



Análisis de viabilidad técnico-económica para las actividades de mantenimiento en centrales de  
generación de energía con recursos propios

Anna Delly Galindez ID: 000770294

Juan Alejandro Ruíz Uribe ID: 000770292

Liria Yuliet Taborda Echavarría ID: 000770411

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

mayo de 2021

Análisis de viabilidad técnico-económica para las actividades de mantenimiento en centrales de  
generación de energía con recursos propios

Anna Delly Galindez ID: 000770294

Juan Alejandro Ruíz Uribe ID: 000770292

Liria Yuliet Taborda Echavarría ID: 000770411

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor(a)

MBA. John Fredy Vanegas Restrepo

M.Sc. Milton Esteban Sierra Cadavid

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

mayo de 2021

## **Análisis de viabilidad técnico-económica para las actividades de mantenimiento en centrales de generación de energía con recursos propios**

### **Resumen**

Para asegurar la prestación de un buen servicio de generación de energía, es importante el cumplimiento de las actividades de mantenimiento en las diferentes centrales, dado que estas representan un costo considerable para las empresas y en muchas ocasiones se contratan con un tercero.

Se elabora una investigación que permite comparar los costos en que se incurre en los mantenimientos con recursos propios y contratados, con el fin de analizar la viabilidad técnico-económica de las actividades realizadas con recursos propios.

Por medio de la revisión documental de los costos asociados a personal, transporte y viáticos tomados de los sistemas de información de algunas empresas del sector eléctrico colombiano y aplicación de encuestas a líderes de mantenimiento, se obtiene un consolidado de actividades ejecutadas entre el año 2018 - 2019, que permite identificar los perfiles profesionales más requeridos en las actividades de mantenimiento.

El análisis realizado permite concluir que los costos asociados a los trabajos ejecutados con recursos propios y personal interno son inferiores a los de las contrataciones con terceros, además de evidenciar un buen nivel de satisfacción por parte de los usuarios y clientes de dicho proceso.

### **PALABRAS CLAVES**

Central de generación de energía, correctivo, equipo, líderes, mantenimiento, predictivo, preventivo, viabilidad.

## **ABSTRACT**

To ensure the provision of a good power supply, it is important to comply with the maintenance activities in the different plants, since these represents a considerable cost for the companies and in many cases they are contracted with a third party.

A case study is prepared that allows to compare the costs incurred in maintenance with own resources and contracted ones, in order to analyze the technical-economic viability of the activities carried out with own resources.

Through the documentary review of the costs associated with personnel, transportation and travel allowances from the information systems of some companies in the Colombian electricity sector and the application of surveys to maintenance leaders, a consolidated of activities executed between the year 2018 – 2019 is obtained, which allows identifying the professional profiles most required in maintenance activities.

The analysis carried out allows to conclude that the costs associated with the work carried out with its own resources and internal personnel are lower than those of contracting with third parties, in addition to showing a good level of satisfaction on the part of the users and clients of said process.

## **KEYWORDS**

Power plant, corrective maintenance, leaders, maintenance, predictive maintenance, preventive maintenance, viability.

## Índice

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Descripción del problema .....	13
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Objetivos .....	19
1.4.1. Objetivo general:.....	19
1.4.2. Objetivos específicos: .....	19
2. MARCO REFERENCIAL .....	20
2.1. Marco conceptual: .....	20
2.2. Marco contextual:.....	22
2.3. Marco legal .....	26
2.4. Marco teórico.....	27
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	34
3.1. Línea de investigación institucional .....	34
3.2. Eje temático .....	34
3.3. Enfoque de investigación y paradigma investigativo.....	35
3.4. Diseño .....	35
3.5. Alcance.....	35
3.6. Población.....	36
3.7. Tamaño de muestra.....	36
3.8. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información y datos.....	36
3.8.1. Técnico .....	36
3.8.2. Económico.....	37
4. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	38
4.1. Encuesta.....	38
4.2. Especialidad más requerida .....	38
4.3. Análisis económico.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
5.1. Encuesta.....	39

5.2. Revisión y análisis de la información de costos .....	41
6. CONCLUSIONES.....	57
7. REFERENCIAS.....	59
8. ANEXOS .....	62

**Índice de tablas**

<i>Tabla 1. Resumen costo por actividad recursos propios versus contratados .....</i>	<i>53</i>
---	-----------

**Índice de figuras**

Figura 1. Modelo Organizacional de Henry Ford. (Olarte et al., 2010).....	23
Figura 2. Modelo Organizacional de Henry Ford reformado. (Olarte et al., 2010) .....	24
Figura 3. Estructura de la excelencia en gestión de mantenimiento. (Campbell, 2006).....	28
Figura 4. Modelo de sistema de gestión de mantenimiento. (Viveros y otros, 2012) .....	29



### Índice de ilustración

<b>Ilustración 1.</b> Esquema general del Sistema interconectado colombiano. (Arcgis, s.f.).....	14
<b>Ilustración 2.</b> Central Hidroeléctrica Sogamoso. (Arcgis, s.f.) .....	14
<b>Ilustración 3.</b> Central Hidroeléctrica San Carlos. (Arcgis, s.f.) .....	15
<b>Ilustración 4.</b> Central Hidroeléctrica El Quimbo. (Arcgis, s.f.) .....	15
<b>Ilustración 5.</b> Central Hidroeléctrica del Guavio. (Arcgis, s.f.).....	16
<b>Ilustración 6.</b> Central Hidroeléctrica Porce III. (Arcgis, s.f.) .....	16

## Índice de gráficas

<i>Gráfica 1. Resultados de encuestas de satisfacción de servicio.....</i>	<i>39</i>
<i>Gráfica 2. Resultados Calidad del servicio .....</i>	<i>40</i>
<i>Gráfica 3. Especialidades requeridas en actividades de mantenimiento. ....</i>	<i>41</i>
<i>Gráfica 4. Costos extracción de escombros túnel de cables .....</i>	<i>42</i>
<i>Gráfica 5. Costos reposición Kato banco.....</i>	<i>42</i>
<i>Gráfica 6. Costos montaje bombas de embalse.....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfica 7. Costos cambio de bobinado estator .....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfica 8. Costos construcción de acceso piso reg-turbina .....</i>	<i>44</i>
<i>Gráfica 9. Costos correctivo y calibración válvulas esféricas.....</i>	<i>44</i>
<i>Gráfica 10. Costos correctivo válvulas esféricas .....</i>	<i>45</i>
<i>Gráfica 11. Costos correctivo válvulas esféricas .....</i>	<i>45</i>
<i>Gráfica 12. Costos mantenimiento mayor cambio de devanada .....</i>	<i>46</i>
<i>Gráfica 13. Costos desmontaje bombeo .....</i>	<i>46</i>
<i>Gráfica 14. Costos inspección combustible unidad.....</i>	<i>47</i>
<i>Gráfica 15. Costos mantenimiento anual .....</i>	<i>47</i>
<i>Gráfica 16. Costos mantenimiento correctivo .....</i>	<i>48</i>
<i>Gráfica 17. Costos mantenimiento Overhaul unidad.....</i>	<i>48</i>
<i>Gráfica 18. Costos mantenimiento especial .....</i>	<i>49</i>
<i>Gráfica 19. Costos cambio de bobinado estator.....</i>	<i>49</i>
<i>Gráfica 20. Costos mantenimiento unidad .....</i>	<i>50</i>

<i>Gráfica 21. Costos mantenimiento mayor .....</i>	<i>50</i>
<i>Gráfica 22. Costos pruebas eléctricas de potencia .....</i>	<i>51</i>
<i>Gráfica 23. Costos reparación válvula esférica.....</i>	<i>51</i>
<i>Gráfica 24. Costos tratamiento aceite banco .....</i>	<i>52</i>
<i>Gráfica 25. Costos de mantenimiento de centrales eléctricas recursos contratados versus recursos propios .....</i>	<i>54</i>
<i>Gráfica 26. Diferencia costos de mantenimiento con recursos contratados versus recursos propios .....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfica 27. Costos actividades de mantenimiento con personal contratado.....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfica 28. Costos actividades de mantenimiento con personal propio .....</i>	<i>56</i>

## Introducción

El presente proyecto parte de la necesidad de generar elementos que sirvan de apoyo para la toma de decisiones y análisis respecto a los esquemas de contratación con terceros versus asignación de recursos propios, teniendo en cuenta factores como costos, niveles de satisfacción y resultados de las operaciones.

En algunas empresas del sector eléctrico se ha identificado la necesidad de llevar un control de los tiempos, costos de cada una de las actividades y perfiles más requeridos en los mantenimientos de las centrales de generación de energía.

De acuerdo a lo anterior se ha tomado la iniciativa de realizar un levantamiento de la información de cada uno de los servicios prestados en algunas de las centrales con recursos propios y contratados entre los años 2018 y 2019, con el fin de tener claridad de los costos en cada una de las actividades por medio de ambas modalidades de contratación.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

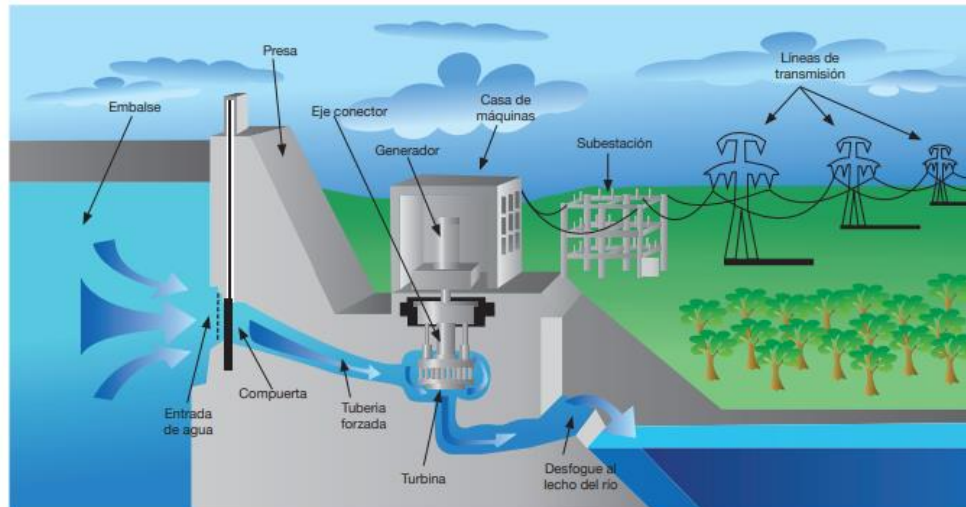
### 1.1. Descripción del problema

El sector eléctrico colombiano está regulado por la ley 143 de 1994, donde se presentan las disposiciones y manejo del mercado de generación y transmisión de energía según datos soportados por XM, empresa encargada de planear y operar el sistema interconectado en Colombia. (XM, s.f)

Dada la importancia que este sector tiene para el país, las empresas dedicadas a esta actividad, procuran asegurar el flujo constante de energía para suplir las necesidades demandadas por los diferentes clientes tanto del segmento residencial como industrial. Es por ello, que el mantenimiento tiene un papel importante en la generación de energía en las diferentes centrales ubicadas a lo largo del territorio colombiano.

Se han identificado varias formas de realizar los mantenimientos que buscan atender esta necesidad, permitiendo la operación constante de sus máquinas y obteniendo valor económico, producto de la eficiencia y pronta reacción, solucionando inconvenientes presentes en la operación del día a día que pueden afectar la disponibilidad de esta actividad.

A continuación se presentan algunas centrales hidroeléctricas en operación ubicadas en la república colombiana.



**Ilustración 1.** Esquema general del Sistema interconectado colombiano. (Arcgis, s.f)



Hidroeléctrica de Sogamoso

**Ilustración 2.** Central Hidroeléctrica Sogamoso. (Arcgis, s.f.)



Hidroeléctrica de San Carlos

**Ilustración 3.** Central Hidroeléctrica San Carlos. (Arcgis, s.f.)



Hidroeléctrica El Quimbo

**Ilustración 4.** Central Hidroeléctrica El Quimbo. (Arcgis, s.f.)



Hidroeléctrica del Guavio

**Ilustración 5.** Central Hidroeléctrica del Guavio. (Arcgis, s.f.)



Central Porce III (EPM)

**Ilustración 6.** Central Hidroeléctrica Porce III. (Arcgis, s.f.)

Los mantenimientos necesarios para la correcta operación de algunas centrales se realizan con recursos contratados a través de un tercero.

Debido a la alta afluencia de personal externo en las centrales, algunas empresas del sector evaluaron esta situación y como resultado decidieron realizar los mantenimientos con recursos propios, que les permitiera atender las actividades que impactan el negocio de energía, como los mantenimientos anuales, parada de planta, cambio de devanados, cambio aislamiento



rotores, etc., teniendo en cuenta la programación de estas actividades definidas para cada central y los posibles eventos que se presenten durante la operación y mantenimiento, para garantizar la confiabilidad y disponibilidad del parque generador.

### **1.2. Formulación del problema**

Teniendo en cuenta la descripción que se hizo anteriormente, con el presente trabajo de investigación se busca evaluar a los equipos de mantenimiento que atienden las actividades más representativas en las centrales de generación, tomando como insumo los costos utilizados por algunas empresas del sector eléctrico colombiano, que realizan estas labores con recursos propios y contratados, permitiendo generar un escenario de estudio que brinda la fiabilidad de los datos y costos reales, de modo que se pueda comparar y determinar cuál de las formas de ejecución de los mantenimientos es más rentable para las empresas en la parte financiera y técnica, dando respuesta a preguntas como ¿es viable técnica y económicamente atender las actividades de mantenimiento en las centrales de generación de energía con recursos propios versus contratados?.

### **1.3. Justificación**

De acuerdo con lo que se expone en predictiva<sup>21</sup>:

Se entiende por mantenimiento la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. En ese sentido, se puede decir, este es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un costo mínimo. Conforme con la anterior definición se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/o corregir daños.

- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones.
- Aspecto económico.

Esto conlleva a la idea de que el mantenimiento empieza en el proyecto de la máquina. En efecto, para poder llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada es imprescindible empezar a actuar en la especificación técnica (normas, tolerancias, planos y demás documentación técnica a aportar por el suministrador) y seguir con su recepción, instalación y puesta en marcha; estas actividades cuando son realizadas con la participación del personal de mantenimiento deben servir para establecer y documentar el estado de referencia. A ese estado nos referimos durante la vida de la máquina cada vez que hagamos evaluaciones de su rendimiento, funcionalidades y demás prestaciones. (Predictiva21, s.f)

Los costos de mantenimiento representan una alta proporción de los costos totales de la producción energía, por tanto, es importante cuantificarlos, permitiendo controlar y hacer seguimiento a las inversiones que se ejecutan en cada activo. Esto garantiza una mayor disponibilidad de los equipos, asegurando ventaja competitiva, generando la reducción de los costos innecesarios en las plantas de generación de energía que mejoran la productividad y rentabilidad.

Este proyecto aporta a las empresas del sector eléctrico colombiano con el análisis de la viabilidad técnico-económica de las actividades de mantenimiento en las centrales de generación de energía que se llevan a cabo con recursos propios o contratados, al generar un insumo que servirá de apoyo en la toma de decisiones frente a la eficacia del mantenimiento ejecutado con recursos propios. De acuerdo con lo anterior, es importante y significativo desarrollar dicho estudio de viabilidad, dado que aportará un mayor entendimiento sobre los costos, tiempos,

materiales utilizados por el personal contratado o el personal vinculado a las diferentes centrales de generación de energía.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. *Objetivo general:***

Analizar la viabilidad técnico-económica de las actividades de mantenimiento realizadas en algunas centrales de generación de energía en Colombia con recursos propios o contratados, durante el periodo 2018-2019, para determinar cuál de las opciones es más rentable para las empresas y lograr una mayor eficiencia tanto en calidad como en oportunidad.

##### **1.4.2. *Objetivos específicos:***

- Medir el nivel de satisfacción de los líderes encargados de supervisar las actividades de mantenimiento en las diferentes centrales de generación con recursos propios, por medio de una encuesta.
- Identificar la especialidad más requerida en los mantenimientos de las centrales de generación de energía, por medio de revisión documental de sistemas de información de las empresas del sector.
- Realizar una caracterización de las actividades de mantenimiento donde se identifiquen los aspectos económicos (nómina), técnicos (actividades e identificación de perfiles más requeridos) y logísticos (viáticos y transporte) de los años 2018 y 2019, por medio de revisión documental de diferentes empresas del sector.
- Evaluar la viabilidad técnico-económica, teniendo en cuenta los costos de las actividades realizadas con recursos propios y contratados, por medio de revisión documental de diferentes empresas del sector.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Marco conceptual:

Con el fin de lograr una mayor comprensión de los diferentes conceptos que se van a desarrollar a lo largo de este proyecto de investigación, es importante conocer las siguientes definiciones conceptuales que se manejan al interior de las empresas de generación de energía.

#### **Mantenimiento:**

Es el procedimiento por el cual se trata un bien determinado de manera que el paso del tiempo, el uso o el cambio de circunstancias externas no lo afecten, hay muchos campos en los que se puede aplicar el término, ya sea para bienes físicos o virtuales. (Todo Mantenimiento, s.f)

#### **Confiabilidad:**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. (BSG institute, 2020)

#### **Mantenimiento Correctivo:**

Es una actividad que se lleva a cabo para reparar el daño encontrado durante el mantenimiento preventivo. En general, no se trata de un conjunto de acciones planificadas, ya que se realiza cuando un componente ha sido dañado. Su objetivo es restaurar la confiabilidad del sistema y devolverlo a su estado original. (Todo Mantenimiento, s.f.)

#### **Mantenimiento preventivo:**

Es la intervención de la máquina para la conservación de ella mediante la realización de una reparación que garantice su buen funcionamiento y fiabilidad, antes de una avería. (Todo Mantenimiento, s.f.)

**Mantenimiento predictivo:**

Es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o el estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitorización de parámetros y condiciones de funcionamiento de un equipo o instalación. Para ello, se definen y gestionan los valores de prealarma y actuación de todos los parámetros que se consideran necesarios para medir y gestionar. (Todo Mantenimiento, s.f.)

**Central de energía:**

Se denomina central de energía a toda aquella instalación que es capaz de producir energía a escala industrial. Son centros de transformación de la energía obtenible de fuentes primarias de energía (carbón, agua embalsada, isótopos radiactivos, radiación solar y otros) en energía eléctrica, que es transportada por medio de redes eléctricas hasta los centros de consumo. (Micronet, 2021)

**Factores de Deming:**

Los puntos de William Edwards Deming, son la base para la transformación de la industria americana. La adopción y la actuación sobre los 14 puntos es una señal de que la dirección tiene la intención de permanecer en el negocio y apunta a proteger a los inversores y los puestos de trabajo. (Deming, 1989)

**Calidad:**

Conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo que se utilizan para el cumplimiento de los niveles de calidad requeridos. Estas técnicas y operaciones permiten dirigir un proceso y eliminar, gracias a su detección mediante una inspección, las desviaciones que puedan producirse con relación a los niveles esperados. Estas operaciones dependen de los mandos que tienen la responsabilidad de obtener la calidad durante el proceso. (Micronet, 2021)

**Benchmarking:**

El Benchmarking es el proceso sistemático de investigar, identificar, comparar y aprender de las mejores prácticas de otras organizaciones, sean del mismo sector o no, analizando ordenadamente el conjunto de factores que inciden en el éxito de las mismas, aprender de sus logros y aplicarlos en nuestros propios proceso de mejora. (Manene, 2021)

**2.2. Marco contextual:**

De acuerdo a lo presentado por Olarte, el modelo de Henry Ford es un excelente punto de análisis en la evolución de las gestiones de mantenimiento, tal y como se evidencia en las siguientes líneas:

El mantenimiento industrial está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento.

Las primeras empresas que existieron estaban conformadas por grupos de personas que tenían que trabajar en cada uno de los pasos del proceso de producción y a su vez reparar las herramientas y las máquinas cuando presentaban alguna avería. Debido a que los trabajadores desarrollaban múltiples oficios, el elaborar un producto terminado para ofrecerlo en el mercado implicaba un alto costo en tiempo y dinero. Con el objetivo de ganar más, invirtiendo menos, las empresas se vieron obligadas a distribuir a sus trabajadores para que se dedicaran a tareas específicas, dichas tareas fueron de dos tipos:

Tareas de operación de las máquinas y tareas de reparación de las mismas. En 1930, el empresario automotriz Henry Ford, implementó un nuevo sistema de organización al interior de su empresa al cual llamó "Producción en

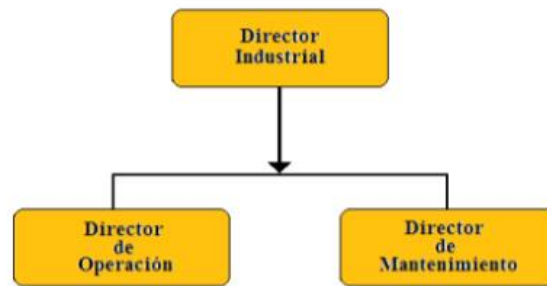
cadena”. Este nuevo sistema, fue establecido a través de la asignación de responsabilidades organizadas como se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1. Modelo Organizacional de Henry Ford. (Olarte et al., 2010)**

Con el nuevo modelo de Ford, surge el concepto de mantenimiento, el cual dependía del departamento de operación quien era el que determinaba en qué momento se debían realizar las labores de reparación. Con la Segunda Guerra Mundial, las empresas tuvieron que aumentar su producción para suplir la demanda del mercado; para esto, fue necesario incrementar sus jornadas laborales. Esta manera apresurada de producir en grandes cantidades y por largos periodos de tiempo hizo que las máquinas se desgastaran debido al exceso de uso y por lo tanto a presentar fallas en su funcionamiento. La reparación de las máquinas implicaba la parada del proceso de producción, lo cual generaba grandes pérdidas.

Con el fin de evitar estas paradas, los empresarios le dieron una mayor importancia al mantenimiento reestructurando sus modelos organizacionales tal como se ilustra en la Figura 2.



**Figura 2.** Modelo Organizacional de Henry Ford reformado. (Olarte et al., 2010)

A partir del modelo mostrado en la Figura 2, el mantenimiento se vuelve una herramienta fundamental para las empresas y se convierte en una actividad correctiva o de reparación. Con el correr del tiempo, estas actividades se han vuelto preventivas y en la actualidad la mayoría de las empresas realizan labores de inspección y cambio de piezas defectuosas antes de que se produzcan daños en sus máquinas. (Olarte et al., 2010)

Las centrales hidroeléctricas son proyectos de infraestructura en general de gran magnitud, donde se dan interacciones de muchas disciplinas que, en conjunto, aseguran la óptima operación con el propósito de cumplir con su fin de generar energía y en algunos casos suministrar agua potable a poblaciones ubicadas en sus proximidades.

Este tipo de proyectos son de gran importancia en el sector eléctrico, ya que deben atender la demanda diaria solicitada por industrias y hogares. Para realizar sus mantenimientos requieren de un gran personal que tiene como función mantener las instalaciones y equipos en óptimas condiciones, permitiendo la mayor disponibilidad y por ende estándares de seguridad y confianza.

En general, los mantenimientos en las centrales están catalogados de acuerdo con el tipo de intervención, definiéndose como predictivos, preventivos y correctivos.



La central hidroeléctrica Tres Gargantas, ubicada sobre el río Yat-sen, al sur de la República Democrática de China, es considerada la mayor central hidroeléctrica del mundo, con una capacidad instalada de 18.200 MW. El programa de mantenimiento de esta central cuenta con varios contratos que se aseguran de la correcta operación, adicionalmente de proveer gran parte de la energía utilizada en el país, controla las inundaciones provocadas por el río.

Como sus instalaciones están centralizadas en la zona de presa, las personas que intervienen en el mantenimiento no requieren desplazarse a diferentes lugares de la geografía del país, solo se encargan de realizar esta central, están ubicados en campamentos de la rivera como se describe en *CIIC*. (Centro de Información de Internet China, 2006)

Algunas empresas de generación de energía han tenido el interés de evaluar la creación de un equipo de mantenimiento a nivel interno para mejorar temas de comunicación, costos y disponibilidad de plantas.

Se tuvieron diferentes conversaciones, además de consultorías y gestiones al interior de algunas de ellas, como resultado de lo anterior, se aprobó la creación del equipo de mantenimiento con recursos propios, como oportunidad de mejora que atendiera estas actividades que impactan el negocio generación de energía y especialmente para cumplir lo planeado en los mantenimientos que se realizan en las centrales.

Ante la aprobación de la propuesta, se designa a un grupo de la iniciativa para trabajar en el desarrollo de un caso de negocio base, realizar el análisis y proponer la forma de trabajo, definiendo que el negocio de generación de energía se encargará de la supervisión, la planeación, programación, ejecución de actividades, la priorización y orden de atención de solicitudes.

Se definió el número de integrantes y su composición, tomando como base los trabajos realizados en los mantenimientos especiales en cada central, excluyendo las modernizaciones y se identifica cuántas personas intervinieron por especialidad, como resultado de la ponderación de recursos se encuentra que se necesitan 4 personas de especialidad electricista y 17 de la especialidad mecánica: 21 en total. La propuesta final establece que el equipo sea de 20 personas con dos supervisores.

Antes de conformar el equipo de mantenimiento, estas actividades especiales eran atendidas por el personal contratado en cada una de las centrales de generación de energía, con quienes se llevaba a cabo un contrato de prestación de servicios, bajo la modalidad de horas-hombre.

Al iniciar este proceso, no se estaba haciendo ningún control a las actividades, es decir, actualmente no se tiene información concreta sobre los tiempos, costos, calidad y lineamientos claros sobre las directrices desde el momento de la solicitud de los servicios por parte de las centrales hasta la culminación de los trabajos.

### **2.3. Marco legal**

Como lo menciona Minenergía (1994), en la LEY 143 DE JULIO 11 DE 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética, en el CAPÍTULO VII de la operación del sistema interconectado nacional en el Artículo 34, el Centro Nacional de Despacho tendrá las siguientes funciones específicas, que deberá desempeñar ciñéndose a lo establecido en el Reglamento de Operación y en los acuerdos del Consejo Nacional de Operación:

- a) Planear la operación de los recursos de generación, interconexión y transmisión del sistema nacional, teniendo como objetivo una operación segura, confiable y económica;
- b) Ejercer la coordinación, supervisión, control y análisis de la operación de los recursos de generación, interconexión y transmisión incluyendo las interconexiones internacionales;
- c) Determinar el valor de los intercambios resultantes de la operación de los recursos energéticos del sistema interconectado nacional;
- d) Coordinar la programación del mantenimiento de las centrales de generación y de las líneas de interconexión y transmisión de la red eléctrica nacional;
- e) Informar periódicamente al Consejo Naciones de Operación acerca de la operación real y esperada de los recursos del sistema interconectado nacional y de los riesgos para atender confiablemente la demanda;
- f) Informar las violaciones y conductas contrarias al Reglamento de Operaciones;
- g) Las demás atribuciones que le confiere la presente Ley.

En el Artículo 34, describe funciones específicas que se deben tener en cuenta al momento de la programación de los mantenimientos en las centrales de generación de energía.

Todas las empresas del sector eléctrico en Colombia cuentan con análisis de riesgo con el fin de cubrir imprevistos que puedan presentar en la generación de energía que impactan los bienes e inmuebles, equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos y responsabilidad civil, para esto, se adquieren pólizas todo riesgo, daños a materiales y lucro cesante.

#### **2.4. Marco teórico**

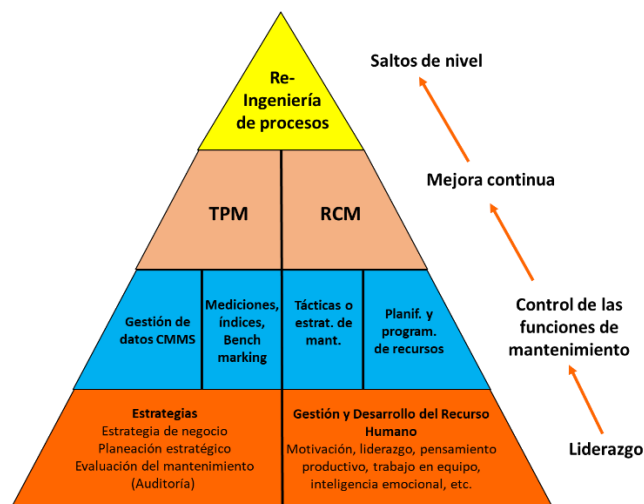
En este apartado, se presentan conceptos de mantenimiento abordados por algunos autores, como Campbell, Viveros, Ponce, entre otros, los cuales contextualizan la importancia que

esta actividad tiene para el correcto funcionamiento de los procesos productivos. De acuerdo con lo anterior, se realiza un análisis y revisión documental de casos de estudio a nivel mundial y evidencias de aplicación de los diferentes modelos y teorías.

En la actualidad el objetivo de las empresas es maximizar la salida de sus productos y servicios versus la minimización de sus recursos financieros, humanos y físicos; así mismo, proveer de valor a los clientes y accionistas.

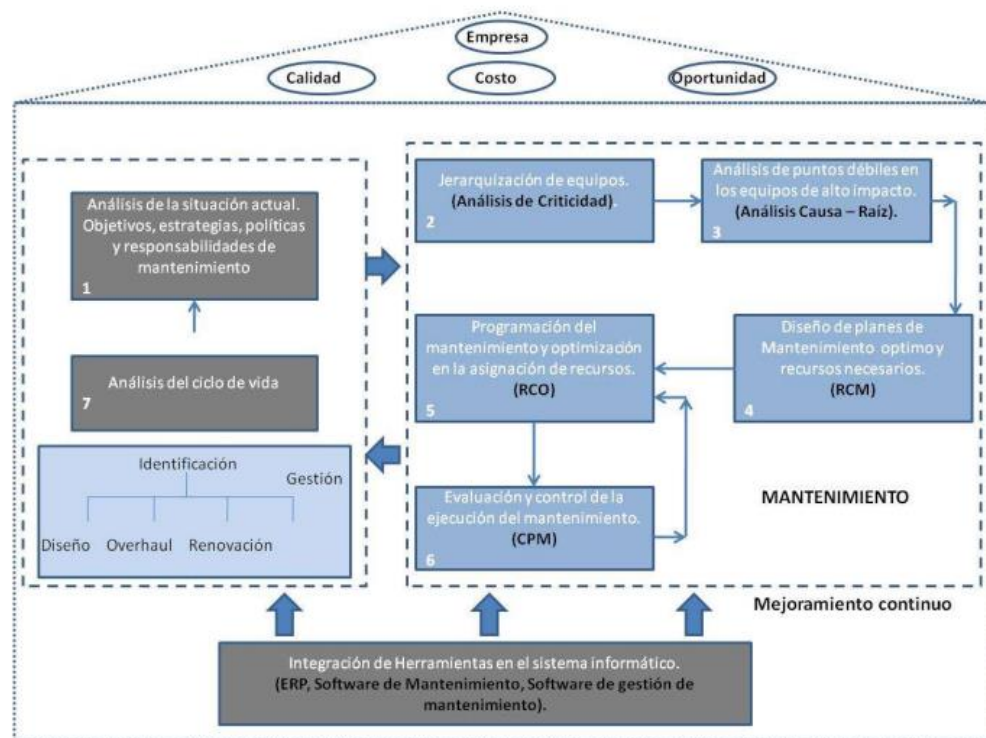
Las empresas entienden el contexto y se enfocan a la gestión de mantenimiento como un área de alta mejorabilidad para dar respuesta a los requerimientos actuales de competitividad donde no solo se enfoquen en la disminución de los costos, sino también en temas específicos como reducción de la variabilidad y el rendimiento de los activos.

En la Figura 3 se muestra la pirámide de excelencia en la gestión de mantenimiento, la cual posee todos los lineamientos para una adecuada administración de mantenimiento e identificado con el requerimiento actual de las empresas. (Campbell, 2006, como se citó en Ordoñez, 2016, p. 9-10)



**Figura 3.** Estructura de la excelencia en gestión de mantenimiento. (Campbell, 2006)

El área de mantenimiento deberá estar alineada con los objetivos de la producción y las metas estratégicas. Es por esta razón que, una adecuada gestión de mantenimiento debe cumplir con los objetivos de asegurar la conservación y el buen funcionamiento de los equipos, disminuyendo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente. Por lo tanto, la gestión de mantenimiento se transforma en un poderoso factor de competitividad cuya importancia en el ámbito empresarial crece constantemente. (Viveros, 2012, como se citó en Ordoñez, 2016, p. 10-11)



**Figura 4.** Modelo de sistema de gestión de mantenimiento. (Viveros y otros, 2012)

En la Figura 4 se presenta el modelo de la gestión de mantenimiento enmarcado en la estructura organizacional y en donde se muestra que las

actividades base de mantenimiento siempre deben encontrarse enfocados y alineados con las políticas, objetivos y estrategias de la empresa.

Para los mantenimientos de maquinaria industrial existen dos formas de llevarlos a cabo, los cuales se describen a continuación:

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) exige una participación de todos los niveles de la empresa y un alto grado de capacitación y formación, lo cual puede resultar desventajoso en nuestro caso, ya que lo que buscamos es implementar una estrategia de mantenimiento que funcione adecuadamente a corto y mediano plazo, sin embargo, contempla actividades importantes para el área de mantenimiento y que son fundamentales para la implementación de esta estrategia como con la metodología de las 5s y el mantenimiento autónomo, las cuales pueden ser aplicadas conjuntamente con otras estrategias que se adapten mejor a las condiciones actuales de la Central Minas-San Francisco.

La metodología 5s es un puente hacia el TPM que se utiliza para organizar el trabajo de tal forma que se minimicen las pérdidas, asegurando que las zonas de trabajo se encuentren sistemáticamente limpias y organizadas, lo cual facilita la implementación del TPM. (Ponce, 2016)

El otro método de mantenimiento es el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) “es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario” (Campos et al., 2018).

Para el mantenimiento sin metodología definida y la metodología RCM se soportan los conceptos abordados por Bravo (2016):

En el mantenimiento sin metodología, existen 14 hojas de ruta que albergan 66 tareas en total, con intervalos máximos entre tareas de un año. Hay que aclarar que este mantenimiento no sigue una base racional y hay muchos fallos que no se tienen en cuenta, ni se prioriza la seguridad y el medio ambiente a las operaciones de la central. Esto hace que tengamos menos tareas, pero el sistema esté expuesto a muchos más riesgos de seguridad, medio ambiente e indisponibilidad de la planta y, por tanto, a grandes pérdidas económicas.

En cambio, con RCM se elaboran 28 hojas de ruta, con 111 tareas en total y con intervalos de tiempo mucho mayores a la programación actual (hasta 30 años). Esto hace que, aunque se tengan más instrucciones de mantenimiento, las tareas se dividan en intervalos de tiempo mayores, y por tanto, se reduzca la cantidad de trabajo de rutina (las horas/empleado anualmente) para un mantenimiento completo, es decir, considerando todos los posibles fallos que puedan suceder en la central (los fallos basados en la experiencia de otros fallos ocurridos con anterioridad y los posibles fallos que puedan ocurrir).

En RCM se tiene una metodología que utiliza una serie de reglas para priorizar los distintos fallos que puedan ocurrir a los sistemas y podamos elegir el mantenimiento más adecuado para cada una. Como resultado, se obtiene un mantenimiento mucho más eficiente para cada activo físico y mayor vida útil de los mismos. Además de lo anterior, RCM prioriza la seguridad de las personas y el medio ambiente, lo que hace que sea un sistema muy seguro. (Bravo, 2016)

Para este proyecto de investigación se trabajó bajo la metodología de Benchmarking, como lo contempla Slideshare (s.f.):

Es un proceso de comparación y medición de operaciones o procesos internos de una organización versus los de un representante mejor de su clase y de su sector. Los diferentes grados de eficacia y eficiencia registradas entre los diversos sectores de una misma empresa, hacen posible la aplicación de procesos de Benchmarking internos para descubrir así las mejores prácticas de la organización.

Es un proceso sistemático, continuo de investigación y aprendizaje para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales.

Hay diferentes tipos de Benchmarking, pero para este proyecto de investigación se trabajó con el Benchmarking interno, porque parte de la base que dentro de una organización existen diferencias entre sus distintos procesos de trabajo. Algunos de ellos pueden ser más eficientes y eficaces que los de otras áreas de la misma empresa.

#### *Fases*

- Se define que el Benchmarking se aplicó entre los costos de las actividades realizadas con recursos propios y las actividades con personal contratado.
- Se realizó recopilación y análisis de la información a través de encuestas.
- Se consolidó y analizó la información para identificar los aspectos de mejora.

Otra teoría que se tuvo en cuenta en este proyecto de investigación es la Calidad Total de Deming porque es la que implica la participación constante de todos los empleados o un grupo de empleados de las organizaciones en la mejora del desarrollo, mantenimiento de los productos y servicios que se ofrecen y debe verse reflejado en cada una de las actividades que se realiza.



El enfoque de esta teoría en este proyecto va más allá de la calidad tradicional basada solamente en normas, que su importancia se enfoca en cumplir requisitos y características de los productos y servicios. El propósito apunta a una idea estratégica que implica una atención permanente por la necesidad del cliente y con una comunicación constante para desarrollar lealtad y preferencias de los clientes. (Excellentia, 1959)

Adicionalmente, se abordaron otros factores de Deming que se basa en la atención al cliente y formas de evaluar las actividades. Esto permitió que todo el personal de los equipos de mantenimiento se comprometan con el logro de un buen desempeño, dispuestos a solucionar problemas que se puedan presentar al momento de llevar a cabo las actividades asignadas y tener en cuenta la toma de decisiones que puedan afectar a los clientes.

Al finalizar cada una de las actividades de mantenimiento, se procedió a realizar la encuesta a los líderes encargados donde se prestó el servicio, esto con el fin de analizar la satisfacción del cliente y poder conocer de primera mano los aspectos a mejorar al momento de asignar este personal.

Estos modelos aportaron al desarrollo de este proyecto de investigación, dando un mayor conocimiento con respecto a las metodologías que se implementan para la ejecución de los mantenimientos programados en las diferentes empresas de energía que amplía el contexto académico que se requiere para llevar a cabo esta investigación.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Línea de investigación institucional**

Este proyecto de investigación está asociado a la cuarta línea de investigación institucional: Gestión Social, participación y desarrollo comunitario y a las sublíneas de desarrollo organizacional y gestión de la calidad.

Con el interés de conocer la viabilidad de los equipos de mantenimiento en las centrales de generación de energía, en cuanto a calidad, costos y especialidades más requeridas para cada una de estas actividades realizadas con recursos propios.

#### **3.2. Eje temático**

Este trabajo investigativo se articula de una manera integral en lo académico con los contenidos vistos a lo largo de la especialización Gerencia de Proyectos, porque en ella se han abordado diferentes conceptos como: técnicos (normatividad, generalidades del proyecto, estructuración, viabilidad y evaluación de proyectos), gerenciales (competencias organizacionales, habilidades gerenciales, direccionamiento estratégico) y metodológicos (metodología de la investigación), que han permitido la aplicación de ellos en un contexto real para dar respuesta a la problemática expuesta en el proyecto de grado.

Como eje central, está el control y gestión de la calidad desde la optimización de los procesos que contribuyen a evitar fallas e indisponibilidad de plantas y mejorar la percepción del cliente, con el propósito de contribuir a la mejora continua como lo describe Deming: "Mejora continua del sistema de producción y servicio donde dice que no es suficiente con resolver los problemas que vayan surgiendo. La mejora continua de la calidad supone un proceso constante de mejora de los procesos, servicios, planificación, gestión, dirección" (Deming, 1986).

### **3.3. Enfoque de investigación y paradigma investigativo.**

Para este trabajo de grado, el enfoque investigativo es el mixto, pues como lo expresa el autor Tashakkori y Teddlie, (2003). El enfoque mixto puede ser comprendido como “(...) un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio”. Como se evidencia en este trabajo se hizo una recopilación y análisis de información, en la cual se pudo obtener datos cualitativos con las encuestas a cada uno de los líderes encargados de supervisar las actividades de mantenimiento en las centrales de generación de energía y datos cuantitativos con la información de costos, lo cual permitió el análisis de la viabilidad económica del equipo de mantenimiento con recursos propios.

### **3.4. Diseño**

Este trabajo de investigación se realiza bajo diseño no experimental, como señala (Hernández et al., 1997, p. 245) “la investigación no experimental o ex-post-facto es cualquier investigación en la que resulta manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones”. De acuerdo a lo anterior, a partir de las experiencias que se han tenido en el sector eléctrico en la ejecución de las actividades de mantenimientos en las centrales de generación de energía, se abordaron una serie de datos que permitieron realizar los análisis mixtos sin manipular las variables de las organizaciones tales como: nómina, costos y encuestas, lo que ayudó a analizar la viabilidad técnica y económica de los equipos de mantenimiento.

### **3.5. Alcance.**

Para este proyecto se utilizará el método exploratorio que se caracteriza por ser una investigación piloto de la cual no se tiene referencia, tal como lo indica Arias (2004):

La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión

aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos. Sin embargo, permitiendo un mayor acercamiento a la solución de una problemática planteada.

Para poder aplicar este método, se abordaron varias empresas del sector eléctrico para conocer de primera mano la información requerida y que lleve a unos resultados muy cercanos a la realidad en cuanto a la calidad y costos de cada una de las actividades de mantenimiento.

### **3.6. Población.**

La población que se abordó en este proyecto de investigación corresponde a líderes de mantenimiento de las 13 empresas del sector eléctrico ubicadas en Colombia. (Andesco, s.f)

### **3.7. Tamaño de muestra.**

Para la muestra se utilizó el muestreo por conveniencia, que es un método de muestreo no probabilístico que consiste en seleccionar una muestra de la población de manera conveniente para el investigador, esta conveniencia se da ya que al investigador le resulta más sencillo examinar a individuos por proximidad geográfica, por economía, por ser sus amigos o simplemente porque están fácilmente disponibles. (Fbombab, 2020)

Se logra acceder a 12 líderes de las empresas del sector, cuyos datos no se pueden publicar por confidencialidad y manejo de información.

### **3.8. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información y datos.**

#### **3.8.1. Técnico**

Se realizó levantamiento de información a través de encuestas por medio de preguntas cerradas después de la culminación de cada una de las actividades ejecutadas por los equipos de mantenimiento y revisión documental, con el fin de medir la satisfacción del cliente en cuanto a

calidad y tiempos en que se realizaron los trabajos. Ver anexo 1. Encuesta de satisfacción de servicio prestado.

Una vez se obtuvieron los resultados de las encuestas se procedió a tabular la información y así se definió el nivel de satisfacción del cliente en cada una de las actividades de mantenimiento en las centrales de generación de energía.

### **3.8.2. Económico**

Se hizo un levantamiento de información por medio de revisión documental de las actividades atendidas con recursos propios, teniendo en cuenta nómina, transporte, alojamiento y alimentación y los resultados se cruzaron con lo facturado por los contratistas que atendieron estas actividades antes de la creación de los equipos de mantenimiento, lo cual permitió analizar su viabilidad económica y las especialidades más requeridas en la ejecución de estas.

## **4. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS**

### **4.1. Encuesta**

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante métodos estadísticos y gráficos (Excel), que permitieron discriminar y tabular la información para medir y representar la satisfacción de las actividades de mantenimiento atendidas por este equipo en las diferentes centrales de generación de energía. La encuesta estaba dirigida a los responsables de la coordinación y desarrollo de los trabajos.

### **4.2. Especialidad más requerida**

Mediante métodos estadísticos y gráficos (Excel), se analizaron los resultados y permitieron discriminar y tabular la información para identificar las especialidades más utilizadas en las actividades de los mantenimientos en las centrales de generación de energía, esto permitió identificar las diferentes profesiones que se necesitan para asegurar la disponibilidad y operación confiable de todos los activos.

### **4.3. Análisis económico**

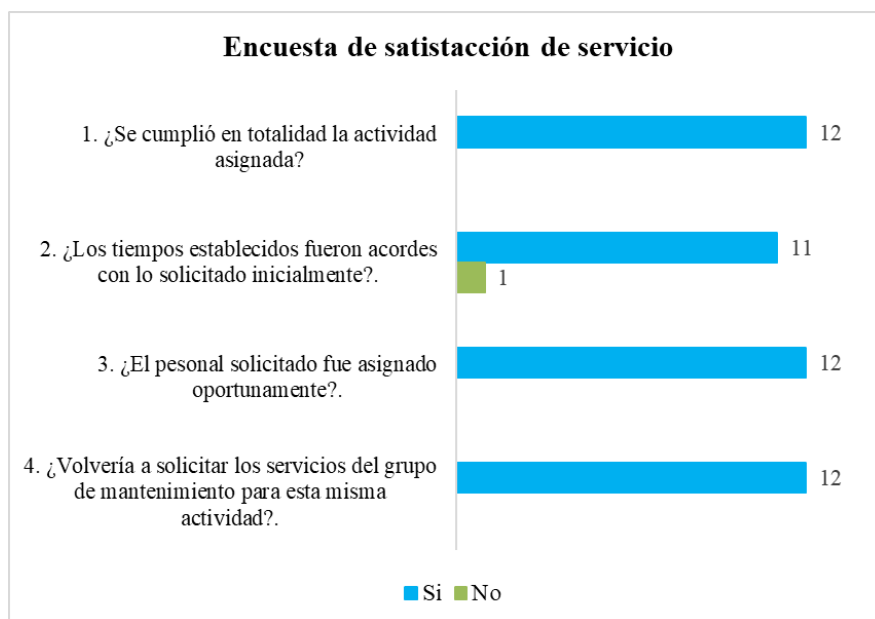
Para analizar la viabilidad económica se realizó un cruce de información financiera disponible en las diferentes fuentes de información de empresas del sector eléctrico, de modo tal que se establecieron los costos asociados a las actividades realizadas por el equipo de mantenimiento y las contratadas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Encuesta

Con el fin de medir la satisfacción del cliente se aplica encuesta a algunos líderes encargados de supervisar las actividades de mantenimientos asociados a las centrales de generación de energía de las diferentes empresas del sector eléctrico.

Estas encuestas se enviaron a través de correo electrónico al grupo de líderes seleccionados, obteniendo así los siguientes resultados:



**Gráfica 1.** Resultados de encuestas de satisfacción de servicio

Como resultado se puede observar:

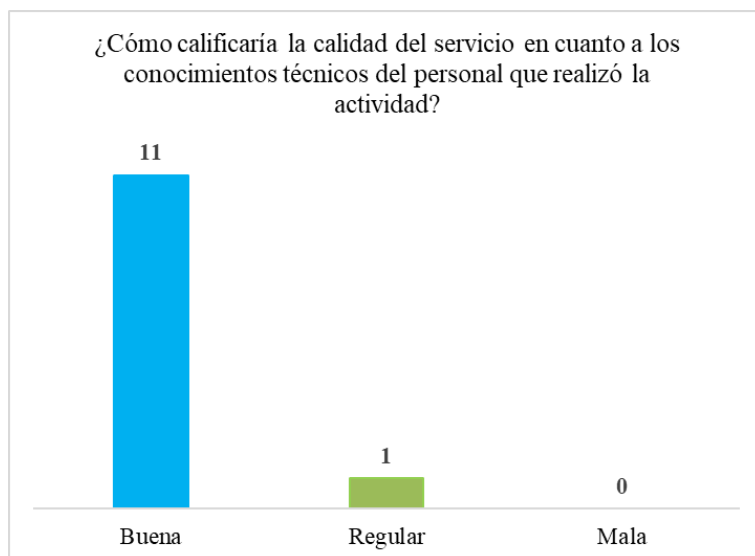
Pregunta 1: ¿Se cumplió en totalidad la actividad asignada? los líderes encuestados responden que todas las actividades se atendieron tal como se habían programado inicialmente, dando como resultado una valoración del 100%.

Pregunta 2: ¿Los tiempos establecidos fueron acordes con lo solicitado inicialmente? en la mayoría de las actividades los líderes expresan que se cumplió con los tiempos establecidos, solo

en una de las encuestas se dice inconformidad respecto al tiempo, dando como resultado un 92% de cumplimiento y un 8% de incumplimiento.

Pregunta 3: ¿El personal solicitado fue asignado oportunamente? analizando cada una de las encuestas se puede evidenciar que todas las personas coinciden en que el personal que solicitaron fue asignado de manera oportuna, expresando un cumplimiento del 100%.

Pregunta 4: ¿Volvería a solicitar los servicios del grupo de mantenimiento para esta misma actividad? con base en la pregunta planteada, los líderes encuestados coinciden en solicitar nuevamente la atención de las actividades con los grupos de mantenimiento respectivos, lo que nos lleva a concluir una satisfacción del 100%.



**Gráfica 2.** Resultados Calidad del servicio

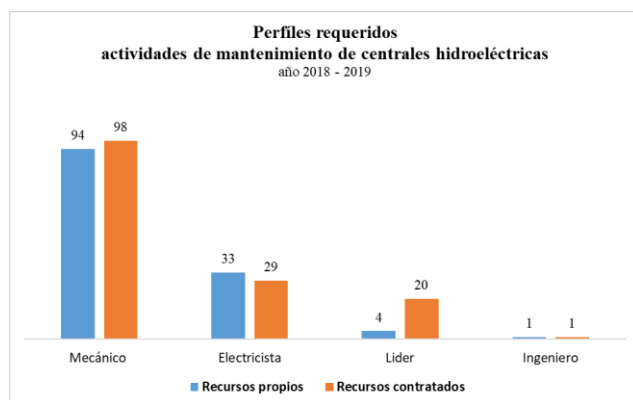
Pregunta 5: ¿Cómo calificaría la calidad del servicio en cuanto a los conocimientos técnicos del personal que realizó la actividad? para esta pregunta la mayoría de los líderes ratifica que se cumple con los conocimientos técnicos requeridos para cada una de estas actividades, lo que representa el 92% en cuanto a la buena calidad del servicio. Solo un 8% expresa que no se cumple en su totalidad con los requisitos técnicos necesarios para realizar actividades de mantenimiento.



En general el resultado de la encuesta presenta un balance positivo del 98% de satisfacción del cliente en cuanto tiempo, asignación de personal, conocimiento técnico y calidad en las actividades de mantenimiento realizadas.

## 5.2. Revisión y análisis de la información de costos

Como resultado de la revisión de la información de las especialidades más requeridas en la ejecución de las actividades de mantenimiento en algunas centrales de generación de energía distribuidas a lo largo del territorio colombiano, se identifican las siguientes profesiones:

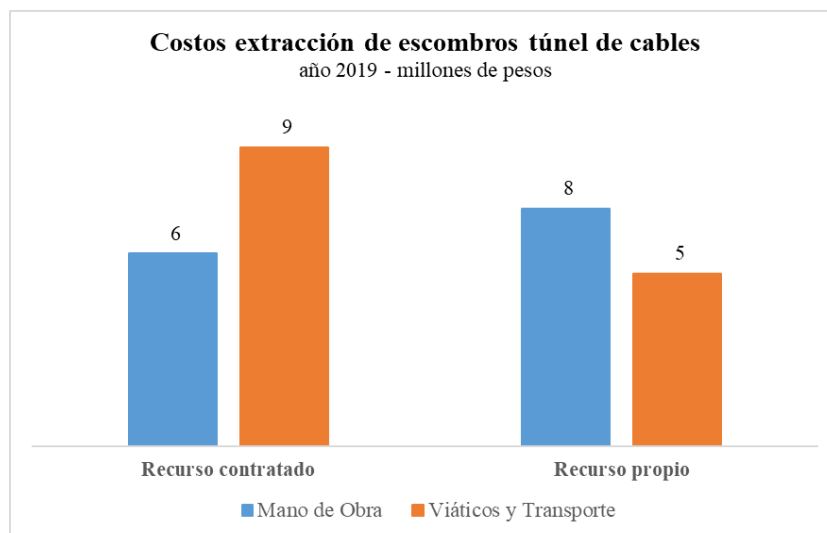


**Gráfica 3.** Especialidades requeridas en actividades de mantenimiento.

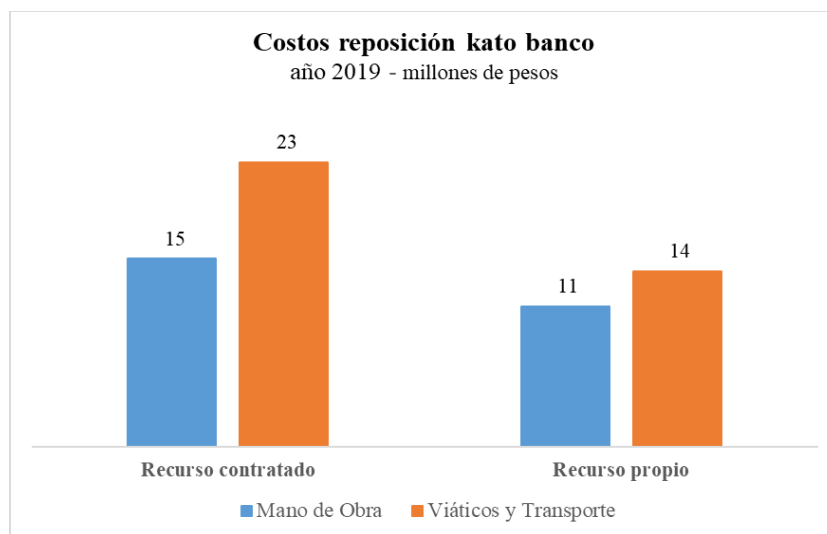
El análisis de la información del personal asociado a las actividades de mantenimiento en algunas centrales de generación de energía con recursos propios o contratados nos muestra que la especialidad más demandada es el mecánico, consecuentemente el perfil de electricista se requiere en menor proporción.

Para el perfil de líder se presenta una variación de acuerdo con la modalidad de ejecución de las actividades de mantenimiento, notándose mayor número de líderes empleados cuando los trabajos son realizados con recursos contratados, el perfil de ingeniero es el menos requerido.

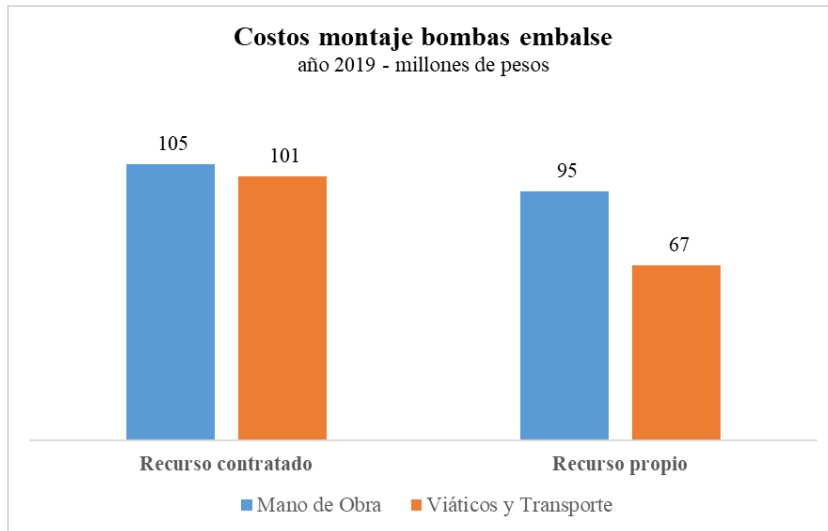
Como resultado de la revisión de la información de aspectos económicos (nómina, transporte, viáticos) se logra determinar algunas actividades relevantes tales como:



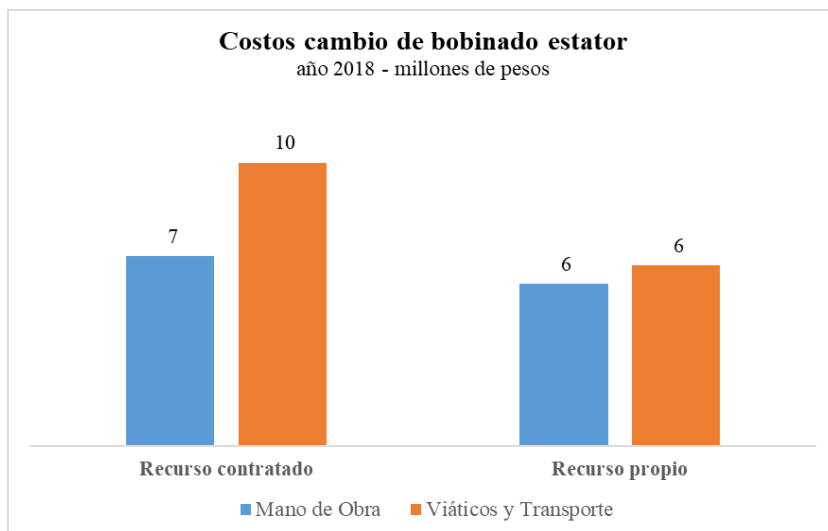
**Gráfica 4.** Costos extracción de escombros túnel de cables



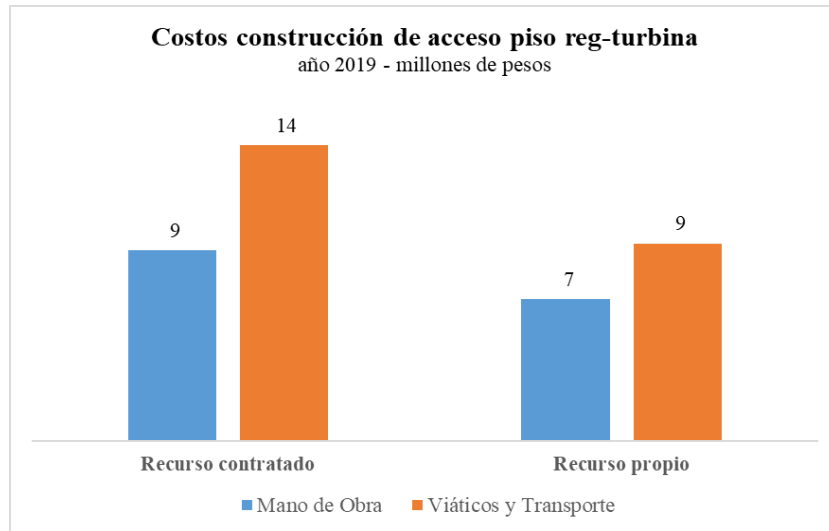
**Gráfica 5.** Costos reposición Kato banco



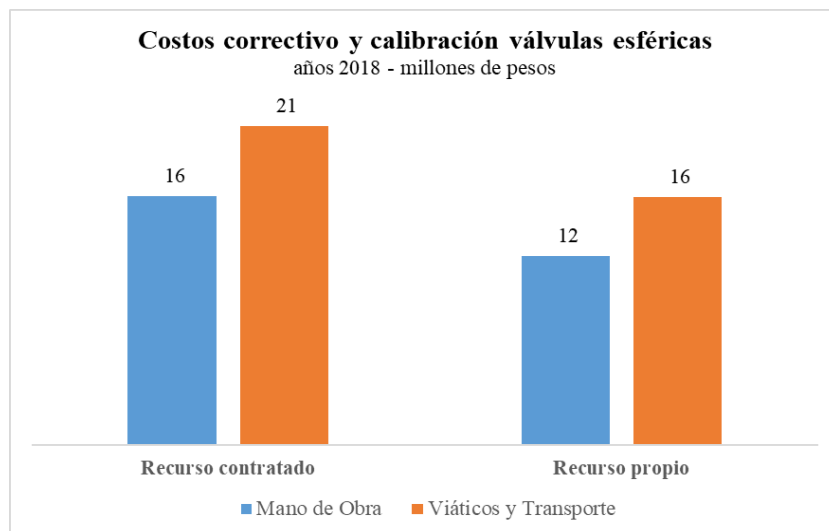
**Gráfica 6.** Costos montaje bombas de embalse



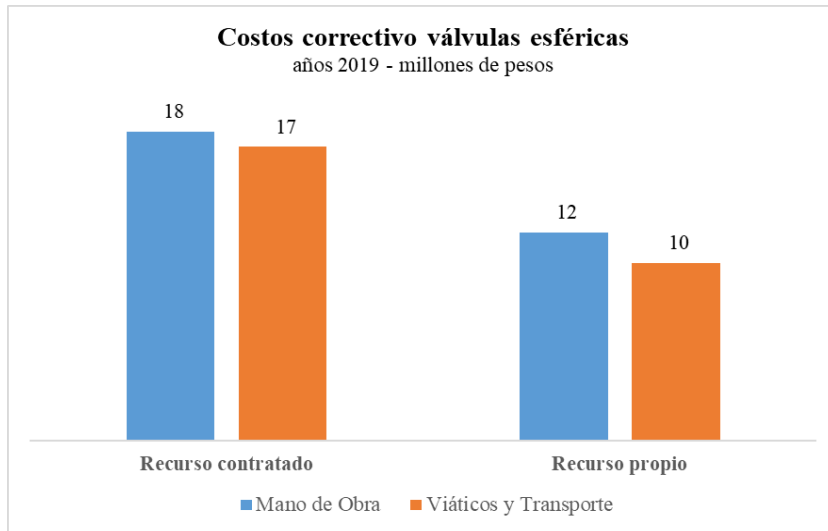
**Gráfica 7.** Costos cambio de bobinado estator



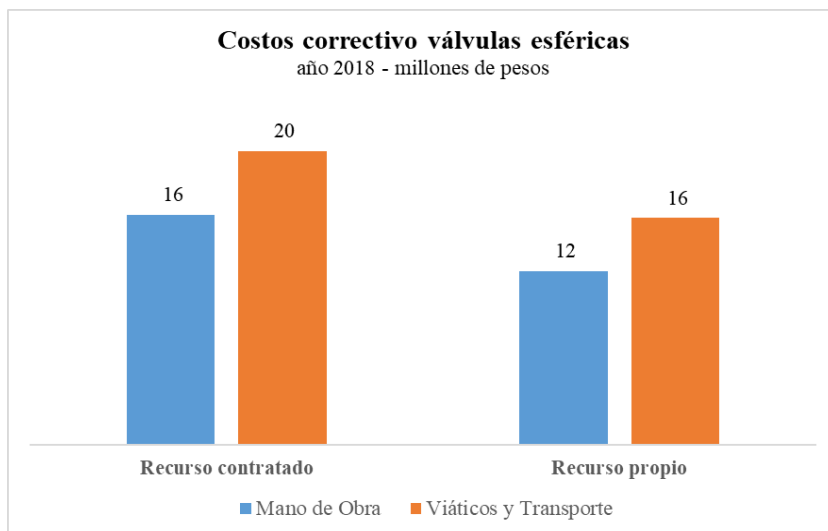
**Gráfica 8.** Costos construcción de acceso piso reg-turbina



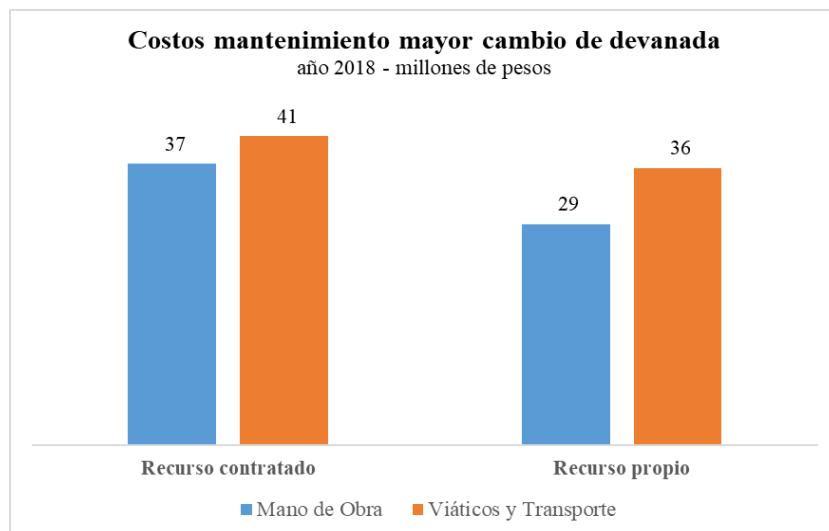
**Gráfica 9.** Costos correctivo y calibración válvulas esféricas



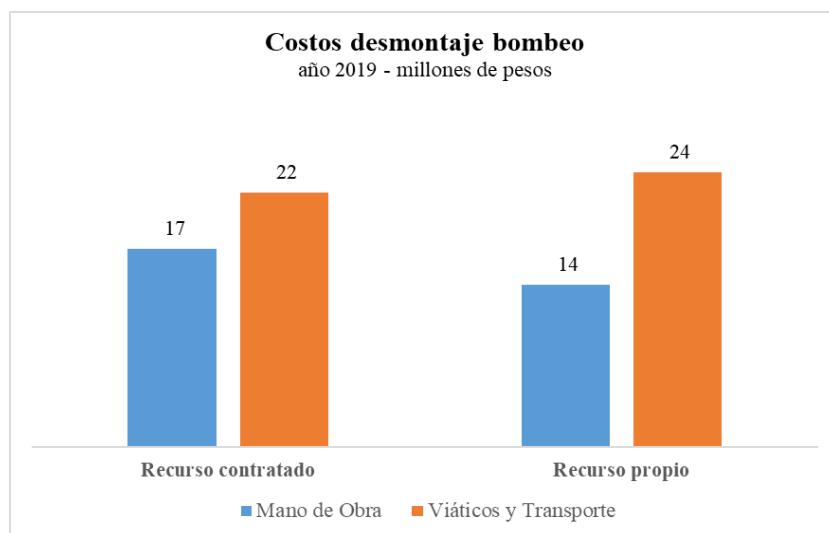
**Gráfica 10.** Costos correctivo válvulas esféricas



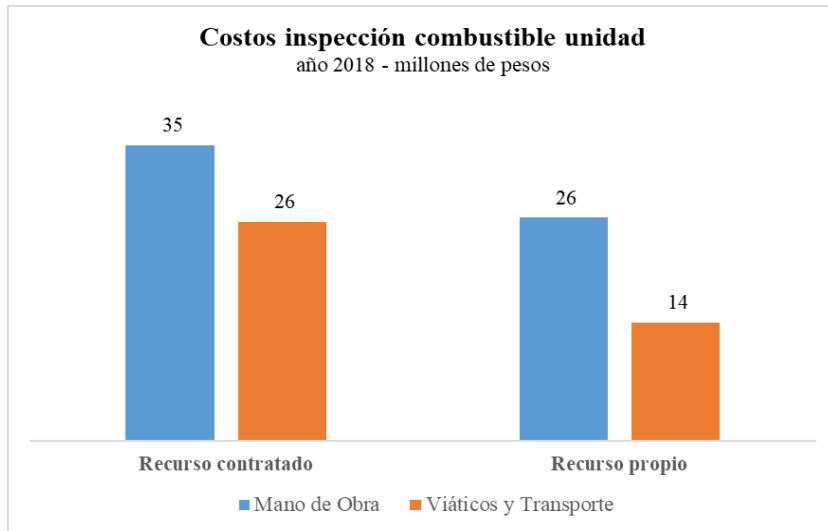
**Gráfica 11.** Costos correctivo válvulas esféricas



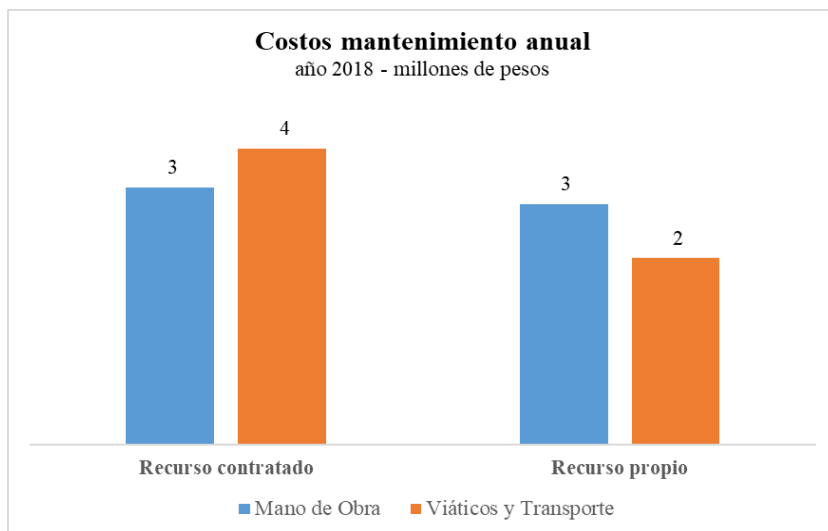
**Gráfica 12.** Costos mantenimiento mayor cambio de devanada



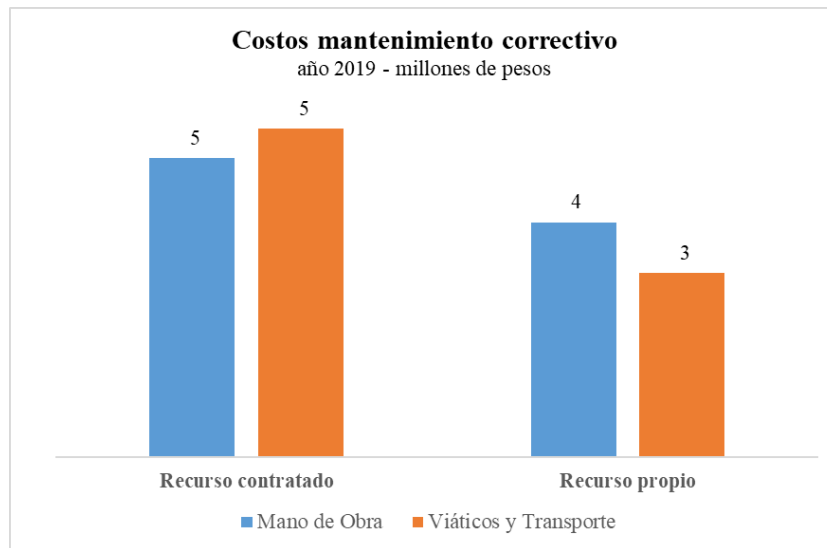
**Gráfica 13.** Costos desmontaje bombeo



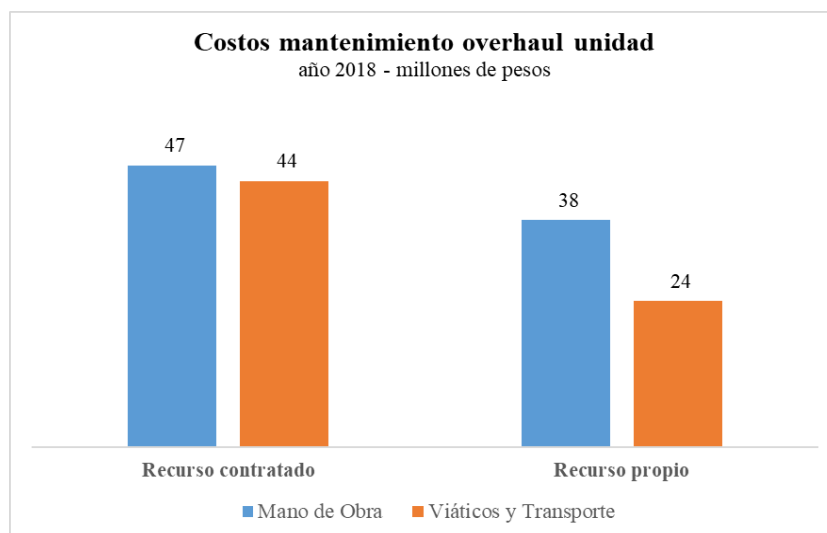
**Gráfica 14.** Costos inspección combustible unidad



**Gráfica 15.** Costos mantenimiento anual

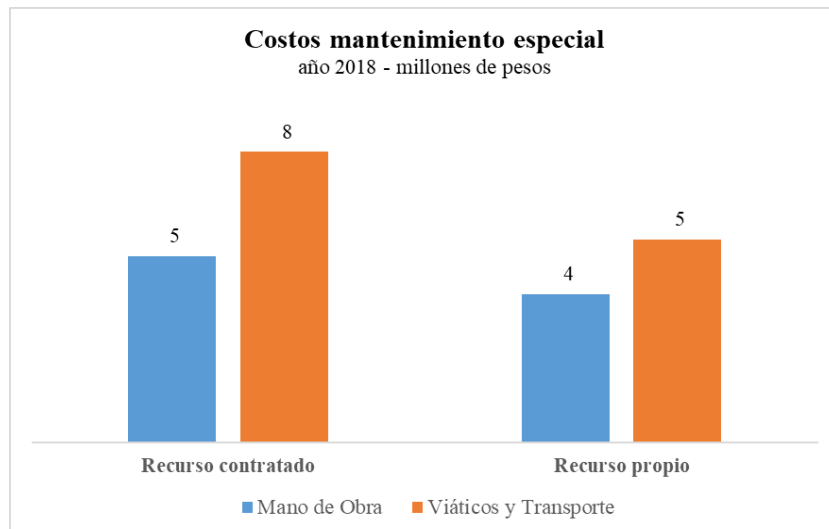


**Gráfica 16.** Costos mantenimiento correctivo

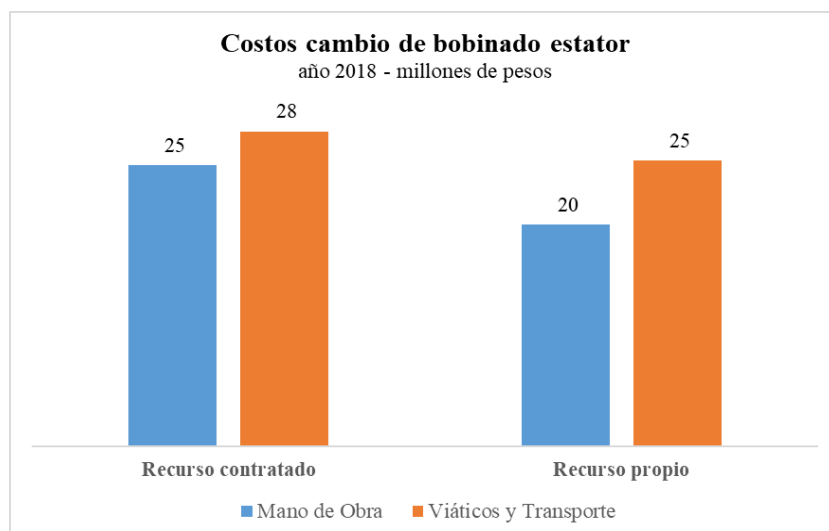


**Gráfica 17.** Costos mantenimiento Overhaul unidad

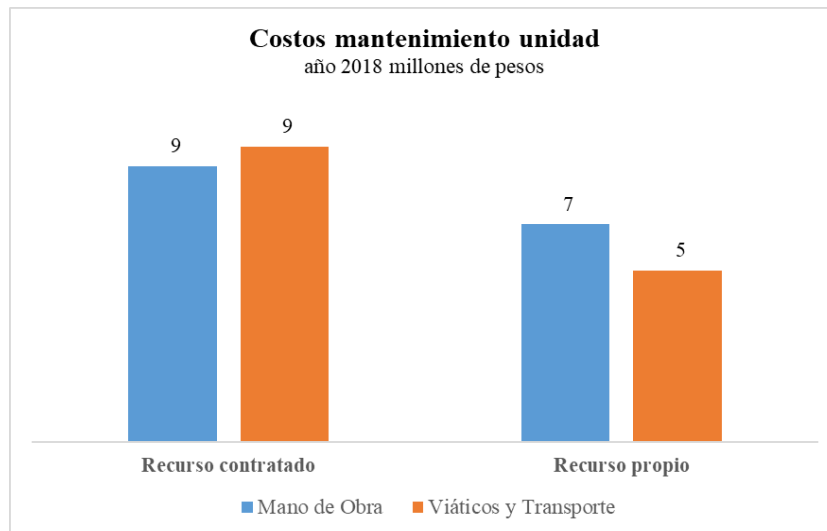




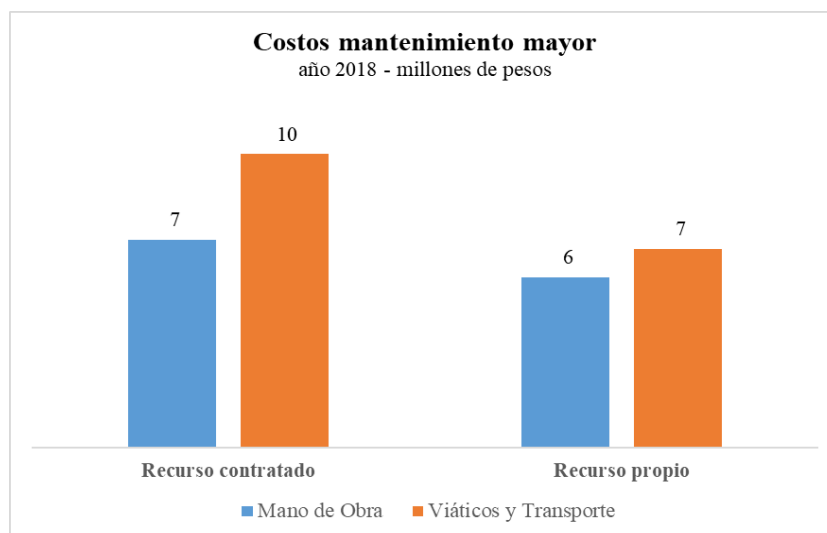
**Gráfica 18.** Costos mantenimiento especial



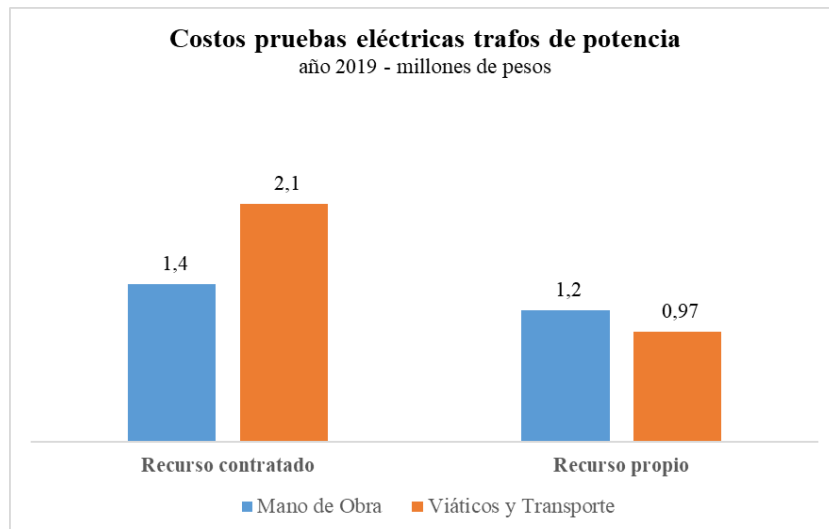
**Gráfica 19.** Costos cambio de bobinado estator



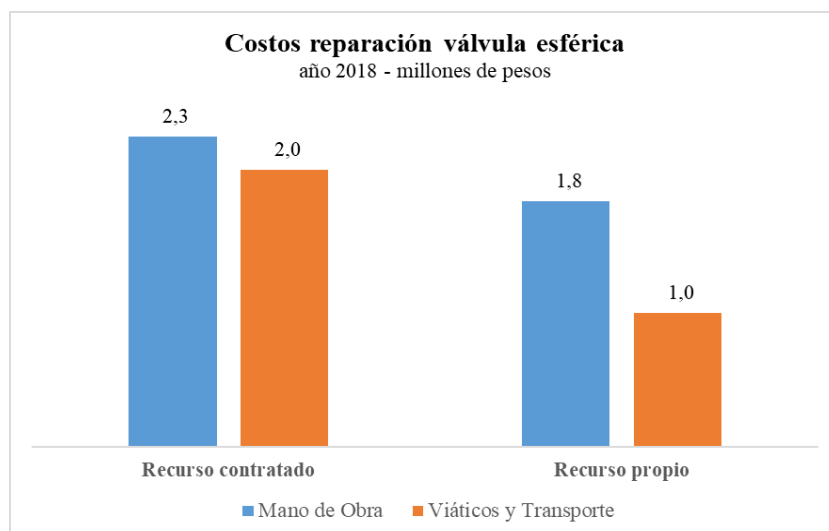
**Gráfica 20.** Costos mantenimiento unidad



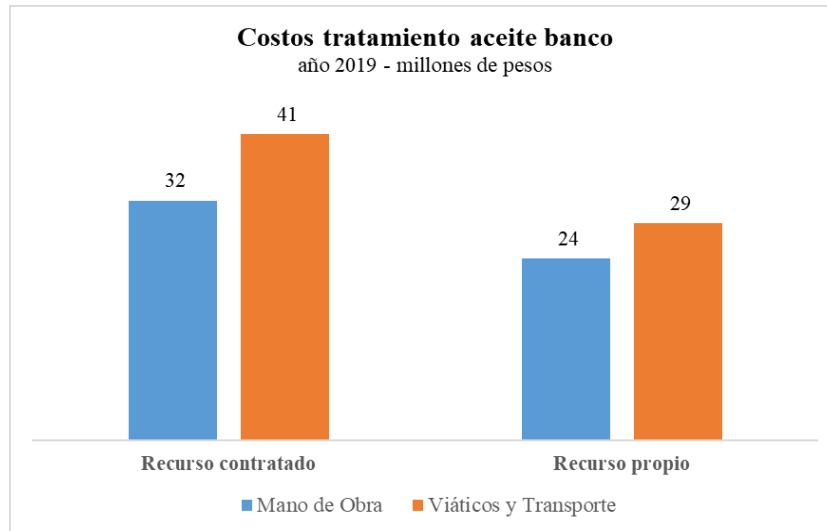
**Gráfica 21.** Costos mantenimiento mayor



**Gráfica 22.** Costos pruebas eléctricas de potencia



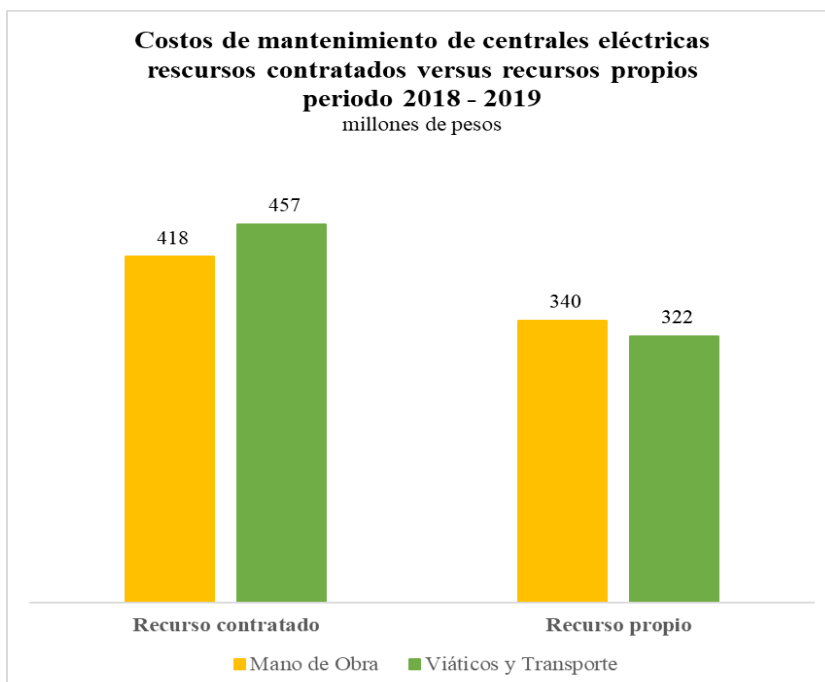
**Gráfica 23.** Costos reparación válvula esférica



**Gráfica 24.** Costos tratamiento aceite banco

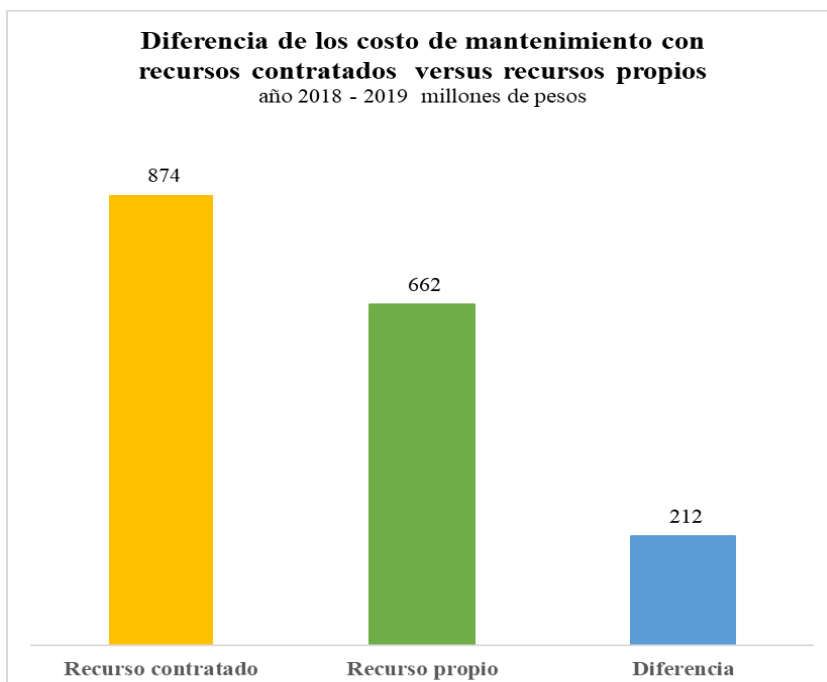
ACTIVIDAD	AÑO	RECURSO CONTRATADO			RECURSO PROPIO			DIFERENCIA
		Total Mano de Obra	Total Viáticos y Transporte	TOTAL	Total Mano de Obra	Total Viáticos y Transporte	TOTAL	
EXTRACCIÓN DE ESCOMBROS TÚNEL DE CABLES	2019	\$ 6.082.765	\$ 9.447.590	\$ 15.530.354	\$ 7.507.002	\$ 5.454.000	\$ 12.961.002	\$ 2.569.353
REPOSICIÓN KATO BANCO	2019	\$ 14.950.724	\$ 22.645.894	\$ 37.596.618	\$ 11.178.768	\$ 13.960.000	\$ 25.138.768	\$ 12.457.850
MONTAJE BOMBAS EMBALSE	2019	\$ 105.274.583	\$ 100.604.725	\$ 205.879.308	\$ 94.859.330	\$ 66.746.000	\$ 161.605.330	\$ 44.273.978
CAMBIO BOBINADO ESTATOR	2018	\$ 6.643.261	\$ 9.923.630	\$ 16.566.891	\$ 5.668.457	\$ 6.320.000	\$ 11.988.457	\$ 4.578.434
CONSTRUCCION ACCESO PISO REG-TURBINA	2019	\$ 8.932.470	\$ 13.855.389	\$ 22.787.859	\$ 6.639.358	\$ 9.240.000	\$ 15.879.358	\$ 6.908.501
CORRECTIVO Y CALIBRACIÓN VÁLVULAS ESFÉRICAS	2018	\$ 16.048.934	\$ 20.554.665	\$ 36.603.599	\$ 12.184.731	\$ 15.988.000	\$ 28.172.731	\$ 8.430.868
CORRECTIVO VÁLVULAS ESFÉRICAS	2019	\$ 18.144.052	\$ 17.250.312	\$ 35.394.364	\$ 12.228.742	\$ 10.420.000	\$ 22.648.742	\$ 12.745.622
CORRECTIVO VÁLVULAS ESFÉRICAS	2018	\$ 15.941.931	\$ 20.404.972	\$ 36.346.903	\$ 12.027.549	\$ 15.730.000	\$ 27.757.549	\$ 8.589.353
MANTENIMIENTO MAYOR CAMBIO DE DEVANADA	2018	\$ 37.015.436	\$ 40.645.726	\$ 77.661.162	\$ 29.113.208	\$ 36.490.000	\$ 65.603.208	\$ 12.057.954
DESMONTAJE BOMBEO	2019	\$ 17.377.678	\$ 22.314.515	\$ 39.692.194	\$ 14.242.844	\$ 24.120.000	\$ 38.362.844	\$ 1.329.350
INSPECCIÓN COMBUSTIBLE UNIDAD	2018	\$ 34.713.751	\$ 25.707.164	\$ 60.420.915	\$ 26.210.780	\$ 13.870.000	\$ 40.080.780	\$ 20.340.135
MANTENIMIENTO ANUAL	2018	\$ 3.403.100	\$ 3.913.374	\$ 7.316.474	\$ 3.178.215	\$ 2.464.000	\$ 5.642.215	\$ 1.674.258
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	2019	\$ 4.855.746	\$ 5.335.236	\$ 10.190.982	\$ 3.810.086	\$ 2.988.000	\$ 6.798.086	\$ 3.392.896
MANTENIMIENTO OVERHAUL UNIDAD	2018	\$ 46.904.459	\$ 44.305.179	\$ 91.209.638	\$ 37.827.995	\$ 24.360.000	\$ 62.187.995	\$ 29.021.643
MANTENIMIENTO ESPECIAL	2018	\$ 4.952.358	\$ 7.713.699	\$ 12.666.057	\$ 3.948.406	\$ 5.400.000	\$ 9.348.406	\$ 3.317.651
CAMBIO BOBINADO ESTATOR	2018	\$ 24.800.093	\$ 27.802.614	\$ 52.602.707	\$ 19.578.562	\$ 25.220.000	\$ 44.798.562	\$ 7.804.145
MANTENIMIENTO UNIDAD	2018	\$ 8.763.805	\$ 9.364.664	\$ 18.128.469	\$ 6.913.483	\$ 5.454.000	\$ 12.367.483	\$ 5.760.986
MANTENIMIENTO MAYOR	2018	\$ 7.311.668	\$ 10.313.378	\$ 17.625.046	\$ 5.985.482	\$ 6.978.000	\$ 12.963.482	\$ 4.661.564
PRUEBAS ELÉCTRICAS TRAFOS DE POTENCIA	2019	\$ 1.397.406	\$ 2.105.612	\$ 3.503.018	\$ 1.163.145	\$ 974.000	\$ 2.137.145	\$ 1.365.873
REPARACIÓN VÁLVULA ESFÉRICA	2018	\$ 2.273.638	\$ 2.031.791	\$ 4.305.429	\$ 1.798.160	\$ 980.000	\$ 2.778.160	\$ 1.527.270
TRATAMIENTO ACETE BANCO	2019	\$ 31.742.166	\$ 40.503.843	\$ 72.246.008	\$ 24.041.267	\$ 28.710.000	\$ 52.751.267	\$ 19.494.741
<b>ACTIVIDADES EVALUADAS: 21</b>		\$ 417.530.025	\$ 456.743.973	\$ 874.273.998	\$ 340.105.572	\$ 321.866.000	\$ 661.971.572	\$ 212.302.427

*Tabla 1. Resumen costo por actividad recursos propios versus contratados*



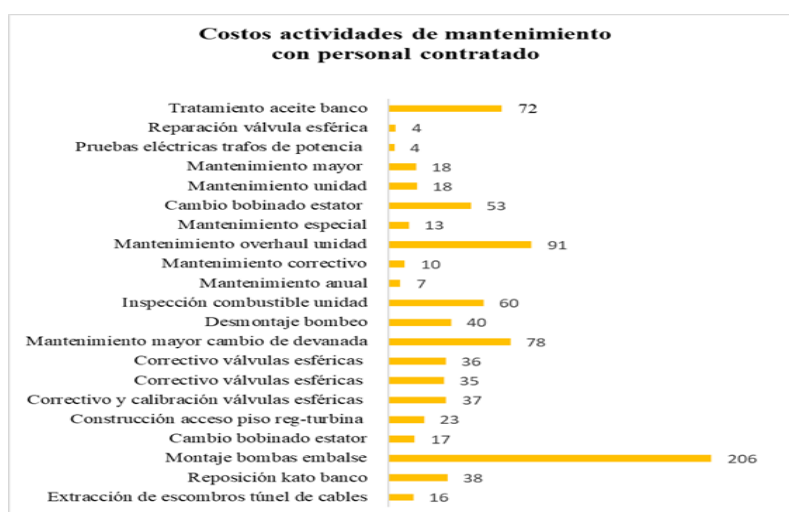
**Gráfica 25.** Costos de mantenimiento de centrales eléctricas recursos contratados versus recursos propios

De acuerdo con los resultados de costos analizados, se concluye que las actividades de mantenimiento atendidas con recursos propios requieren menor inversión tanto en mano de obra como en viáticos y transporte. Adicionalmente, les brinda a las empresas un valor agregado en cuanto a la generación de conocimiento y mayor sentido de pertenencia del personal de mantenimiento con los activos intervenidos.

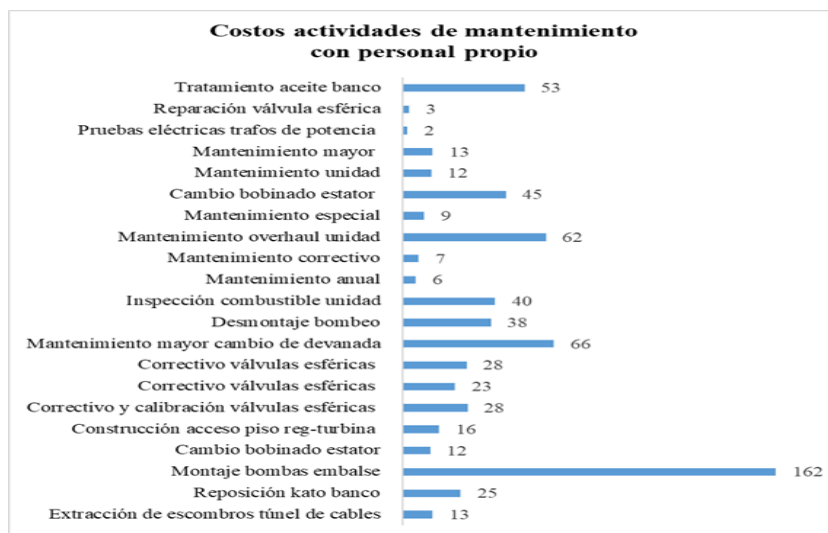


**Gráfica 26.** Diferencia costos de mantenimiento con recursos contratados versus recursos propios

En la gráfica se puede observar la diferencia de costos para las actividades ejecutadas, presentándose un ahorro de doscientos doce millones de pesos (\$212.000.000) para las labores llevadas a cabo con recursos propios.



**Gráfica 27.** Costos actividades de mantenimiento con personal contratado



**Gráfica 28.** Costos actividades de mantenimiento con personal propio

Según gráficas anteriores se identifica que la actividad con mayor costo de ejecución tanto con recursos propios como contratados es “Montaje bombas embalse”, dado que requiere una mayor inversión tanto en personal como en transporte y viáticos para la realización de esta labor y la de menor costo son las “Pruebas eléctricas trafos de potencia” debido a la poca complejidad de esta actividad.

Esta investigación por ser de tipo exploratorio y de muestreo por conveniencia es el punto de partida para un análisis de mayor profundidad en el que puede llegar a ratificarse esta información y especialmente generalizarse al tener un esquema de muestreo de mayor rigurosidad, debido a la criticidad de la información no fue viable tomar una empresa concreta, pero con estos resultados se podrá gestionar para tener un estudio específico y que pueda ir particularizando los resultados.



## 6. CONCLUSIONES

❖ Los resultados de las encuestas dieron a conocer de manera clara la satisfacción del cliente en cuanto a tiempos y oportunidad de atención. En la mayoría de las observaciones se reciben comentarios positivos de la ejecución de las actividades de mantenimiento con recursos propios.

❖ Según el análisis de las actividades de mantenimiento se determinó que la especialidad más requerida es la de mecánico, dado el carácter de las intervenciones más representativas tomadas para esta investigación.

❖ En cuanto al tema de costos se evidencia que las actividades evaluadas de mantenimiento llevadas a cabo con recursos propios representan un mayor ahorro con respecto a estas mismas actividades ejecutadas con personal contratado.

❖ La participación de líderes en el desarrollo de las actividades de mantenimiento con recursos contratados es mayor que en las que se realizan con recursos propios, incrementando los costos asociados a mano de obra.

❖ La actividad que más se realiza por parte de los equipos de mantenimiento en las centrales de generación de energía es todo lo relacionado con los activos asociados a las válvulas esféricas.

❖ Con los resultados de cada uno de los levantamientos de información, se determinó que las actividades de mantenimiento en algunas centrales de generación de energía realizadas con recursos propios son viables técnica y económicamente.

❖ Es importante aclarar que al ser de tipo exploratorio y de muestreo por conveniencia no es posible emitir una conclusión generalizable, pero sí un punto de partida para una investigación de mayor profundidad en la que puede llegar a ratificarse esta

información y especialmente generalizarse al tener un esquema de muestreo de mayor rigurosidad.

❖ Cabe resaltar también que, debido a la criticidad de la información, en esta fase no fue viable tomar una empresa concreta, pero con estos resultados podría gestionarse para ya tener un estudio específico y que puedan irse particularizando los resultados.

## 7. REFERENCIAS

- Andesco. (s.f). Centrales generación energía. <https://www.andesco.org.co/energia-electrica/>
- Arcgis. (s.f.) fotografías centrales de generación energía.  
<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=704786e586d1439bbf8d3419200b02db>
- Bravo, (2016) Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río aplicando criterios de confiabilidad (RCM) (Tesis pregrado).  
[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91422/fichero/TFG\\_Cristobal+Ramos+Salgado+%28GITI%29.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91422/fichero/TFG_Cristobal+Ramos+Salgado+%28GITI%29.pdf)
- BSG institute. (2020). Confiabilidad.  
<https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/Indicadores-de-Confiabilidad-en-Mantenimiento>
- Campos, (2018, 11, 28 ) Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos.  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>
- CIIC (Centro de Información de Internet China), (2006) “Sea water to be used to ease shortages”.  
<http://www.china.org.cn/english/environment/158091.htm>.
- Deming, W. E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad – La salidad de las crisis* (pp. 19-20). Ediciones Díaz de Santos, S.A.  
[https://www.academia.edu/37495998/Fuera\\_de\\_crisis\\_deming](https://www.academia.edu/37495998/Fuera_de_crisis_deming)
- Micronet. (2021). Calidad. <http://www.enciclonet.com/articulo/control-de-calidad/>
- Micronet. (2021). Central Hidroeléctrica. <http://www.enciclonet.com/articulo/central-de-energia/>
- Excellentia. (1959). Calidad Total. <https://www.excellentia.com.uy/>
- Fbombab (2020,junio,25). Muestreo por conveniencia & muestreo por conveniencia ejemplos+ventajas y desventajas. [Vídeo]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=yW9DARfzBeA>

Hernández Sampieri, R, Fernández Collado, C, Baptista Lucio, P, (1997). *Metodología de la investigación*.

Panamericana Formas e Impresos S.A.

<http://www.derechoshumanos.unlp.edu.ar/assets/files/documentos/metodologia-de-la-investigacion.pdf>

Luis Miguel Manene (2021). Benchmarking: definiciones, aplicaciones, tipos y fases del proceso.

<http://www.luismiguelmanene.com/2011/04/15/benchmarkingdefiniciones-aplicaciones-tipos-y-fases-del-proceso/#:~:text=En%20resumen%2C%20el%20Benchmarking%20es,logros%20y%20aplicarlos%20en%20nuestros>

Minenergía. (1994,julio,11). Ley 143 de julio de 1994. <https://www.minenergia.gov.co>

Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance) RCM II.

Lillington, North Carolina: Aladon LLC.

Olarte, Botero, Cañón. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. [Dialnet-ImportanciaDelMantenimientoIndustrialDentroDeLosPr-4587110.pdf](http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4587110)

Ordoñez Flores, J. L. (2020). *Propuesta de implementación centrado en confiabilidad para optimización de los planes de mantenimiento en una central hidroeléctrica*. Universidad peruana de Ciencias Aplicadas. Repositorio académico UPC.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/621686>

Ponce, (2016). Gestión de mantenimiento para centrales hidroeléctricas: el caso de las Central

Hidroeléctrica Minas – San Francisco de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP – Unidad de Negocios Enerjubones (Tesis de Maestría). Ecuador

Predictiva21 (s.f) Función del mantenimiento. <https://predictiva21.com/el-mantenimiento-en-una-central-hidroelectrica/>

XM (s.f.) ¿Qué hacemos? <https://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Nuestra-empresa/que-hacemos.aspx>

Slideshare (s.f.) Benchmarking y satisfacción del cliente. <https://es.slideshare.net/CarlosMedellin1/sga-42-benchmarking#:~:text=Benchmarking%20es%20un%20proceso%20de,clase%20y%20de%20sus%20sector.>

Tashakkori y Teddlie. (2003). Métodos mixtos en la investigación de las ciencias de la actividad física y el deporte. <https://www.raco.cat/index.php/ApuntsEFD/article/download/268185/355763>.

Tesis Plus (s.f.). Investigación exploratoria según autores.

<https://tesisplus.com/investigacion-exploratoria/investigacion-exploratoria-segun-autores/>

Todo Mantenimiento (s.f.). Mantenimiento Correctivo. <https://mantenimiento.win/>.

Todo Mantenimiento. (s.f.). Mantenimiento. <https://mantenimiento.win>.

Todo Mantenimiento (s.f.). Mantenimiento Predictivo. <https://mantenimiento.win/>.

Todo Mantenimiento (s.f.). Mantenimiento Preventivo. <https://mantenimiento.win/>.

## 8. ANEXOS

## Anexo 1. Encuesta de satisfacción de servicio prestado

<b>ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE SERVICIO PRESTADO</b>			
<b>Fecha de la encuesta</b>	Día: Mes: Año:		
<b>Actividad a evaluar</b>			
<b>Tipo de trabajo</b>	<b>Mecánico</b>	<b>Eléctrico</b>	<b>Mixto</b>
<b>¿Se cumplió en totalidad la actividad asignada?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
<b>¿Los tiempos establecidos fueron acordes con lo solicitado inicialmente?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
<b>¿Cómo calificaría la calidad del servicio en cuanto a los conocimientos técnicos del personal que realizó la actividad?</b>	<b>Buena</b>	<b>Regular</b>	<b>Mala</b>
<b>¿El personal solicitado fue asignado oportunamente?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
<b>¿Volvería a solicitar los servicios del grupo de mantenimiento para esta misma actividad?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
<b>Observaciones</b>			
<b>Persona encargada de la encuesta</b>	<b>Líder Mantenimiento</b>		