directivos las políticas para la gestión de repuestos, esto fortalecerá la toma de decisiones en la etapa de aprobación del presupuesto anual de la Unidad de Negocio ENERJUBONES.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi colega y tutor de tesis Luis Felipe Sexto M.S.c., Ing por sus conocimientos y habilidades que facilitaron la investigación y desarrollo de la presente tesis.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Corporación Eléctrica del Ecuador EP, Plan Estratégico 2017-2021, Cuenca, 2017.
- [2] O. García Palencia, Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, Bogotá: Ediciones de la U, 2012.
- [3] S. García Garrido, Ingeniería del Mantenimiento, Madrid, Renovetec editorial 2015.
- [4] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Plan de Mantenimiento 2017-2021, Cuenca, 2018.
- [5] Unidad de Negocio ENERJUBONES, IFS Centura-2019, Cuenca, 2019.
- [6] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Licitación para la Construcción del Proyecto hidroeléctrico Minas San Francisco, Cuenca, 2011.
- [7] UNE EN- 15341 (Septiembre 2008). Mantenimiento, Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento. Madrid, España.
- [8] UNI 10749-3 (2008). Maintenance-Guidelines for management of maintenance materials- criteria for the choice of materials to be managed.
- [9] NORZOK Standar Z-008 (2008). Criticality analysis for maintenance purposes.
- [10] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema Válvula Esférica, Cuenca, 2019.
- [11] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema Regulador de Velocidad, Cuenca, 2019.
- [12] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema Transformador Principal de Potencia, Cuenca, 2019.
- [13] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de Agua de Enfriamiento, Cuenca, 2019.
- [14] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de Agua de Aire comprimido de baja presión, Cuenca, 2019.
- [15] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema Contra incendios, Cuenca, 2019.
- [16] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de aceite de turbina, Cuenca, 2019.
- [17] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de Instrumentación de Unidad, Cuenca, 2019.
- [18] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de Drenaje-Casa de Máquinas, Cuenca, 2019.
- [19] Unidad de Negocio ENERJUBONES, Manual de Operación y Mantenimiento de Sistema de Aire Acondicionado y Ventilación, Cuenca, 2019.
- [20] CONELEC, Regulación No.004-09 Regulación complementaria No. 2 para la aplicación del Mandato Constituyente No. 15 Quito, 2009.