

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
POSGRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS PARA EL NEGOCIO
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE HEREDIA S.A.

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la Comisión del Programa
de Estudios de Posgrado en Administración y
Dirección de Empresas para optar al grado y título de
Maestría Profesional en Gerencia

Realizado por:
José Pablo Lizano Rojas
932130

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
Julio 2016

Dedicatoria

A la Virgen de los Ángeles,
que ha cumplido todas mis peticiones.

A mis padres, Carlos (†) y Emma
que siempre he tenido su apoyo
en cualquier situación de la vida.

Agradecimientos

Quiero dejar patente mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de mi trabajo final de graduación.

Mi agradecimiento al MBA. Esteban Cordero Llobeth, coordinador de Recursos Financieros de la ESPH, por el apoyo recibido en la realización de este trabajo.

Mención especial para el MBA. Roque Rodríguez Chacón, profesor asesor del Programa de Posgrado de Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Costa Rica, por su orientación y consejería.

Para mis compañeros del PADE con los que compartí y aprendí muchas cosas en estos años.

Finalmente a mi familia, amigos y compañeros de trabajo de los que recibí un apoyo invaluable para la finalización de este proyecto.

A todos muchas gracias.

Hoja de aprobación

Este trabajo final de graduación fue aceptado por la comisión del Programa de Posgrado en Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Maestría en Administración y Dirección de Empresas con Énfasis en Gerencia.

Dr. Aníbal Barquero Chacón
Director Programa de Posgrado

MBA. Roque Rodríguez Chacón
Coordinador de Área Gerencia

MBA. Mauricio Brenes Ruiz
Profesor guía PADE

MBA. Esteban Cordero Llobeth
Supervisor de la empresa

Ing. José Pablo Lizano Rojas
Estudiante

Contenido capitulario

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de aprobación	iv
Contenido capitulario.....	v
Índice de ilustraciones.....	vi
Índice de tablas.....	viii
Introducción	ix
Capítulo I. La generación de energía hidroeléctrica en el mundo y en Costa Rica	1
1.1. La energía eléctrica	1
1.2. Reseña histórica de la energía eléctrica	5
1.3. La energía hidroeléctrica en el mundo	8
1.4. Proceso de generación de energía hidroeléctrica.....	10
1.5. Generación de energía hidroeléctrica en Costa Rica.....	14
1.6. Perspectivas conceptuales.....	28
Capítulo II. Descripción de la ESPH y del negocio de generación	36
2.1. La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.....	36
2.2. Marco estratégico de la organización.....	42
2.3. Estructura organizacional.....	43
2.4. Actividades de gestión de activos en el negocio de generación de la ESPH...	51
2.5. Descripción de estrategia actual de gestión en la organización	58
Capítulo III. Análisis de situación actual del negocio de generación de ESPH en función de la gestión de activos	68
3.1. Introducción	68
3.2. Justificación de la investigación.....	69
3.3. Población de interés.....	69
3.4. Metodología de investigación	70
3.5. Desarrollo de la investigación	71
3.6. Análisis de la investigación	76
3.7. Análisis FODA.....	87

Capítulo IV. Propuesta estratégica de gestión de activos.....	90
4.1. Justificación de la propuesta	90
4.2. Objetivos de la propuesta	92
4.3. Factores críticos de éxito	92
4.4. Desarrollo de la propuesta de gestión de activos.....	93
4.5. Propuesta de métricas de control	109
4.6. Plan de acción.....	114
4.7. Justificación económica de la propuesta	115
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	119
5.1. Conclusiones	119
5.2. Recomendaciones	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXOS	124
Anexo 1. Clientes y consumos de los negocios de la ESPH.....	124
Anexo 2. Encuesta de gestión de activos	124
Anexo 3. Etapas de los costos del ciclo de vida de los activos	126
Anexo 4. Indicadores para la correcta gestión de activos	128

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Analogía de un circuito hidráulico con uno eléctrico.....	3
Ilustración 2. Representación de un circuito eléctrico	3
Ilustración 3. Forma de onda de CC (no varía con el tiempo).....	4
Ilustración 4. Forma de onda de CA (varía su valor con el tiempo)	4
Ilustración 5. Experimento de Faraday de inducción electromagnética	7
Ilustración 6. Dinamo construido por Zenome Gramme	8
Ilustración 7. Dínamo en Pearl Street Station en Nueva York en 1882.....	9
Ilustración 8. Planta hidroeléctrica en las cataratas del Niagara.....	11
Ilustración 9. Esquema de generación, transmisión y distribución de electricidad	12
Ilustración 10. Esquema de una planta hidroeléctrica.....	13
Ilustración 11. Turbinas hidroeléctricas tipo Francis y Pelton	13
Ilustración 12: Planta Hidroeléctrica Porrosatí (1908)	14
Ilustración 13. Planta hidroeléctrica Brasil de Santa Ana (1912).....	15

Ilustración 14. Planta Hidroeléctrica La Joya (1915)	15
Ilustración 15. Construcción de planta hidroeléctrica Tacares (1930)	16
Ilustración 16. Montaje de turbinas, planta hidroeléctrica Carrillos (1950)	17
Ilustración 17. Construcción de la planta hidroeléctrica Cachí (1966)	18
Ilustración 18. Consumo de energía comercial por sector en Costa Rica	21
Ilustración 19. Consumo total de energía por fuente en Costa Rica	21
Ilustración 20. Consumo de energía eléctrica por sector en Costa Rica	22
Ilustración 21. Organización de mercado eléctrico de Costa Rica	22
Ilustración 22. Empresas del sector eléctrico en Costa Rica	23
Ilustración 23. Cobertura eléctrica según empresa distribuidora	24
Ilustración 24. Generación de electricidad por fuente energética en Costa Rica	25
Ilustración 25. Comportamiento de la demanda en Costa Rica 1978-2012	27
Ilustración 26. Demanda de energía eléctrica por empresa distribuidora	28
Ilustración 27. Construcción de planta hidroeléctrica Carrillos	38
Ilustración 28. Área de cobertura de distribución de energía eléctrica	42
Ilustración 29. Organigrama general de la ESPH	44
Ilustración 30. Distribución de personal por áreas	45
Ilustración 31. Organigrama UEN energía eléctrica	47
Ilustración 32. Planta hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo	47
Ilustración 33. Planta hidroeléctrica Los Negros	48
Ilustración 34. Planta hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo	48
Ilustración 35. Curva de demanda diaria con efecto de plantas	50
Ilustración 36. Tiempos en funcionamiento y en avería	66
Ilustración 37. Gráfico radial de resultados de las encuestas	72
Ilustración 38. Gráfico de resultados de las encuestas ordenados por puntuación	72
Ilustración 39. Fases del ciclo de vida de los activos	78
Ilustración 40. Aplicación para administración del mantenimiento MP9	85
Ilustración 41. Modelo de la gestión de activos	94
Ilustración 42. Metodología de análisis de criticidad	96
Ilustración 43. Matriz de criticidad	97
Ilustración 44. Diagrama de ishikawa	101
Ilustración 45. Costos del ciclo de vida de los activos y ROI	104
Ilustración 46. Tendencia del backlog del ejemplo	114

Índice de tablas

Tabla 1. Cargo por energía (cada KWh)	49
Tabla 2. Cargo por demanda (cada KW).....	49
Tabla 3. Matriz de prioridades de las actividades de gestión de activos.....	57
Tabla 4. Criterios de severidad de un evento	62
Tabla 5. Criterios de clasificación según la probabilidad de ocurrencia.....	63
Tabla 6. Criterios de clasificación según la probabilidad de no detección	63
Tabla 7. Análisis FODA del negocio de generación de energía eléctrica ESPH	88
Tabla 8. Criticidad de equipos por puntos	98
Tabla 9. Perspectivas de gestión de activos	109
Tabla 10. Perspectivas de gestión financiera	111
Tabla 11. Perspectivas de gestión de recursos.....	111
Tabla 12. Perspectivas de gestión de OT y OC	112
Tabla 13. Ejemplo de backlog	113
Tabla 14. Análisis financiero de la implementación de la propuesta	117
Tabla 15. Clientes y consumo de negocio de agua potable, ESPH	124
Tabla 16. Clientes y consumo de negocio de aguas residuales, ESPH	124
Tabla 17. Clientes y consumo de negocio de energía eléctrica ESPH	124

Introducción

En todas las organizaciones las actividades que generan valor deben ser correctamente administradas optimizando los recursos necesarios para su ejecución, entre las propuestas para la administración de procesos productivos está la gestión de activos, la cual analiza el ciclo de vida de los activos en las organizaciones maximizando su desempeño, extendiendo su vida útil, reduciendo costos operativos y obteniendo mejores retornos sobre las inversiones.

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (en adelante ESPH) administra los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, distribución de energía eléctrica y alumbrado público en los cantones de San Rafael, San Isidro, Central y en varias zonas de los cantones de Barva, Flores y San Pablo de Heredia. Además en los últimos años está incursionando en el negocio de telecomunicaciones.

Las compras de energía eléctrica para la distribución industrial, comercial y residencial se gestionan a través del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), entregándose esta en las subestaciones Heredia, Belén y San Miguel, a partir de ese punto se hace llegar a las localidades citadas en el párrafo anterior. Estas compras se realizan dentro de un sistema de facturación de energía y potencia, en el cual se factura todos los meses el total de la energía consumida y la máxima medición de potencia registrada durante el mes.

La erogación de compras de potencia y energía al ICE es la más grande que tiene la ESPH, volviéndose determinante en las finanzas de la Empresa. El objetivo de la ESPH es producir energía al menos en los periodos punta de la curva de demanda (entre las 10:00 y 12:30 horas y entre las 17:30 y 20:00 horas), obteniendo así un comportamiento uniforme de esta, es decir, bajar el consumo mediante la producción de energía eléctrica propia en dichos periodos donde la energía es más costosa.

Por lo descrito anteriormente es que la ESPH ha dado prioridad a las plantas hidroeléctricas en operación: Jorge Manuel Dengo Obregón (2.5 MW), Los Negros (18,3 MW) y Tacaes (6,8 MW), además al proyecto hidroeléctrico Los Negros II (27,6 MW – en construcción) y al proyecto eólico El Quijote (36 MW – en factibilidad).

La estructura organizativa del negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH tiene la responsabilidad máxima de la operación, mantenimiento y control de las plantas de producción de energía eléctrica, entre dichas responsabilidades se encuentran la gestión de temas técnicos, financieros, documentales, logísticos y medioambientales. Se requiere una estrategia estructurada para controlar todo el proceso.

El modelo de gestión de activos ha sido implementado en los últimos años por muchas industrias petroleras, de generación, transmisión y distribución eléctrica entre otras alrededor del mundo con muchos casos de éxito. Con la aplicación de esta estrategia se determina el desempeño operativo y la rentabilidad de las empresas que utilizan activos como parte de su negocio central (*Core Business*).

Capítulo I. La generación de energía hidroeléctrica en el mundo y en Costa Rica

La electricidad es de los más importantes tipos de energía en nuestros tiempos, sobre todo por su facilidad para ser producida, transportada y distribuida, además la demanda de este tipo de energía está en crecimiento en todo el mundo debido a los procesos industriales, comerciales y al crecimiento demográfico constante de los países.

La energía eléctrica ha sido fundamental para que la sociedad haya llegado a su actual desarrollo. La multiplicación de la fuerza mecánica y el transporte mediante el aprovechamiento de la energía eléctrica, las telecomunicaciones, la refrigeración, el alumbrado público, todo el mundo de la computación e informática entre otras cosas se deben a ella. Después de la energía producida a partir de los combustibles fósiles (bunker, diesel y gasolina) es la energía más utilizada en el mundo.

La generación de energía eléctrica en general es la transformación de cualquiera de las siguientes clases de energía; hidráulica, cinética, térmica, nuclear, solar entre otras, en energía eléctrica por medio de una máquina eléctrica llamada alternador. Desde su descubrimiento a finales del siglo XIX en Estados Unidos y Europa se han desarrollado tecnologías para su correcta gestión desde que se genera hasta que llega al usuario final.

La generación de energía hidroeléctrica utiliza la energía potencial del agua embalsada en un embalse o presa situado a un mayor nivel de la central de generación. El agua se transporta por tuberías hacia turbinas hidráulicas que son las que mueven los alternadores produciendo la electricidad y, posteriormente, transportándola a los grandes centros de consumo de cada región. (Enríquez, 2009)

1.1. La energía eléctrica

Primero que todo hay que hacer la definición general de la energía como:

“Concepto presente en la naturaleza que es capaz de producir fuerzas y movimientos, la energía es conocida por sus efectos y formas de aplicación”.

Dependiendo de la rama de la ciencia se define la energía como:

- En física: “La capacidad de realizar un trabajo”.
- En Mecánica: “Lo que posee un cuerpo por razón de su movimiento”.

- Potencial: “La capacidad para realizar un trabajo en razón de su posición o altura”.
- Cinética: “Energía de un objeto a consecuencia de su movimiento o velocidad”.
- Nuclear: “La obtenida por la fusión o fisión de los átomos”. (Serway, 2009)

Según la Ley de la Conservación de la Energía: “La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Nada se crea o se destruye, sólo hay alteraciones y modificaciones a una cantidad igual, una ecuación de masa antes y después de la transformación. Ejemplo de esta transformación es la energía eléctrica en calórica en un calentador o en refrigerante en un aire acondicionado.

A continuación se definen los principales conceptos relacionados con la energía eléctrica:

Materiales conductores. Materiales con gran cantidad de electrones libres que permiten crear un flujo de corriente eléctrica con facilidad. Por ejemplo: cobre, aluminio, hierro y oro (el mejor conductor de todos)

Materiales aisladores. Materiales con pocos electrones libres y que ofrecen una fuerte resistencia al paso de la corriente eléctrica. Ejemplo: vidrio, porcelana, resinas plásticas, caucho, aire seco.

Voltaje. Es la diferencia de potencial eléctrico (concentraciones de las cargas eléctricas) que genera una fuerza que hace que electrones libres de los átomos de los materiales conductores se muevan entre dos posiciones diferentes, se asemeja a la energía que ejerce la fuerza de la gravedad que existe entre dos alturas, mientras mayor sea la altura, más energía potencial se genera, en electricidad si la acumulación de cargas eléctricas aumenta, el voltaje aumenta. Se mide en Voltios (V).

Corriente eléctrica. Flujo de electrones en un material conductor que se trasladan en una dirección movidos por la fuerza de la diferencia de potencial, el extremo donde existe mayor carga eléctrica trata de equilibrarse con el de menos carga produciendo dicho flujo de electrones. El número de electrones por segundo que atraviesan el área transversal de un material conductor, se denomina intensidad de corriente eléctrica y se mide en Amperios (A).

Resistencia eléctrica. Oposición al flujo de electrones que pone el material conductor por donde se trasladan movidos por la fuerza de la diferencia de potencial. Dependiendo del material, los electrones se mueven más rápido o lento por el conductor. Se mide en Ohmios (Ω).

Circuito eléctrico. Está formado por la fuente que entrega la energía (baterías, generadores), el conductor que transporta la corriente (cables, barras) y las resistencias o consumos (lámparas, motores, calefacciones). Todos estos elementos conectados entre sí forman el circuito. Para explicar mejor la energía eléctrica se realiza en la **Ilustración 1** una analogía del un circuito eléctrico con el circuito hidráulico. (Serway, 2009)

Los tanques A y B con distintas cantidades de agua en su interior, unidos por una cañería la cual sería la analogía a un conductor eléctrico presentan una diferencia de niveles (h_{ab}) que representa una diferencia de potencial ejercida por la fuerza de la gravedad, la cual se asemeja a la diferencia de potencial eléctrico o voltaje.

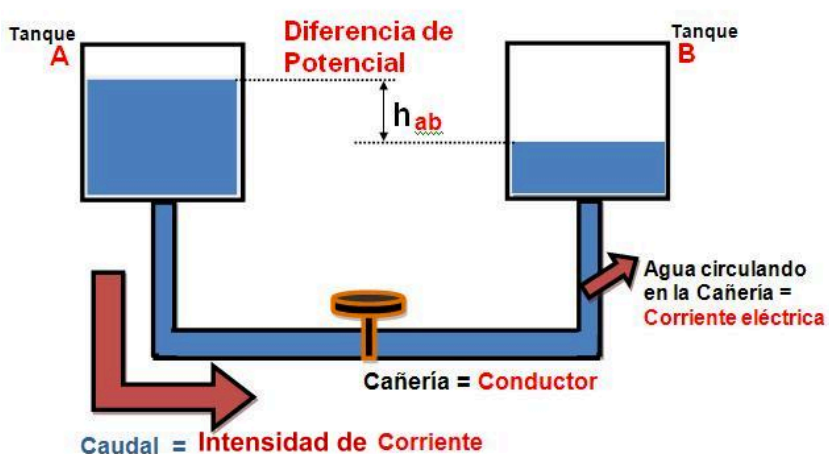


Ilustración 1. Analogía de un circuito hidráulico con uno eléctrico

Fuente: Serway, Física moderna

Cuando se abre la llave de la cañería el agua empieza a pasar de A hacia B, el agua circulando a través de la cañería representa la corriente eléctrica y la cantidad de agua o caudal representa la intensidad de corriente eléctrica en amperios. La resistencia eléctrica sería la analogía a la cañería del circuito hidráulico, la cual representa un retardo al paso del agua, mientras abrimos o cerramos la llave de paso podríamos decir que aumentamos o disminuimos la resistencia en el circuito hidráulico.

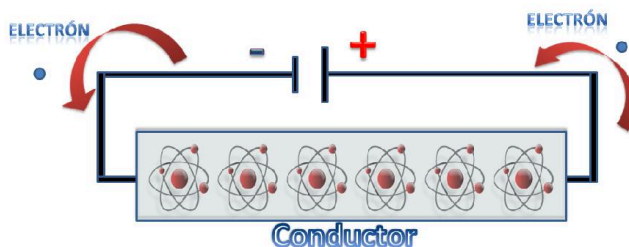


Ilustración 2. Representación de un circuito eléctrico

Fuente: Serway, Física moderna

Corriente continua. Los electrones viajan siempre en un mismo sentido, esto origina una polaridad en los circuitos: positiva y negativa que no varía con el tiempo. Se produce cuando se usan fuentes como baterías.

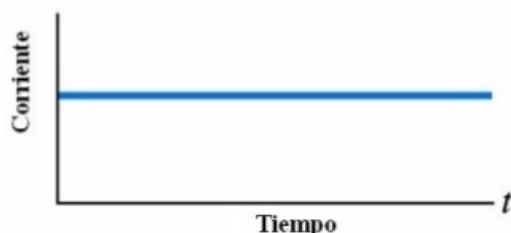


Ilustración 3. Forma de onda de CC (no varía con el tiempo)

Fuente: Serway, Física moderna

Corriente alterna. Los electrones viajan (oscilan) en ambos sentidos de una onda senoidal dependiendo de la polaridad de la onda que cambia con el tiempo. Las veces que cambia por segundo es la frecuencia, la cual generalmente es de 60 hercios. Los generadores producen esta onda senoidal, la corriente alterna permite cambiar sus niveles de voltaje y corriente por medio de los dispositivos llamados transformadores.

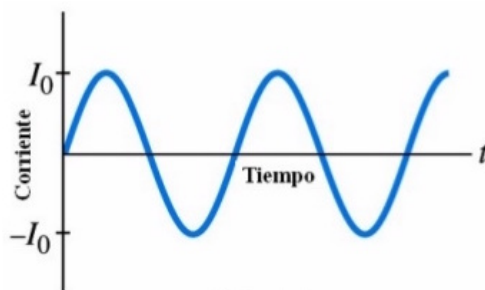


Ilustración 4. Forma de onda de CA (varía su valor con el tiempo)

Fuente: Serway, Física moderna

Ley de Ohm. El flujo de corriente eléctrica que circula por un circuito eléctrico cerrado es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica de la carga que tiene conectada. Relaciona los parámetros de voltaje, corriente y resistencia según la siguiente ecuación:

$$I = \frac{V}{R}$$

Cuando el valor de la resistencia varía debido a las características de los materiales conductores, el valor de la intensidad de corriente también varía inversamente proporcional, es decir, a medida que la resistencia aumenta, la corriente disminuye. Cuando la resistencia al paso de la corriente disminuye la corriente aumenta, siempre que para ambos casos el valor del voltaje se mantenga constante.

Por otro lado, y de acuerdo con la propia Ley, el valor de la tensión o voltaje es directamente proporcional a la intensidad de la corriente; por tanto, si el voltaje aumenta o disminuye, el amperaje de la corriente que circula por el circuito aumentará o disminuirá en la misma proporción, siempre y cuando el valor de la resistencia del circuito se mantenga constante.

Potencia eléctrica. La potencia se define como la velocidad con que se realiza un trabajo, como se mencionó anteriormente la diferencia de potencial produce un flujo de corriente, es decir, un movimiento de electrones, la velocidad con que se realiza el trabajo para provocar ese movimiento de un punto a otro se denomina potencia eléctrica.

La fórmula de potencia eléctrica se define como el voltaje multiplicado por la intensidad de la corriente y se mide en vatios, kilovatios o megavatios (W, kW ó MW por su nombre en inglés Watt). Un vatio corresponde a la diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio.

$$P = V \times I$$

Energía eléctrica. La potencia definida anteriormente se denomina potencia instantánea, es decir, es el trabajo realizado en el momento exacto en que fue medido, la energía sería la potencia por unidad de tiempo. Comercialmente se mide en kilovatios por hora (kWh).

Estos conceptos y definiciones se consideran como básicos en el estudio de la electricidad, estos fueron descubiertos por diferentes científicos hasta llegar al sistema complejo que se tiene en nuestros tiempos. Es importante conocer estos términos básicos de electricidad antes de entrar en materia de antecedentes y contextualización. (Serway, 2009)

1.2. Reseña histórica de la energía eléctrica

A lo largo de la historia ha habido descubrimientos y avances importantes hasta lo que conocemos hoy en día como electricidad y que es muy normal en nuestro entorno. Todos estos descubrimientos han estado ligados a grandes científicos y físicos que dedicaron mucho tiempo en sus aportes al desarrollo de la electricidad.

Entre los científicos y los descubrimientos más importantes relacionados con la energía eléctrica se citan los siguientes:

- William Gilbert (Inglaterra): los materiales conductores en 1600.
- Otto Von Guericke (Alemania): las cargas eléctricas en 1660.
- William Watson (Inglaterra): la corriente eléctrica en 1747.
- Benjamín Franklin (Estados Unidos): clasificación de sustancias y materiales eléctricamente positivas y negativas en 1752.
- James Watt (Escocia): patentó la máquina de vapor de agua en 1769.
- Charles-Agustín de Coulomb (Francia): fuerzas entre dos cargas eléctricas en 1777.
- Alessandro Volta (Italia): la batería eléctrica en 1800.
- Hans Christian Oersted (Dinamarca): principios de electromagnetismo en 1819.
- André-Marie Ampere (Francia): la corriente eléctrica en 1822.
- George Simon Ohm (Alemania): Ley de Ohm en 1827.
- Carl Friedrich Gauss (Alemania): flujos de campo eléctrico en 1831.
- Michael Faraday (Inglaterra): inducción electromagnética en 1831 y el generador en 1832.
- Joseph Henry (Estados Unidos): inducción electromagnética en la que un campo magnético variable puede inducir una fuerza electromotriz en un circuito cerrado en 1832.
- Heinrich Lenz (Estonia): la fuerza electromotriz inducida en 1834.
- James Prescott Joule (Inglaterra): Ley de Joule de la generación de calor producido por una corriente eléctrica que atraviesa una resistencia (por ejemplo en un conductor eléctrico generando pérdidas de energía cinética) en 1841.
- Gustav Robert Kirchhoff (Alemania): Leyes de Kirchhoff para circuitos eléctricos en 1845.
- Werner Siemens (Alemania): desarrolló las bases de la generación de corriente alterna en 1851.
- Zenome Gramme (Bélgica): construcción y comercialización de los dinamos (primeros generadores en corriente continua) en 1870.
- James Clerk Maxwell (Escocia): leyes de Maxwell para el electromagnetismo en 1875.
- John Hopkinson (Inglaterra): sistema trifásico para la generación y la distribución de corriente alterna en 1882.
- Thomas Alva Edison (Estados Unidos): patentó la lámpara incandescente y construyó la primera planta eléctrica comercial en corriente continua de la historia en 1884.
- George Westinghouse (Estados Unidos): desarrollo de los sistemas de suministro de corriente alterna y el transformador de potencia eléctrica en 1885.

- Nikola Tesla (Croacia): desarrolló los generadores y los motores de corriente alterna, formando los sistemas trifásicos para transmitir electricidad a largas distancias en 1887.
www.biografiasyvidas.com

En 1819 el físico danés Hans Oersted descubrió que al mover una brújula cerca de un cable por el que se conducía una corriente eléctrica, la aguja se desviaba hasta quedar en una posición perpendicular a la dirección del cable, se había hallado una relación entre la electricidad y el magnetismo, donde los conductores atravesados por corriente eléctrica formaban un campo magnético iniciando de esta forma el estudio del electromagnetismo.

Más adelante en 1831 el físico británico Michael Faraday se hizo el siguiente cuestionamiento: si se puede obtener magnetismo de la electricidad, ¿se podrá obtener electricidad del magnetismo? La inducción electromagnética consiste en generar campos eléctricos a partir de campos magnéticos, esto lo descubrió al formar dos enrollados o bobinas de un cable conductor alrededor de un aro de hierro, cuando hacía pasar corriente por una de las bobinas, otra corriente era inducida en la otra bobina.

Faraday también descubrió que si se pasaba un imán (A) a través de una bobina (arrollado) de alambre sin núcleo (B), como se muestra en la **ilustración 5**, la corriente eléctrica circularía a través del alambre de esta bobina, la corriente también fluía si la bobina era movida sobre un imán en reposo.

En 1834 el físico estonio Heinrich Lenz da seguimiento a los experimentos de Faraday y afirma que los voltajes inducidos sobre un conductor y sus campos eléctricos asociados se oponen a la variación del flujo magnético que las induce. Este es el principio de funcionamiento de los generadores eléctricos.

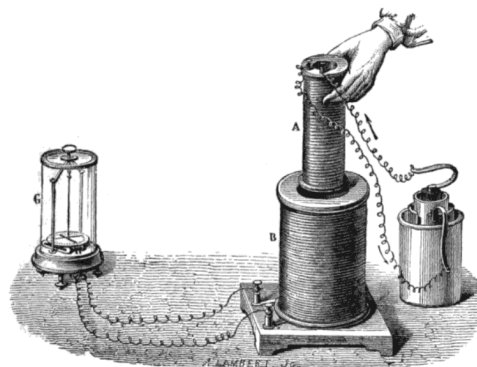


Ilustración 5. Experimento de Faraday de inducción electromagnética

Fuente: Metcalf, The History of Electricity

En 1870 el científico belga Zenome Gramme construye los primeros dínamos comerciales en corriente continua, punto importante en la historia de la industria eléctrica. Su principio de funcionamiento es que el campo magnético producido por un electroimán que está girando dentro de una bobina genera una corriente eléctrica (ver **ilustración 6**).

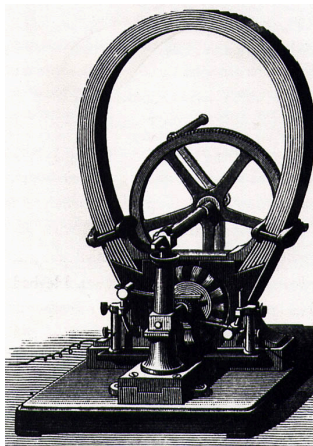


Ilustración 6. Dinamo construido por Zenome Gramme

Fuente: Metcalf, The History of Electricity

Después de estos experimentos y descubrimientos que tenían que ver con la electricidad, en 1875 el científico británico James Clerk Maxwell formuló las ecuaciones fundamentales del campo electromagnético. Además, Maxwell explica en sus ecuaciones el principio de conservación de la carga en la que se afirma que la carga eléctrica no se crea ni se destruye, si no que únicamente se transfiere, similar al principio de conservación de la energía anteriormente explicado.

Después de esta fase de descubrimientos y leyes que fundamentan la teoría de la electricidad sobrevino una etapa de grandes logros y construcciones que tenían que como principal característica los recientes hallazgos relacionados con la energía eléctrica. (Metcalf, 2012)

1.3. La energía hidroeléctrica en el mundo

Antes de los acontecimientos anteriormente explicados las ciudades se iluminaban con lámparas de aceite o queroseno, las cuales por mucho tiempo fueron las más comunes en todo el mundo, con los avances en la electricidad se pudo dar un paso a la iluminación artificial por medio del arco eléctrico. En 1878 Thomas Alva Edison inventó la lámpara incandescente de filamento de carbón.

Ese mismo año en la exposición universal de París se presentó el invento de la luz artificial con lámparas de arco, las cuales alumbraron las afueras de la Ópera Garnier con el asombro de todos los visitantes a la actividad. Para este evento se usaron los dínamos de corriente continua de Zenome Gramme.

Paralelo a esto se construyó la primera planta hidroeléctrica de la que se tiene información en Cragside Northumberland, Inglaterra, por Lord Armstrong en 1878 con 12 kW de potencia. Esta planta funcionaba con un dínamo para un elevador en que tenían en una granja.

En 1880 se instalaron en San Francisco y en Nueva York los primeros generadores en corriente continua que funcionaban con carbón y vapor, también se instalaron las primeras plantas hidroeléctricas de Estados Unidos, una en Michigan y otra en Wisconsin, las cuales también generaban 12 kW cada una. Posteriormente en Londres Inglaterra en el año 1882 la Edison Electric Light Station fue la primera planta pública de la historia, el proyecto de Tomás Alva Edison contaba con una potencia de 100 kW.

También en ese año se construyó la Pearl Street Station de 130 kW en Nueva York, esta utilizaba turbinas de vapor con carbón con unos generadores en corriente continua, la planta era muy limitada debido a las cortas distancias de transmisión (se podía transmitir a menos de 1 kilómetro), las cuales permitían alimentar solamente a 508 clientes de Manhattan (ver **ilustración 7**).

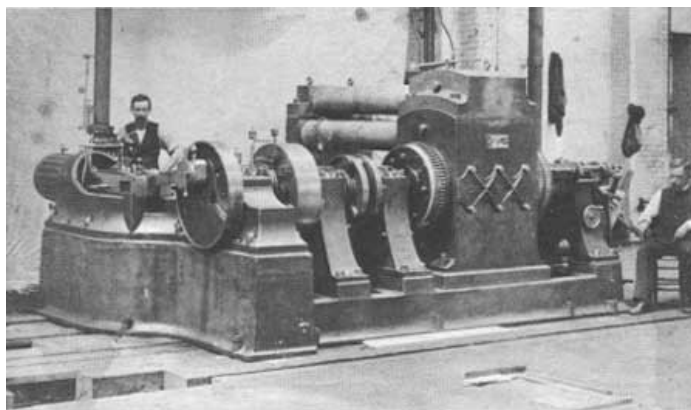


Ilustración 7. Dínamo en Pearl Street Station en Nueva York en 1882

Fuente: Metcalf, The History of Electricity

En 1884 Edison contrata al ingeniero y físico croata Nikola Tesla, a quien le asigna la tarea de rediseñar completamente los generadores de corriente continua que tantos problemas habían presentado. Edison no le pagó lo que le había prometido y Tesla renunció a su puesto para desarrollar el motor y el generador de corriente alterna por sus propios medios.

En 1886 Tesla se asocia con George Westinghouse para desarrollar y construir el primer motor de inducción y el transformador de potencia de corriente alterna con las patentes del croata.

Con este paso se genera el nuevo sistema de transmisión que consiste en un generador de corriente alterna, con todos los principios de la inducción electromagnética de Faraday, un transformador con el cual se podía elevar el voltaje para transmitir electricidad a grandes distancias y, luego, un transformador que reduce el voltaje a niveles domésticos para el consumo, esto hizo que se dejaran de construir plantas eléctricas en cada barrio.

En 1887 la empresa eléctrica Westinghouse Electric & Manufacturing Company empezó a desarrollar el sistema de suministro de corriente alterna. Esto hizo que Edison y su empresa General Electric atacaran desvirtuando la nueva tecnología que era comercialmente muy superior, estos ataques se basaban en que la corriente alterna era muy peligrosa, después de varias disputas Westinghouse y Tesla ganaron la adjudicación para la iluminación de la Feria Mundial de 1893 en Chicago donde Tesla exhibió todos sus inventos y demostró que la transmisión en corriente alterna tenía muchas ventajas con respecto a la corriente continua de Edison y que manejada correctamente no era peligrosa. . (Metcalf, 2012)

En 1895 Niagara Falls Power Company adjudicó a Westinghouse Company a construir la primer planta hidroeléctrica con un sistema de transmisión en corriente alterna iniciando así la construcción de sistemas eléctricos de este tipo permitiendo llegar a más lugares a los que no se podía con los sistemas eléctricos en corriente continua. La planta contaba con diez grupos de generación de 4.000 kW cada uno siendo en ese momento la planta más grande del mundo (ver **ilustración 8**)

1.4. Proceso de generación de energía hidroeléctrica

El sistema eléctrico de un país o región se constituye de tres elementos principales: generación (plantas eléctricas), transmisión (líneas de alto voltaje) y distribución (suministro de energía eléctrica residencial, comercial e industrial). Además se debe contar con un centro de control de energía que supervisa todo el funcionamiento del sistema.

La generación de energía eléctrica está siempre asociada a una turbina a la cual se le llama primotor y a un generador que es el que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

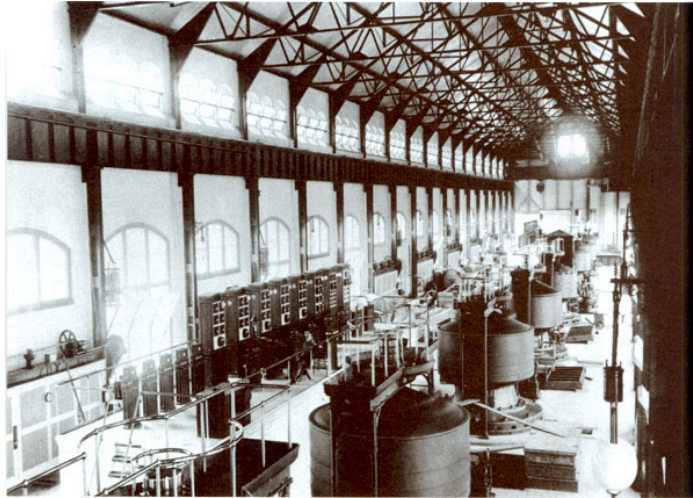


Ilustración 8. Planta hidroeléctrica en las cataratas del Niágara

Fuente: Metcalf, The History of Electricity

Este primotor convierte las diferentes fuentes de energía (hidráulica, geotérmica, eólica, solar, térmica o nuclear) en un movimiento rotativo que hace girar un generador realizándose la producción de electricidad. (Creager, 1950)

La electricidad se produce en voltajes relativamente bajos (4.160 ó 13.800 voltios) que luego se elevan por medio de transformadores de potencia para iniciar el proceso de transmisión a grandes distancias, esto debido a que como se mencionó anteriormente los centros de producción casi siempre están alejados de los centros de consumo, esta transmisión se realiza en voltajes altos (138.000 o 230.000 voltios). La razón de elevar el voltaje es que se evitan pérdidas de energía en el recorrido, efecto del cable conductor (www.grupoice.com)

Al llegar esta energía a los centros de alto consumo se baja el voltaje (34.500 o 13.200 voltios) por medio de subestaciones reductoras para realizar el proceso de distribución, la red de distribución se encarga por medio de transformadores que bajan el voltaje (240 o 120 voltios) de hacer llegar a los abonados y al alumbrado público la electricidad que se requiere.

La energía hidroeléctrica es la que utiliza el agua para producir la electricidad. Deben cumplirse los siguientes requisitos para producir energía hidroeléctrica: una fuente de agua constante (un río o un lago), un embalse que almacene agua en un sitio más elevado que el lugar donde se encuentran las turbinas, esto para producir la energía potencial necesaria.

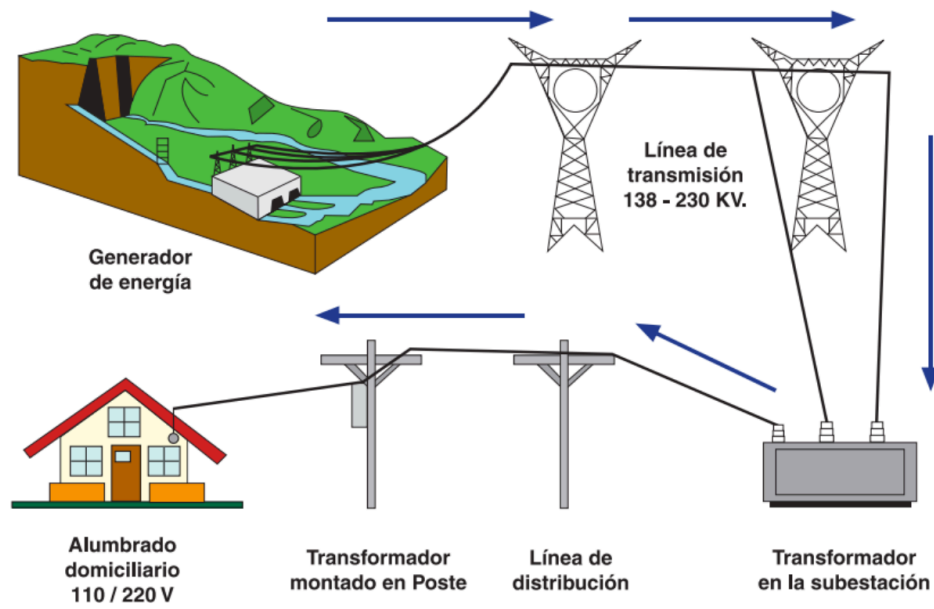


Ilustración 9. Esquema de generación, transmisión y distribución de electricidad

Fuente: www.grupoice.com

El agua se conduce al lugar de menor altura (casa de máquinas) por medio de la fuerza de gravedad a través de tuberías logrando convertir la energía potencial en cinética de movimiento o hidráulica.

Con la masa y la velocidad del agua se hacen girar las turbinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía rotativa, y esta se transmite por medio de un eje al generador que por medio del proceso de inducción electromagnética genera la corriente eléctrica, y a su vez se traslada a la subestación elevadora ubicada cerca de la casa de máquinas, en la cual se realiza el proceso de transformación y transmisión anteriormente mencionado hasta los grandes centros de consumo.

Las principales obras de una planta hidroeléctrica son:

- Obras de sitio de presa. Presa, vertedor de excedencias, desarenador, toma de agua.
- Embalse. Acumulador de agua necesario para generar en las estaciones, días y horas requeridas.
- Obras de conducción. Túneles, canales y tuberías.
- Casa de máquinas. Turbinas, generadores y control.
- Subestación elevadora. Transformadores, interruptores, seccionadoras y medición.
- Línea de transmisión. Torres, conductores y pararrayos.

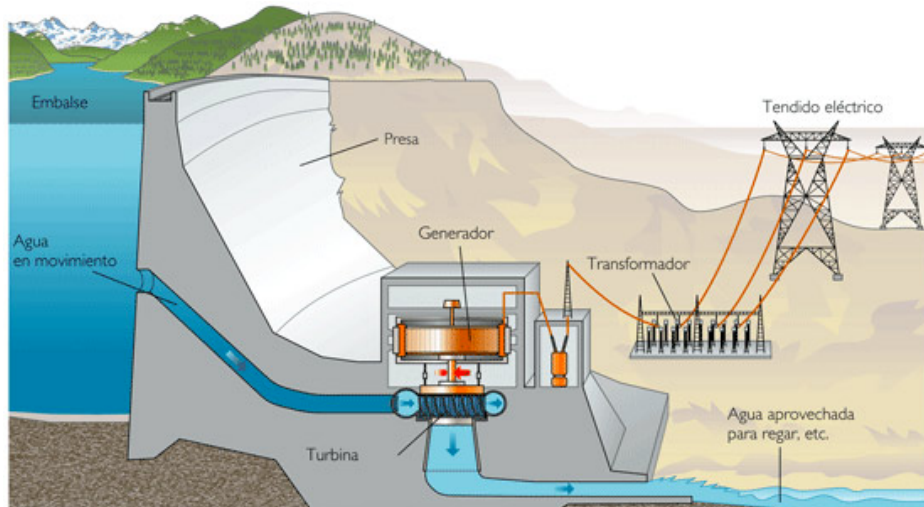


Ilustración 10. Esquema de una planta hidroeléctrica

Fuente: www.grupoice.com

Uno de los principales elementos en una planta hidroeléctrica es la turbina, la cual, como se indicó anteriormente, transforman la energía hidráulica en energía rotativa. Existen varios tipos de turbinas hidráulicas entre las cuales destacan:

- Francis. Son las más comunes, trabajan con caídas medias (de 50 a 150 metros) y con caudales medios (de 40 a 5 m³/s).
- Pelton. Son diseñadas para trabajar con caídas muy altas (de 150 a 1000 metros) y con poco caudal (de 10 a 0,5 m³/s).
- Kaplan. Diseñadas para trabajar con caídas pequeñas (menos de 50 metros) y caudales muy altos (de 100 a 10 m³/s) (www.andritz.com)

En la **ilustración 11** se muestra una turbina hidroeléctrica del tipo Francis y una tipo Pelton.

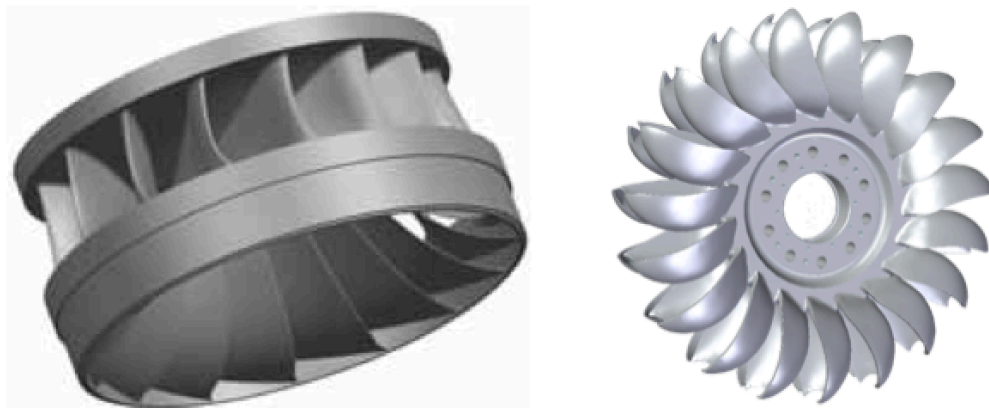


Ilustración 11. Turbinas hidroeléctricas tipo Francis y Pelton

Fuente: Andritz-Hydro

1.5. Generación de energía hidroeléctrica en Costa Rica

Reseña histórica

En agosto de 1884, dos años después de haber inaugurado el servicio eléctrico en la ciudad de Nueva York, se inaugura en Costa Rica la primera planta hidroeléctrica llamada Aranjuez ubicada en el centro de San José, esta planta tipo Pelton de 50 kilovatios de potencia proveía la energía necesaria para 25 lámparas que iluminaban el casco central de la ciudad. Dicha planta fue construida por la compañía eléctrica de Costa Rica fundada por el ingeniero costarricense Manuel Víctor Dengo y el empresario guatemalteco Luis Batres apoyados por los gobiernos de Próspero Fernández y Bernardo Soto.

En 1897 el empresario cubano Francisco Mendiola Boza construyó la planta hidroeléctrica Río Segundo de 150 kW para abastecer alumbrado público a la ciudad de Heredia con 70 lámparas, esta planta aumentó su capacidad en 150 kW en el año 1900 para abastecer también la iluminación de la ciudad San José.

En 1898 el empresario estadounidense Minor Cooper Keith funda “The Costa Rican Light and Traction Company Limited” que a su vez en el año 1900 compra la compañía eléctrica de Costa Rica y empieza a construir las plantas hidroeléctricas Tournón de 200 kW, sobre el río Torres y Los Anonos de 300 kW sobre el río Tiribí carretera a Escazú. En ese año cierran la planta Aranjuez.

En 1908 Mendiola Boza construye la planta hidroeléctrica Porrosatí en Santa Bárbara de Heredia de 200 kW de potencia que brindaba el servicio de iluminación a la ciudad de Alajuela (UNA, 2006)

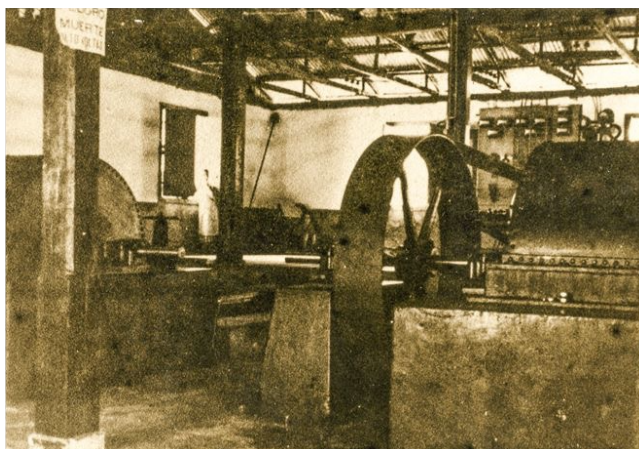


Ilustración 12: Planta Hidroeléctrica Porrosatí (1908)

Fuente: Rodríguez, Costa Rica en el Siglo XX

En 1912 The Costa Rican Light and Traction Company Limited construyó la planta hidroeléctrica Brasil ubicada en Santa Ana con una potencia de 1.275 kW que fue ampliada en 1916 en 425 kW. En 1914 la Compañía Nacional de Electricidad construyó la planta hidroeléctrica Belén de 2.500 kW, que aumentó su potencia a 3.750 kW en 1926.

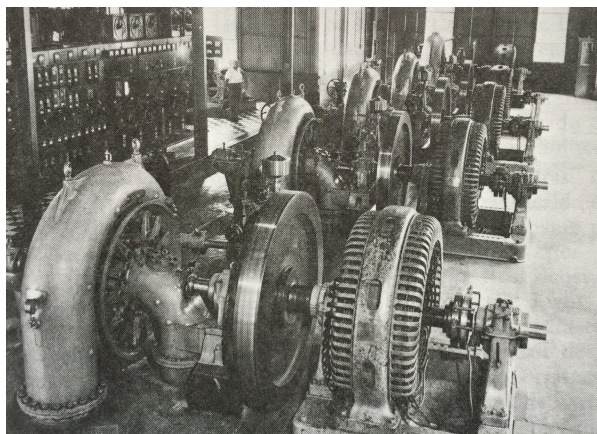


Ilustración 13. Planta hidroeléctrica Brasil de Santa Ana (1912)

Fuente: Fernández, 100 Años de actividad eléctrica en Costa Rica

En 1915 la municipalidad de Heredia inaugura la planta hidroeléctrica La Joya en San Rafael de Heredia con una potencia de 200 kW que daba servicio a 100 lámparas de alumbrado público y dos lámparas por cada hogar. En 1926 fue ampliada a 340 kW (ICE, Historia de los Servicios Públicos de Heredia)

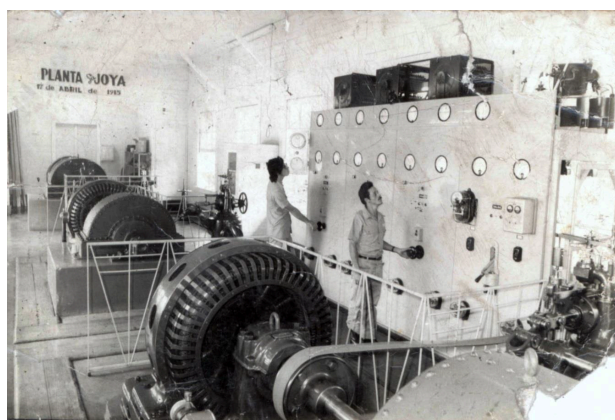


Ilustración 14. Planta Hidroeléctrica La Joya (1915)

Fuente: Fernández, 100 Años de actividad eléctrica en Costa Rica

En 1916 la Compañía Nacional de Electricidad construye la planta hidroeléctrica Hatillo de 400 kW de potencia. En 1920 la compañía eléctrica de Cartago construye la planta hidroeléctrica Barro Morado de 870 kW que aprovecha el caudal proveniente del río Aguas Calientes.

En 1927 surge una nueva empresa, la compañía nacional hidroeléctrica, que construyó la planta hidroeléctrica Electriona sobre el río Virilla con una potencia de 2.720 kW.

En 1930 se construye el ferrocarril eléctrico entre San José y Puntarenas con una distancia de 130 km, para este sistema se construyó sobre el río Poás la planta hidroeléctrica Tacaes (también conocida como El Cazador) con una potencia de 6.000 kW, la más grande del país en esos tiempos y que daba la energía eléctrica a las locomotoras.

Esta planta funcionó durante 66 años hasta el cierre del Ferrocarril en 1996. En la **ilustración 15** se muestra la construcción de la casa de máquinas de esta planta.

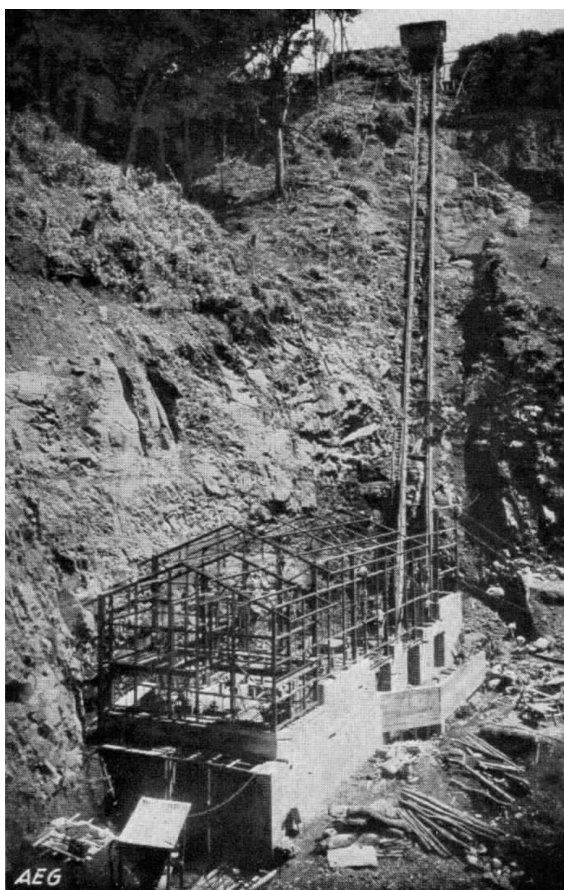


Ilustración 15. Construcción de planta hidroeléctrica Tacaes (1930)

Fuente: Escuela de Historia, UNA. La transición energética en Costa Rica

En 1934 la Junta Administrativa de Servicios Eléctricos Municipal de Alajuela (JASEMA) construye la planta hidroeléctrica El Cacao, en Tambor de Alajuela, con una potencia de 680 kW la cual daba electricidad a dicha ciudad para el alumbrado público y hogares de Alajuela.

En 1941 se crea la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) la cual adquirió las plantas hidroeléctricas Anonos, Brasil, Belén, Electriona, Hatillos, Porrosatí y Río Segundo para un total de 13.415 kW. En 1942 se construye por parte de la recién constituida CNFL la planta hidroeléctrica Ventanas en la Guácima de Alajuela con una capacidad de 5.000 kW, las cual fue aumentada en otros 5.000 kW en 1946. En 1946 entra en operación la planta hidroeléctrica Nuestro Amo con una capacidad de 8.900 kW, también hecha por CNFL (Fernández, 1985)

En 1947 debido a que se tenían muchos problemas para abastecer la demanda de electricidad en la provincia de Heredia se inició la construcción de la planta hidroeléctrica Carrillos en Poás en Alajuela con una capacidad de 2.500 kW a cargo del ingeniero Jorge Manuel Dengo, después de muchas negociaciones con el ICE y con la municipalidad de Alajuela la planta entró en operación el 8 de diciembre de 1951 con una línea de transmisión de 20 km que entregaba 600 kW a Alajuela y el resto se destinaba a la ciudad de Heredia y alrededores.



Ilustración 16. Montaje de turbinas, planta hidroeléctrica Carrillos (1950)

Fuente: Escuela de Historia, UNA. La Transición energética en Costa Rica

En 1949 la Compañía Nacional de Fuerza y Luz realiza varias mejoras en las plantas Anonos y Belén pasando de 300 kW a 600 kW y de 3.750 a 5.000 kW respectivamente.

En 1949 se crea el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por un grupo de ingenieros liderado por Jorge Manuel Dengo. En 1955 el ICE construye la primer planta eléctrica de diesel llamada Colima en el distrito del mismo nombre en Tibás, dicha planta con una capacidad de 12.000 kW, sirvió para poner fin a la escasez de energía eléctrica sobretodo en los veranos cuando las plantas hidroeléctricas disminuían su potencia debido a la falta de lluvias. El ICE aumentó la capacidad de esta planta de 12.000 a 20.000 kW en el año 1961.

En 1958 el ICE construye la primera planta del llamado “Plan General de Electrificación de Costa Rica”, la planta hidroeléctrica La Garita ubicada en Turrúcares de Alajuela con una potencia de 30.000 kW (casi la totalidad de la capacidad de generación hidroeléctrica instalada en el país en ese momento que era de 36.700 kW); seguidamente se construyó en 1963 la planta hidroeléctrica río Macho ubicada en Paraíso de Cartago con una potencia de 30.000 kW, esta planta aumentó su capacidad por etapas hasta llegar a 120.000 kW.

En 1966 inició la construcción de la planta hidroeléctrica Cachí, la cual tuvo tres etapas de puesta en marcha, la primera con un generador de 34.000 kW, luego en 1967 la segunda unidad de la misma potencia y en 1978 la tercera unidad de la misma capacidad para un total de 102.000 kW.

En 1978 se inicia la construcción de la planta hidroeléctrica Arenal, ubicada en la zona de Tilarán Guanacaste, el embalse es hasta la fecha el más grande de Costa Rica con 2.000 millones de metros cúbicos de capacidad, en esta planta se generan 157.000 kW.

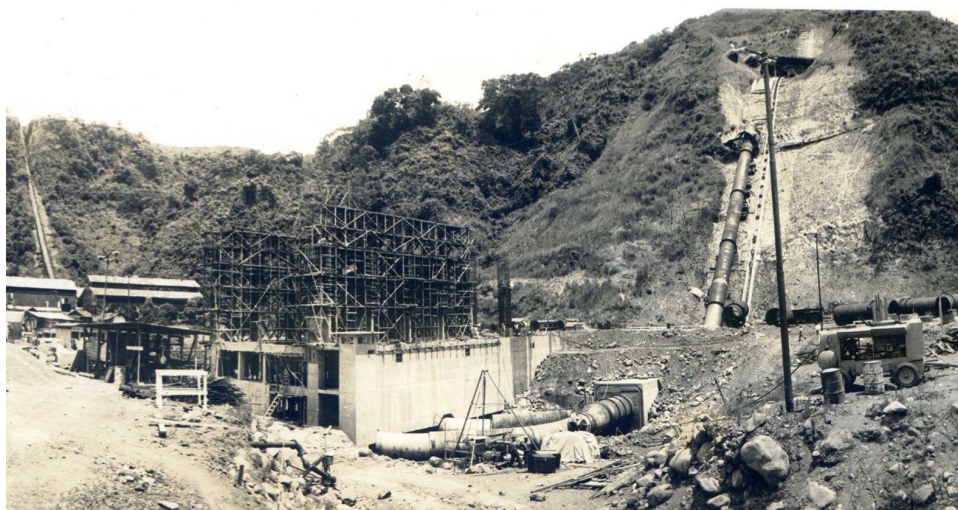


Ilustración 17. Construcción de la planta hidroeléctrica Cachí (1966)

Fuente: www.grupoice.com

Posteriormente, se inició la construcción de la planta hidroeléctrica Corobicí (renombrada Miguel Pablo Dengo, hijo de Jorge Manuel Dengo, quien murió durante la construcción de la planta) con una potencia de 174.000 kW y que entró en operación en 1982. Esta planta utiliza el agua turbinada de la planta hidroeléctrica Arenal.

En 1987 entra en operación la planta hidroeléctrica Ventanas-Garita también del ICE, la cual aprovecha las aguas de los ríos Virilla y Ciruelas de la cuenca del río Grande de Tárcoles, dicha planta cuenta con una capacidad de 97.300 kW.

Más recientemente el ICE construyó las siguientes plantas hidroeléctricas:

- Echandi en el año 1990 con una potencia de 4.700 kW.
- Sandillal (aguas abajo de Corobicí) en 1992 con 32.000 kW.
- Toro I en 1995 con 23.205 kW.
- Toro II en 1996 con 66.000 kW.
- Angostura en 2000 con 172.200 kW.
- Peñas Blancas en 2002 con 38.200 kW.
- Cariblanco en 2007 con 88.000 kW.
- Pirris en 2011 con 140.000 kW.
- Toro III en 2012 con 50.000 kW.
- Ampliación de Cachí en 2015 con 53.000 kW.
- Ampliación río Macho en 2016 con 20.000 kW.

Además el sistema nacional interconectado cuenta con las siguientes plantas hidroeléctricas por empresa, año de construcción y potencia:

Compañía Nacional de Fuerza y Luz

- Cote (2003): 7.000 kW.
- Daniel Gutiérrez (1996): 19.000 kW.
- El Encanto (2009): 8.000 kW.
- Balsa inferior (2015): 38.000 kW.

Empresa de servicios públicos de Heredia

- Jorge Manuel Dengo – Carrillos (1951): 2.500 kW;
- Los Negros (2006): 18.300 kW;
- Tacaes (2013): 6.800 kW.

Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago

- Birris I y III (1987): 16.000 kW.
- Barro Morado (1994): 1.600 kW.
- Tuis (2009): 1.900 kW.

Cooperativa de electrificación rural de San Carlos R.L.

- San Lorenzo (1997): 15.000 kW.
- Chocosuelas (1999): 28.000 kW.
- Cubujuquí (2012): 22.000 kW.

Cooperativa de electrificación rural de Guanacaste R.L.

- Canalete (2006): 18.000 kW.

Consortio nacional de empresas de electrificación de Costa Rica R.L.

- Sigifredo Solís (2010): 26.000 kW.

Principales generadores privados

- Doña Julia (1998): 16.000 kW.
- El General (2006): 39.000 kW.
- La Joya (2006): 54.000 kW.
- Torito (2015): 50.000 kW.

La energía hidroeléctrica en la matriz energética del país

Según la Dirección Sectorial de Energía del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) por medio del informe “balance nacional de energía para el año 2014” se determinó que el consumo total de la energía comercial de Costa Rica se divide en los siguientes rubros:

Transporte (59%), Industria (15%), Residencial (12%), Servicios (4%), Público (3%), Comercial (2%), Otros (3%).

Esta energía a su vez se clasifica por su fuente en: derivados del petróleo (59%), eléctrica (21%), biomasa (18%) y otros (2%) (ver **ilustración 19**).

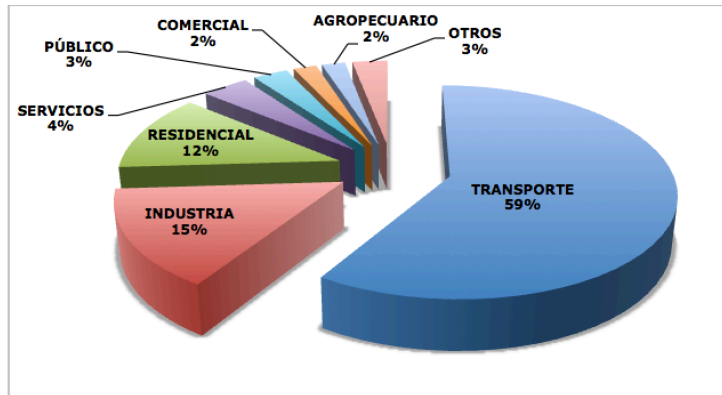


Ilustración 18. Consumo de energía comercial por sector en Costa Rica

Fuente: Dirección Sectorial de Energía, MINAE

La energía de los derivados del petróleo consiste en toda la gama de gasolinas, diesel, bunker entre otros que se utilizan para el transporte público, combustibles para aviones y barcos, inclusive para la producción de energía eléctrica.

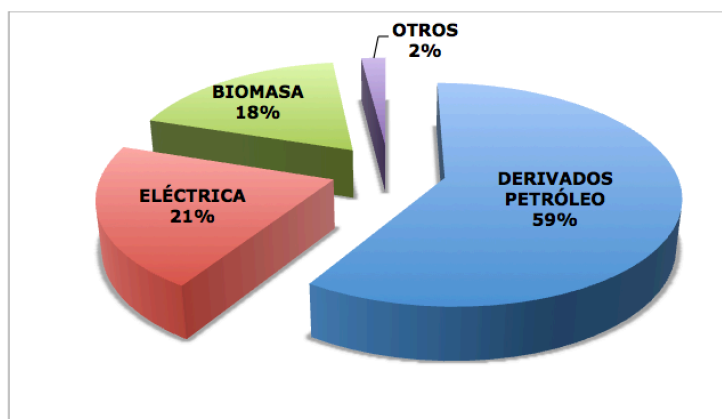
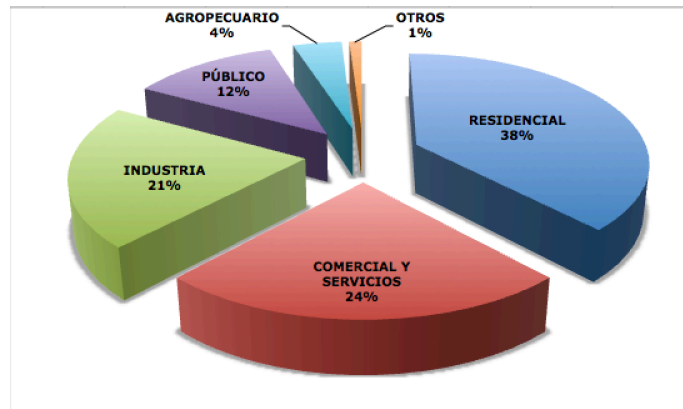


Ilustración 19. Consumo total de energía por fuente en Costa Rica

Fuente: Dirección Sectorial de Energía, MINAE

La biomasa residual de los procesos agroindustriales como el bagazo y la cascarilla de café aportó un 18% del consumo total de energía. Entre las aplicaciones más conocidas se tienen los hornos o calderas de procesos, la producción de gas metano, entre otros. (Dirección Sectorial de Energía, MINAE)

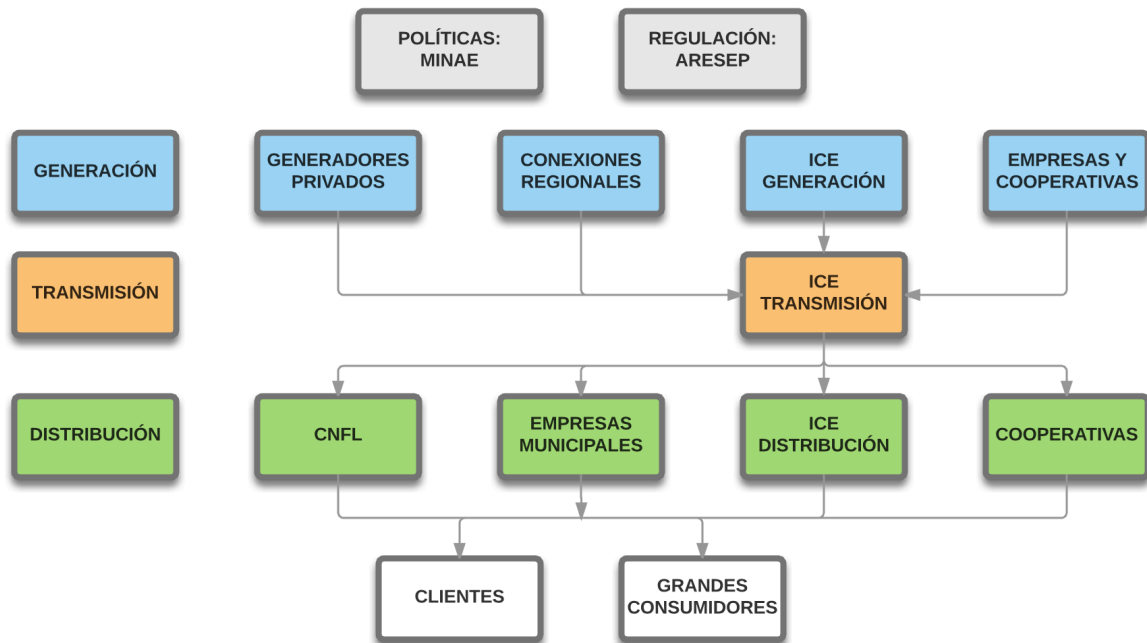
La energía eléctrica que se consume en Costa Rica se divide en residencial (38%), comercial y servicios (24%), industrial (21%), público (12%), agropecuario (4%) y otros (1%) (ver **ilustración 20**).



Ilustraci3n 20. Consumo de energía eléctrica por sector en Costa Rica

Fuente: Direcci3n Sectorial de Energía MINAE

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) est  conformado por los sistemas de generaci3n, transmisi3n y distribuci3n de energía. La generaci3n de electricidad en Costa Rica la realizan en conjunto el ICE con las siete empresas de servicio público municipal, cooperativas de electrificaci3n rurales y los generadores privados. En la **ilustraci3n 21** se muestra un esquema del SEN.



Ilustraci3n 21. Organizaci3n de mercado eléctrico de Costa Rica

Fuente: www.grupoice.com

En el SEN la energía eléctrica producida es igual a la consumida, esta no se puede almacenar, se controlan los niveles de voltaje y frecuencia del sistema.

Los agentes del mercado eléctrico de Costa Rica son los siguientes:

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Formula y coordina las políticas, los planes de Estado y los programas relativos al subsector eléctrico. Tramita y otorga los permisos y las concesiones referentes a la materia de generación y distribución. La Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena) es un órgano del MINAE que armoniza el impacto ambiental con los procesos productivos, analiza y resuelve las evaluaciones de impacto ambiental.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). Ente regulador de los servicios públicos. Regula la generación y la distribución, establece los precios, peajes y tarifas correspondientes.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Por ley es el único agente del mercado que puede comprar, transmitir y entregar energía a las empresas distribuidoras para los usuarios.

Las empresas de servicio público municipal y cooperativas que tienen distribución y generación de energía eléctrica son: la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), la Junta Administradora del Servicio Eléctrico de Cartago (Jasec), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH), la Cooperativa de Electrificación de San Carlos (Coopelesca), la Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste (Coopeguanacaste), la Cooperativa de Electrificación Rural Los Santos (Coopeasantos R.L.) Y Coopealfaroruz R.L.



Ilustración 22. Empresas del sector eléctrico en Costa Rica

Fuente: elaboración propia

En la **ilustración 23** se muestra como está distribuida la energía eléctrica en las diferentes zonas de Costa Rica por empresa distribuidora.

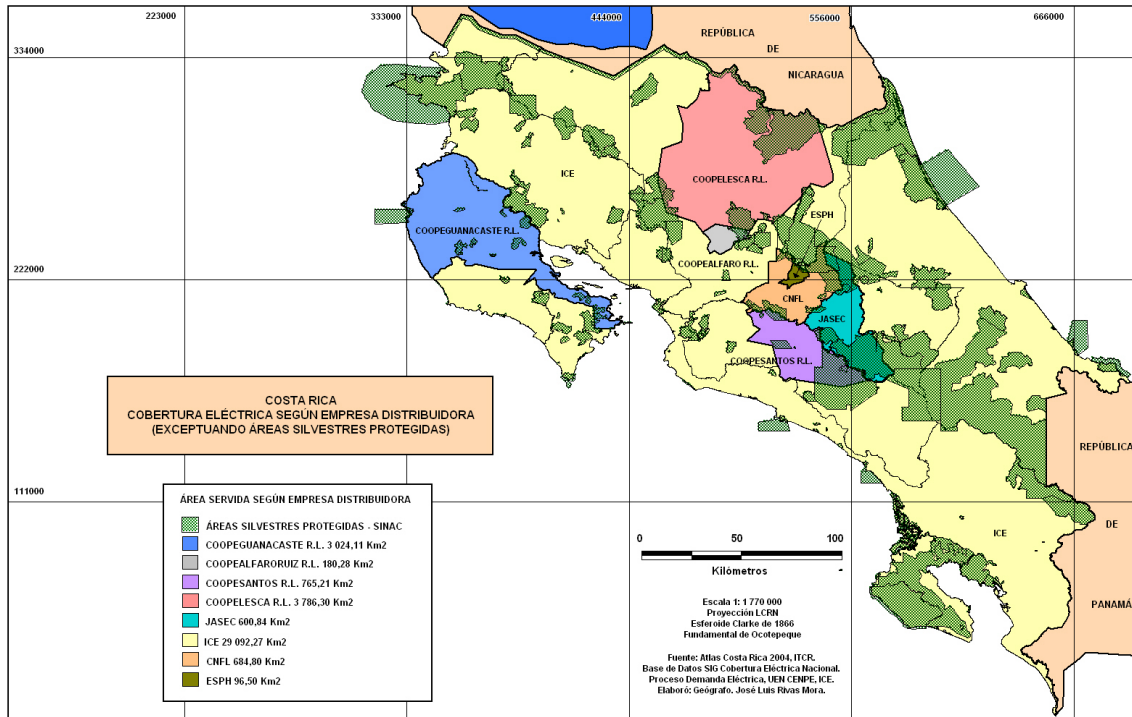


Ilustración 23. Cobertura eléctrica según empresa distribuidora

Fuente: www.grupoice.com

El sistema de generación tiene actualmente un total de 2.682.000 kW de capacidad instalada y cuenta con las siguientes fuentes de energía: hidroeléctrica (72%), geotérmica (13%), térmica (8%), eólica (5%), solar (1%) y biomasa (1%)

De esta capacidad instalada el ICE opera el 76% con plantas propias, un 13% pertenece a generadores privados y las empresas distribuidoras operan plantas que alcanzan el 11% de la capacidad total. Esta capacidad está en constante crecimiento dependiendo del Plan Nacional de Expansión de la Generación que administra el ICE y de la demanda del país.

En la **ilustración 24** se muestra los porcentajes de generación de energía eléctrica en Costa Rica por tipo de fuente.

La producción de energía geotérmica se genera a partir del aprovechamiento del calor que hay en el interior de la Tierra de aproximadamente 240°C que se presenta principalmente en las cercanías de los volcanes. En nuestro país el ICE maneja todas las plantas de este tipo: Miravalles I y II con 55.000 kW cada una, Miravalles III con 29.000 kW, Miravalles V con 19.000 kW y Pailas con 42.000 kW en la zona norte de Guanacaste.

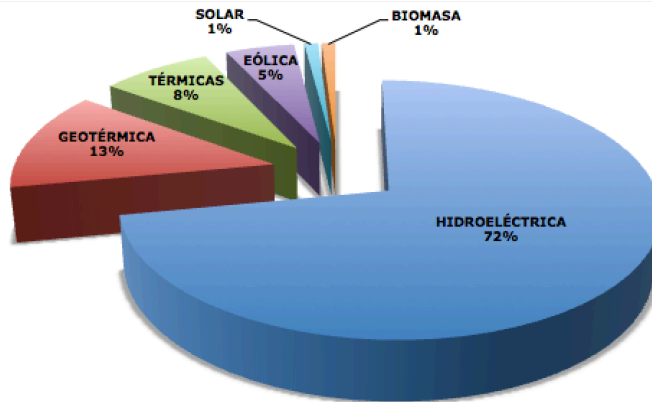


Ilustración 24. Generación de electricidad por fuente energética en Costa Rica

Fuente: www.grupoice.com

Las plantas térmicas realizan a partir de combustibles fósiles (carbón, diesel, bunker entre otros) el calentamiento de agua que genera vapor a muy altas temperaturas y presiones, lo que hace mover una turbina y posteriormente un generador. Al igual que la energía geotérmica el ICE maneja todas las plantas térmicas que hay en Costa Rica, entre las cuales se encuentran: Garabito con 200.000 kW y Moín con 229.000 kW.

Las plantas eólicas se generan con molinos de viento que funcionan como el primotor necesario para que el generador tenga la capacidad de producir energía. En Costa Rica existen los siguientes parques eólicos: Tejona (ICE) con 20.000 kW, Tierras Morenas (Privado) con 20.000 kW, Valle Central (CNFL) con 15.300 kW, Los Santos (Coopesantos) con 12.750 kW, Guanacaste (Privado) con 50.000 kW, Chiripa (Privado) con 50.000 kW entre otros.

La producción de energía eléctrica con biomasa es producto del uso de los desechos orgánicos para producir electricidad principalmente a partir de los residuos agropecuarios como caña de azúcar, palma, arroz, café y piña.

Entre los productores más grandes de energía eléctrica con biomasa están los ingenios Taboga con 19.000 kW, El Viejo con 18.000 kW y río Azul con 3.700 kW. Esta energía tiene una estacionalidad (periodo de zafra) que coincide con la época seca cuando las precipitaciones disminuyen y baja la producción de las plantas hidroeléctricas (ICE, 2014)

El ICE como agente de la energía eléctrica en Costa Rica

Costa Rica pertenece al Sistema de Integración Eléctrica para los Países de América Central (Siepac) que forma parte del tratado marco del mercado centroamericano suscrito por los seis países del istmo a finales de los años noventa. A diferencia de los otros países centroamericanos, Honduras y Costa Rica no tienen un mercado eléctrico abierto, es decir tienen un único agente de compra y venta de energía que en nuestro caso es el ICE.

El sistema de generación está organizado como un servicio público regulado, donde el ICE es el responsable por ley de procurar las necesidades de energía eléctrica que el desarrollo del país demande.

El ICE tiene la mayor cantidad de plantas de generación eléctrica, además se tienen contratos a largo plazo para comprar energía eléctrica a las siete empresas distribuidoras y a los generadores privados.

De este modo el ICE participa como agente único del sistema eléctrico costarricense en el Mercado Eléctrico Regional. Todo lo anterior es fiscalizado por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) velando por la calidad y los precios de la energía eléctrica.

Planificación de la demanda de energía eléctrica en el país

Desde 1990 hasta el 2006 la demanda de energía eléctrica creció a un ritmo anual promedio de 5,5%, a partir de 2007 la tasa de crecimiento se redujo y llegó a ser negativa en el 2009 producto de la desaceleración económica del país debido a los efectos de la crisis económica mundial. Al 2013 persisten estas condiciones deprimidas de crecimiento (aproximadamente 2%).

Con este panorama de crecimiento de la demanda de energía eléctrica se realizan los cálculos para determinar el número de plantas eléctricas a instalar en el corto, mediano y largo plazo, se analiza el tipo de fuente de generación de energía para asegurar el servicio que requiere el país, además de analizar la cantidad de energía eléctrica que se podría exportar e importar en el mercado eléctrico regional. Se estima que de hoy al 2025 se requieren 1.419.000 kW adicionales a los 2.682.000 kW existentes.

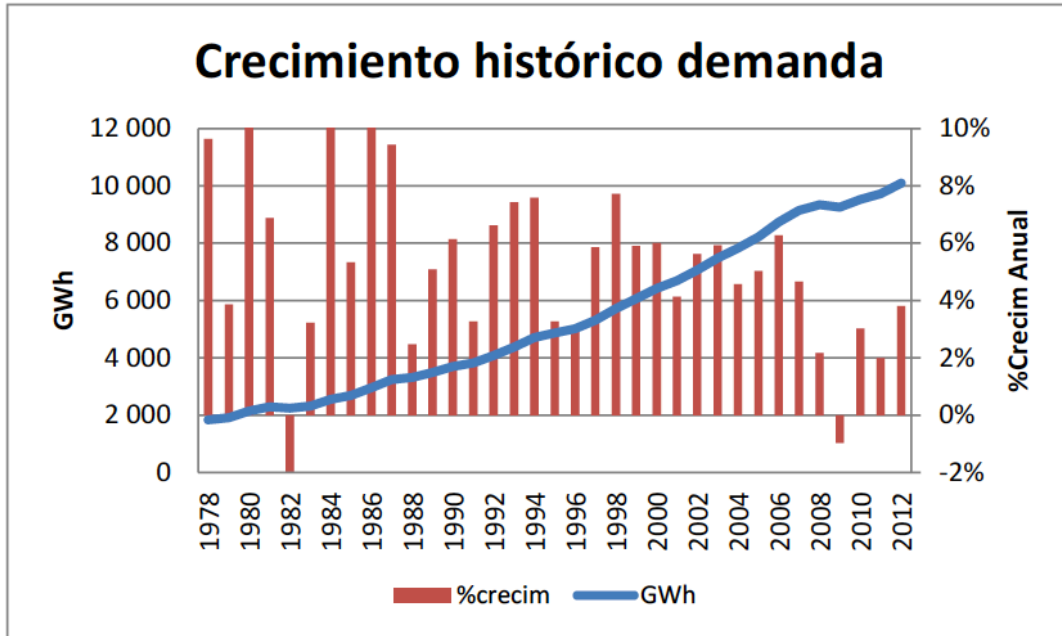


Ilustración 25. Comportamiento de la demanda en Costa Rica 1978-2012

Fuente: www.gupoice.com

Como política el país se ha dado especial énfasis a la construcción de plantas con energías renovables, dejando en segundo plano las que funcionan con combustibles fósiles que se usan cuando hay carencia de recurso hídrico y eólico según la temporada del año.

Generación de energía ESPH

Como se mencionó antes la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. es una de las siete empresas distribuidoras de energía eléctrica en el país.

Como se observó en la **ilustración 23** la ESPH es la empresa distribuidora con menor área de cobertura del país; sin embargo es la tercer empresa distribuidora en cuanto a demanda de energía eléctrica ver **ilustración 26**.

Los datos de demanda de energía eléctrica de la ESPH son los siguientes:

- Demanda máxima: 95,3 kW.
- Energía consumida: 564.000 kWh al año.

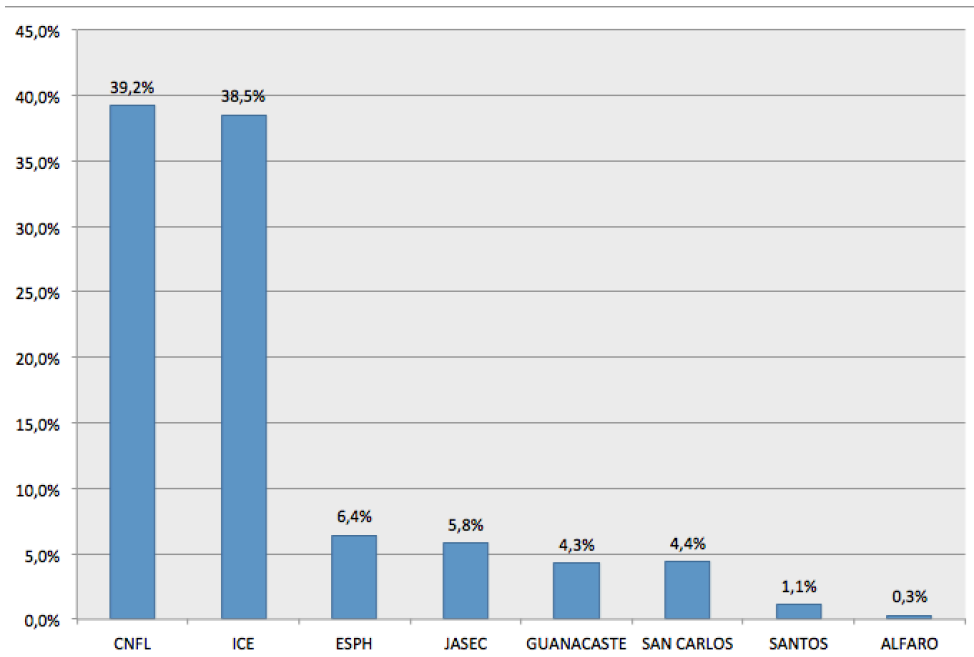


Ilustración 26. Demanda de energía eléctrica por empresa distribuidora

Fuente: www.grupoice.com

1.6. Perspectivas conceptuales

La gestión de activos es una técnica de gestión empresarial en la cual se realiza un diagnóstico de las organizaciones basado en una estructura de puntos que definen un adecuado manejo y mantenimiento de las partes productivas de una empresa.

Según la norma ISO-55000: “*Asset Management*” de la International Organization of Standardization (2014) se define un activo de la siguiente forma: “Algo que tiene valor potencial o actual para una organización, por ejemplo; terrenos, edificios, instalaciones, maquinaria, vehículos y otros elementos que generen lucro, de una u otra forma”.

Partiendo de lo anterior se define la estrategia de gestión de activos como: “Actividades y prácticas coordinadas a través de las cuales una organización administra de forma óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y gastos asociados, a lo largo de sus ciclos de vida con el propósito de lograr los objetivos estratégicos organizacionales”.

Estas definiciones hacen referencia a la importancia de los activos y los sistemas de activos funcionales dentro de las organizaciones, esta estrategia busca optimizar y dar más importancia a las cosas que realmente generan valor a los negocios.

Se tiene que hacer la aclaración de que este sistema de gestión no toma en cuenta el Plan Estratégico de la Organización (misión, visión, objetivos organizacionales), pero sí hace una alineación del objetivo que tienen los activos con lo esperado por las partes interesadas. Según esta estrategia lo que se requiere es verificar que la propuesta genere valor dentro de la organización, esta verificación se realiza por medio de indicadores tanto operativos como financieros y de recursos.

Contexto de la organización

Para este caso se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos del negocio en función de los objetivos organizacionales y específicos:

- a. Estado del negocio dentro del entorno organizacional.
- b. Estado de planificación de la gestión de activos (puede ir de incipiente a experta).
- c. Valoración de elementos de apoyo al negocio.
- d. Valoración del proceso operativo.
- e. Estado de la evaluación del desempeño.
- f. Análisis de los procesos de mejora.

Una vez analizados estos aspectos se debe continuar con el proceso de implementación el cual permitirá realizar las mejoras a los procesos.

Entender el negocio en su contexto organizativo

Se requiere hacer un análisis de los factores importantes relacionados con el contexto del negocio dentro de la organización.

Los factores internos que pueden influenciar en un negocio son:

- a. La propuesta de valor de la empresa.
- b. La misión y los objetivos.
- c. La naturaleza y la estructura de la organización.
- d. Las características de los recursos humanos.
- e. Políticas de administración de riesgos.
- f. La imagen de la empresa.
- g. Los activos físicos.
- h. La investigación y el desarrollo.
- i. Sistemas de información adecuados y procesos de toma de decisiones.
- j. Aspectos financieros.

Los factores externos que influyen en el negocio son:

- a. Las políticas regulatorias de servicios y financieras.
- b. Los clientes y la demanda de productos o servicios.
- c. Decisiones gubernamentales o políticas.
- d. Condiciones y políticas económicas.
- e. Aspectos socioculturales.
- f. Aspectos demográficos.
- g. Aspectos medioambientales.
- h. Aspectos tecnológicos y físicos.
- i. Influencias internacionales y regionales.

Se debe determinar si existe un alineamiento y consistencia entre los objetivos del negocio y de la organización, con los objetivos de la gestión de activos, documentando si los planes estratégicos y los planes tácticos individuales que se tienen actualmente son congruentes con los del sistema.

Determinar el alcance del sistema de gestión de activos

Para determinar el alcance del sistema de gestión de activos se debe definir el ámbito de aplicación, es decir, cuáles activos, sistemas e interdependencias (y en cual fase de su ciclo de vida, incluyendo los residuales en su fase de eliminación) se incluirán dentro del sistema, una vez determinado esto se realiza el registro de cada uno de ellos lo que se llamará el catastro de activos.

Después de haber establecido el alcance del sistema se tiene que proponer la adecuada interconexión y comunicación con las partes interesadas internas y externas; proveedores, autoridades regulatorias, consideraciones locales, regionales e internacionales, colaboradores, sistemas de calidad y medioambiente entre otros.

Sistema de gestión de activos

Un negocio depende de los procesos productivos, cada uno de ellos debe ser definido y especificado por áreas en el sistema de gestión de activos. Se requieren para este caso diagramas de flujo de todos los procesos con sus respectivas interacciones y tener todos los procedimientos necesarios en el sitio donde se encuentran para realizar cada fase y paso de los procesos.

Para integrar el sistema de gestión de activos a los procesos productivos se deben integrar las funciones y las actividades de la organización, calidad, contabilidad, seguridad, gestión de riesgo y recursos humanos.

Las funciones dentro del sistema de gestión de activos deben ser optimizadas para evitar realizar nuevos trabajos o propuestas y evitar al máximo la duplicación de actividades y datos. Con esta consideración se determina cuáles actividades priorizar para ser desarrolladas en primera instancia.

Para empezar el establecimiento del sistema de gestión de activos se debe establecer una política que ayude a identificar las intenciones del sistema, seguidamente se inicia el desarrollo del Plan Estratégico de Gestión de Activos.

Diagnóstico del negocio (autoevaluación)

Entre los pasos a seguir según la estrategia de gestión de activos se tiene que determinar el entorno organizacional, las actividades que actualmente se realizan y que cumplen con los requisitos de dicha estrategia, los recursos que se tienen actualmente, el proceso operativo, los métodos de evaluación del desempeño que actualmente se apliquen y si existe algún análisis e implementación de mejora continua.

Se tiene como objetivo principal de la estrategia mejorar la situación actual de los sistemas de producción por lo que se realizan las siguientes tres preguntas para cualquier tipo de implementación de estrategia.

- ¿Cuál es nuestra situación actual?
- ¿Hacia dónde queremos ir?
- ¿Cómo vamos a llegar?

Se requiere además conocer la composición actual de los costos en que se incurren para la operación y el mantenimiento de los activos. Los costos de personal, materiales, contrataciones, depreciación y facturación cesante que a su vez se dividen en directos, indirectos y administrativos. Lo anterior permite a los administradores de los activos corregir distorsiones y tener certeza en el establecimiento de metas en su gestión.

Determinación de ciclo de vida de los activos

La determinación del ciclo de vida de los activos se realiza partiendo del proceso de diseño y pasando por las fases de adquisición, puesta en marcha, seguimiento, gestión y eliminación de este. Se debe analizar cada una por aparte para obtener los resultados esperados desde el punto de vista de la estrategia de gestión de activos.

- Adquisición y puesta en marcha. El principio del ciclo de vida de los activos es su compra, la cual tiene un gran impacto en el potencial de crecimiento y rentabilidad de las compañías. Para gestionar buenas adquisiciones de activos se debe tener en cuenta la obtención de información para la toma de decisiones o adjudicaciones, el análisis debe tomar en cuenta la redundancia de equipos críticos en los sistemas.
- Seguimiento. Se debe tener especial cuidado en las tendencias de los activos durante su ciclo de vida, estas aumentan la eficiencia operacional y proporcionan herramientas para reducir costos. Para gestionar correctamente los activos se debe identificar claramente su localización y uso, control de eficiencia de los procesos, registros de datos como intervenciones, eventos y costos.
- Gestión. Se debe obtener el nivel más alto posible del producto o del activo. Para realizar una buena gestión del activo se deben cumplir las siguientes condiciones: un riguroso y sistemático sistema de mantenimiento que asegure la funcionalidad del activo, se debe monitorear la productividad del activo con respecto a los valores definidos durante su diseño y adquisición, tener un adecuado stock de repuestos y suministros necesarios para la continuidad del proceso productivo, contar con informes que contengan indicadores de gestión que sirvan para comparar los desempeños con el tiempo.
- Eliminación. La información adecuada y confiable de un activo tiene un impacto significativo en su valor de reventa. A la hora de eliminar un activo de un proceso se tienen las siguientes máximas: se tiene que vender, no desechar, el conocimiento del valor residual y su conservación pueden definir el mejor momento para su cambio o reforma, buenos avalúos de los activos permiten llegar a conocer el momento adecuado de su reposición.

Conocimiento y evaluación de criticidad de los activos

Para iniciar con esta actividad se tiene que realizar un catastro de los activos de los procesos con el fin de localizarlos, conocer sus características funcionales y sus registros de eficiencia, intervenciones, modos de fallas, averías de equipos y ejecución de mantenimiento.

Para este caso se debe realizar un análisis de criticidad integral de los activos determinando jerarquías y prioridades en las plantas de producción, generando una estructura de fácil entendimiento que ayude a la implementación de la estrategia.

Los activos se pueden definir en cualquiera de las siguientes formas: una pieza, un componente, un equipo, un sistema operacional, una unidad de proceso o servicio, familia de equipos, entre otros.

En este punto podemos clasificar los activos según la importancia que tienen en el proceso como sigue:

- **Clase A.** Equipo cuya parada interrumpe el proceso (o servicio), llevando a la facturación cesante.
- **Clase B.** Equipo que participa en el proceso (o servicio), pero que su parada por algún tiempo no interrumpe la producción.
- **Clase C.** Equipo que no participa del proceso.

Además de la clasificación de activos por criticidad de facturación se tienen que tomar en cuenta los riesgos de seguridad humana, pérdida de patrimonio y contaminación al medio ambiente. Como se muestra en la clasificación anterior habrán equipos periféricos que sean parte de la planta, pero que no son parte del proceso lo que hace que tengan un tratamiento diferente a los que sí pueden llegar a afectar la facturación, esto no significa que nunca se les dé el tratamiento adecuado.

Planificación estratégica de gestión de activos

Para lograr una estrategia que brinde resultados se debe contar con un comité que constantemente esté evaluando la correcta gestión de los activos utilizando técnicas adecuadas como análisis FODA, evaluación de tendencia de indicadores, niveles de obsolescencia tecnológica, cuestionarios a personal técnico y de planta entre otros.

Una de las principales funciones en la gestión de activos es definir las prioridades por medio de la consideración de los costos asociados a los trabajos y la criticidad de los activos dentro del proceso productivo, lo anterior clasificando las actividades que se tienen que ejecutar tomando en cuenta la calidad, la dificultad de la ejecución y los peligros involucrados en ella.

Se utiliza la técnica de las 4W y 1H (por sus siglas en inglés: What, Where, Why, Who y How), en esta fase las preguntas que deben hacerse y estructurarse son: ¿por qué se debe intervenir?, ¿en cuál equipo?, ¿qué tipo de intervención?, ¿quién va a hacerla? y ¿cómo hacerla? También resulta útil la aplicación de los cinco porqués con el fin de encontrar la causa raíz de las fallas en los activos.

Otra técnica muy conocida para la planificación es el diagrama de Ishikawa (mejor conocido como diagrama de pescado o de causa y efecto). En un principio este diagrama se usa para planes de control y seguimiento de la calidad, sin embargo es muy útil para realizar la planificación en la gestión de activos. En el cuadro de decisiones se orientan a las causas y efectos que hacen que un activo detenga sus funciones principales. Estas técnicas van generando historiales de los activos que tienen que ser registrados y almacenados de manera adecuada para las actividades de seguimiento y valoración de los activos.

Para evaluar la planificación y la ejecución de la gestión de activos debemos darle seguimiento al Retorno Sobre la Inversión (ROI) que la estrategia genere, este indicador debe ser parte de los informes de gestión de los procesos. El ROI debe ser analizado y revalorado después de optimizar las siguientes acciones del personal de planta:

- Desarrollo. Aumento de lucros sin aplicar más material.
- Productividad. Inversiones en proyectos que puedan bajar los costos de capital.
- Ahorro. Eliminar inversiones en ítems no estratégicos que no generan lucros que compensen la inversión de capital.

Otro punto a ejecutar en la gestión de activos es realizar una asociación entre el costo del ciclo de vida de los activos con el ROI definiendo los ciclos de lucro del activo. Para reforzar las actividades de planificación se implementa la técnica valores económicos a través de la optimización del ROI.

Esta técnica consta de seis etapas:

1. Identificar los principales procesos existentes.
2. Identificar las principales actividades existentes en cada proceso.
3. Obtener los costos y los recursos asociados a cada actividad (costo / actividad).
4. Identificar las actividades que no agregan valor al proceso (actividades secundarias).
5. Evaluar la influencia de las actividades secundarias en el proceso, o sea, identificar si pueden ser eliminadas o reducidas.

Evaluación de riesgos

Entre los aspectos a tomar en cuenta se debe hacer una evaluación de los riesgos de los equipos y sistemas de las plantas con relación al impacto o consecuencia que puedan producir tanto operacional como financieramente en la organización.

Lo principal en este punto es evaluar las consecuencias y las probabilidades de ocurrencia que tiene la gestión de un activo. Hay diferentes consecuencias desde las que no generan pérdidas económicas, pasando por las que generan contaminación al ambiente, las que sí generan pérdidas económicas y finalmente las que puedan generar accidentes o muertes. Esto es diferente a la criticidad que sólo tiene que ver con la facturación del negocio.

En este capítulo se realiza una contextualización del negocio de generación hidroeléctrica. Se parte desde los conceptos más básicos de la electricidad, pasando por los principales científicos y descubrimientos realizados en su mayoría en el siglo XIX y terminando en el desarrollo de la energía hidroeléctrica en el mundo y en Costa Rica hasta nuestros días.

Se realiza también una breve reseña de la clasificación de la energía en Costa Rica y la posición y la participación de la energía hidroeléctrica. Finalmente se detallan los conceptos relevantes de la gestión de activos y los principales requerimientos para su implementación, la cual se propondrá en los próximos capítulos de este trabajo.

Capítulo II. Descripción de la ESPH y del negocio de generación

El presente capítulo tiene como objetivo brindar una descripción detallada de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A., su historia, sus objetivos estratégicos que la contextualizan en su entorno y la describen según sus actividades.

A partir de esta descripción se detalla el funcionamiento de los negocios de distribución y generación de energía eléctrica puntualizando en la generación de energía. Se realiza una breve reseña histórica de la ESPH centrada en la historia de la producción de energía, la cual data de 1917.

Posteriormente se realiza una explicación de la ley constitutiva de la ESPH, su carácter de empresa regulada, sus negocios, ámbito de acción y estructura organizacional.

La información que se presenta es de carácter descriptivo y proviene de los informes de gestión de la empresa y reportes anuales que se realizan a la junta directiva y a los entes reguladores además de tomar en cuenta el Plan Estratégico de la ESPH para el periodo 2015 – 2024.

2.1. La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH) es una entidad constituida como sociedad anónima de utilidad municipal que administra los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, telecomunicaciones, distribución de energía eléctrica y alumbrado público en los cantones de San Rafael, San Isidro, Central y en algunos sectores de los cantones de Barva, Flores y San Pablo de Heredia (www.esph-sa.com).

Para el caso de la distribución de energía eléctrica, las compras de la ESPH se gestionan a través del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Esta energía se entrega en ciertas subestaciones (Heredia, Belén y San Miguel) destinadas a alimentar los circuitos eléctricos a las localidades citadas en el párrafo anterior. Esto por medio de todas las redes en media y baja tensión propiedad de la empresa.

Antecedentes e historia de la ESPH

Entre los años 1862 y 1886 el alumbrado público de la ciudad de Heredia, que era administrado por la policía, contaba con lámparas de candelas de cebo, candilejas de arcilla y finalmente las de gas. Las quejas por el servicio eran constantes, ya que fallaban constantemente. En esa época estaba en construcción la planta hidroeléctrica río Segundo a cargo del empresario Francisco Mendiola Boza, proyecto hecho para las municipalidades de Alajuela y Heredia (ICE, Historia Servicios Públicos de Heredia).

Antes de la finalización de la construcción de dicha planta se acordó que el Sr. Mendiola debía instalar lámparas de arco alimentadas por un dínamo que funcionaba con máquinas de vapor importados de Estados Unidos para ambas municipalidades. Se instalaron 70 lámparas de este tipo en los puntos en que la municipalidad de Heredia designó, entre los cuales se encontraba una en el parque central de la localidad.

La planta hidroeléctrica río Segundo se inauguró en abril de 1897 con esto se eliminaron todos los dínamos de las lámparas instaladas y se procedió a alimentarlas con la electricidad proveniente de dicha planta. En 1910 después de muchos problemas administrativos con el servicio de la planta río Segundo se determinó buscar una alternativa de construcción de una planta eléctrica que fuera propiedad de la municipalidad de Heredia.

La municipalidad en conjunto con el Ministerio de Fomento emitió un informe en el que se determinó que existía en San Rafael de Heredia un caudal de agua suficiente para producir una fuerza electromotriz de 200 kW suficiente para alimentar 100 lámparas incandescentes y 100 lámparas de arco a lo largo de la ciudad.

En julio del año 1915 se puso en operación la planta hidroeléctrica La Joya con dos generadores de 100 kW, esta planta daba energía eléctrica a 100 lámparas en el centro de la ciudad de Heredia y otras localidades. En el año 1920 se empezó a detectar que la demanda de iluminación iba en aumento y la planta no satisfacía las necesidades de los clientes. En 1924 se instaló un tercer generador marca Westinghouse de 225 kW; en 1930 se suscitaron los mismos problemas de abastecimiento por lo que se buscaron medidas para evitar el desabastecimiento.

En 1940 se decidió iniciar los trámites para construir una nueva planta de generación para abastecer a la ciudad de Heredia, esta planta ubicada en la confluencia de los ríos Virilla y río Segundo se llamaría planta hidroeléctrica “Ventanas”. Debido a la crisis económica originada por la Segunda Guerra Mundial el proyecto no se pudo llevar a cabo y se tuvo que tomar la decisión de no conceder nuevos servicios de calefacción o de fuerza motriz, los únicos servicios nuevos que se brindaban eran de iluminación residencial (cinco luces por casa), siempre y cuando otro abonado se hubiera retirado.

En 1944 se iniciaron los estudios para construir la nueva planta que resolvería el problema de abastecimiento de la ciudad, estos estudios se realizaron en Sarapiquí, Miranda y Poás de Alajuela, los cuales estuvieron a cargo del ingeniero Federico Gutiérrez Braun. Al final el mejor lugar para realizar la planta se determinó que era en Carrillos de Poás en la provincia de Alajuela donde se podían generar al menos 2.000 kW. Este proyecto aprovecharía las aguas del río Poás por medio de una presa, captando 2.000 metros cúbicos por segundo, con una caída de 120 metros y una potencia teórica de 2.350 kW.

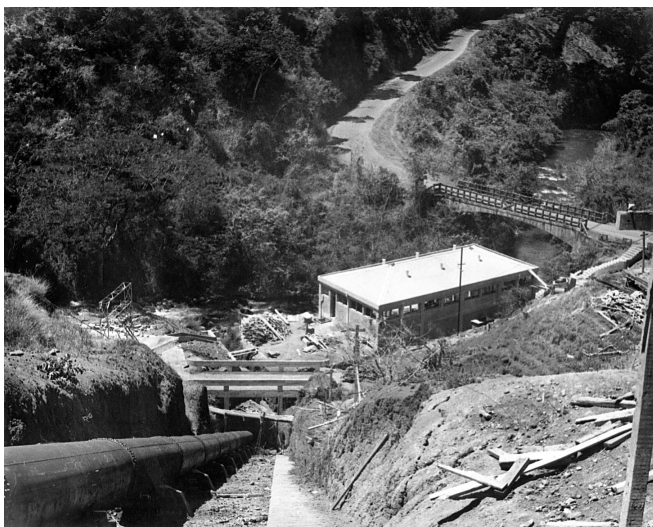


Ilustración 27. Construcción de planta hidroeléctrica Carrillos

Fuente: ICE, Historia de los servicios públicos de Heredia

La mayoría de la energía generada iba directamente a la ciudad de Heredia por una línea de transmisión de 20 kilómetros con un voltaje de 33.000 voltios, además los excedentes (alrededor de 600 kW) se entregaban en subestaciones del ICE en la ciudad de Alajuela. La construcción de la planta inició en 1947 bajo la responsabilidad del ingeniero Jorge Manuel Dengo, esta fue la primera planta construida en su totalidad por personal local sin la administración de extranjeros.

En enero de 1950 la municipalidad de Heredia fundó la Junta Administradora del Servicio Eléctrico de Heredia (JASEMH) con base en el Decreto de Ley 767. La JASEMH se fundamentaba en la conservación de las instalaciones de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y se constituyó para terminar de supervisar las obras de la nueva planta hidroeléctrica en Carrillos de Poás. La planta fue inaugurada oficialmente el 8 de diciembre de 1951 luego de realizar todas las pruebas correspondientes resolviendo el problema de abastecimiento eléctrico de la ciudad.

En el año 1955 se presentó un verano muy pronunciado que hizo que el caudal del río Poás disminuyera generando menos de la mitad de la potencia instalada, esto dio paso a que se negociara con el ICE la construcción de una línea de transmisión desde la recién inaugurada planta eléctrica de diesel Colima en Tibás para abastecer a la ciudad de Heredia en las horas en que Carrillos tenía que bajar potencia o parar del todo.

La ley constitutiva de la ESPH

En 1974 después de una grave crisis de abastecimiento de agua en la ciudad de Heredia por parte del servicio municipal, el Gobierno de la República con Daniel Oduber Quirós como presidente decretó que la municipalidad de Heredia traspasara temporalmente la administración, mantenimiento, control del acueducto y alcantarillado sanitario del cantón a la JASEMH) (ICE, Historia Servicios Públicos de Heredia).

Luego de este decreto en 1976 se fundó la Empresa de Servicios Públicos de Heredia por medio de la Ley 5889, del 25 de febrero, solucionando el problema del abastecimiento en cantidad y calidad del agua del cantón central. La nueva entidad asumiría la administración de todos los servicios de electricidad de la JASEMH, del alumbrado público hasta el momento administrado por la municipalidad de Heredia y de todos los servicios de abastecimiento de agua de los cantones de Heredia que quisieran adherirse.

El 28 de setiembre 1990 con la emisión de la Ley N.º 7200 se permitió la generación eléctrica autónoma o paralela, entendida como la producida por centrales de capacidad limitada (menores a 20.000 kW), pertenecientes a empresas privadas o cooperativas de electrificación rural que puedan ser integradas al sistema eléctrico nacional administrado hasta la actualidad por el ICE. Este marco legal le permitiría a la ESPH ampliar su capacidad instalada mediante el impulso de proyectos de generación eléctrica.

En 1998 mediante la Ley 7789 la ESPH se volvió una sociedad anónima transformándose en una empresa municipal que maneja recursos públicos, cuyo patrimonio está constituido por las municipalidades asociadas.

Esta ley determina lo siguiente:

- “Transfórmase la ESPH en una sociedad anónima de utilidad pública y plazo indefinido cuyo objetivo principal es administrar mediante traspasos los activos y servicios que tengan las municipalidades de la provincia de Heredia que por su propia voluntad y mayoría absoluta de sus Concejos deseen conformar parte de esta sociedad”.
- Faculta a la empresa a crear subsidiarias, alianzas o contrataciones con empresas nacionales o internacionales para el desarrollo de proyectos.
- La ESPH tiene un ámbito de acción de índole provincial, en donde debe educar en materia ambiental, conservar los recursos naturales, investigar y explotar racionalmente las fuentes energéticas.
- La ESPH está facultada para hacer alianzas con empresas nacionales y extranjeras, públicas y privadas, siempre obtendrá el 51% de las acciones.
- La ESPH tiene facultades de expropiar terrenos para el desarrollo de proyectos de interés público.
- Puede utilizar las vías públicas y cualquier área para instalación de obras de distribución y generación.
- La empresa puede negociar empréstitos con empresas nacionales y extranjeras sin autorización legislativa.

En la Ley 8345 del 2003 se hace la declaratoria de interés público las actividades de generación, distribución y comercialización de la energía eléctrica que realicen las cooperativas de electrificación rurales y empresas de servicios públicos municipales. Para el caso de los recursos energéticos, se promueve el uso de energías renovables.

También se determina en dicha Ley que los proyectos de generación eléctrica de las empresas y cooperativas deberán ser compatibles con el Plan Nacional de Energía, el cual es gestionado por el ICE.

Regulación y ámbito de acción de la ESPH

Aunque la ESPH es una sociedad anónima tiene un carácter municipal y administra servicios públicos, de esta forma es regulada por la Contraloría General de la República, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL) y la Superintendencia General de Entidades Financieras (SUGEF) al igual que las otras empresas municipales y cooperativas de electrificación rural (www.esph-sa.com).

Las tarifas de los servicios de la ESPH son aprobadas por la ARESEP bajo el principio de servicio al costo, basándose en la eficiencia económica, equidad social, sostenibilidad ambiental y conservación de los recursos. La ARESEP también vigila la calidad de los servicios mediante normas técnicas (www.aresp.go.cr).

La ESPH S.A. tiene aproximadamente 68.580 abonados en los siguientes sectores y con los siguientes servicios:

Servicio de agua potable, alcantarillado sanitario y energía eléctrica.

- Cantón Central.

Servicio de agua potable y energía eléctrica.

- Cantón San Rafael.
- Cantón San Isidro.
- Cantón Barva (sector Santa Lucía).
- Cantón de Flores.

Servicio energía eléctrica

- Cantón de San Pablo.

En la **ilustración 28** se muestra el detalle de la cobertura del servicio de distribución de energía eléctrica de la ESPH al ser esta la menor en área, pero la tercera en demanda y en clientes (detrás de la CNFL y el ICE) tal y como se mencionó en el apartado 1.5.5. (www.esph-sa.com).

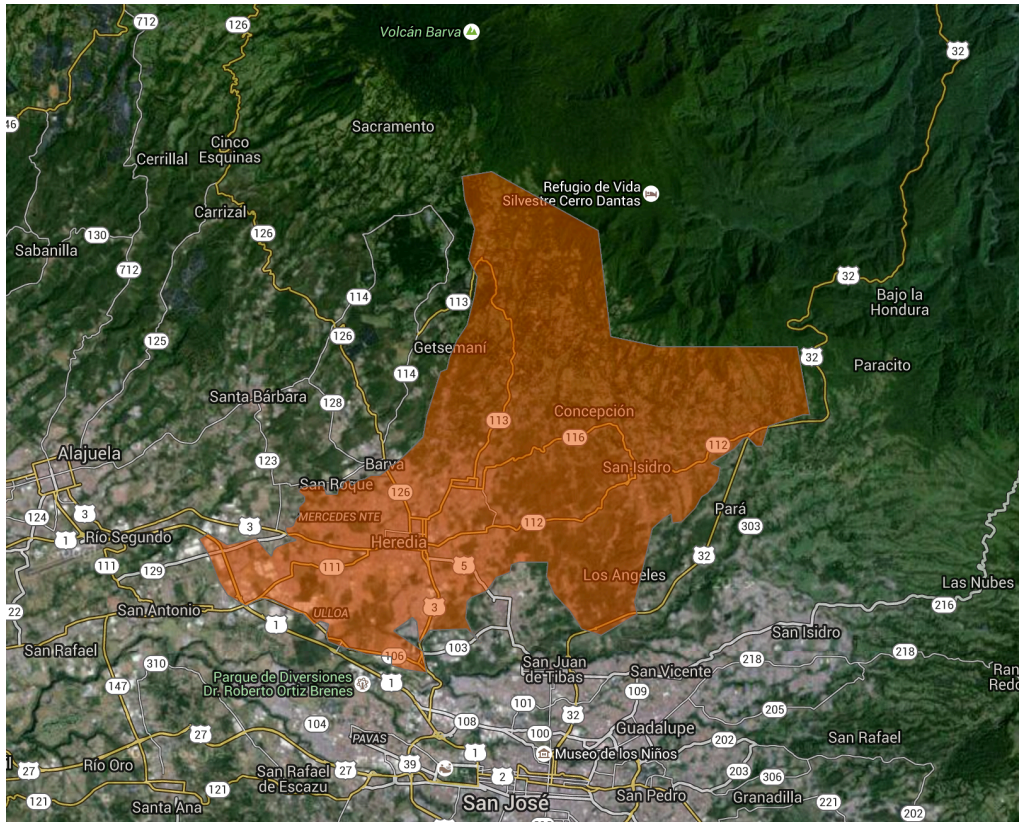


Ilustración 28. Área de cobertura de distribución de energía eléctrica

Fuente: www.esph-sa.com

2.2. Marco estratégico de la organización

En el año 2014 después de una revisión de todos los negocios, la estructura organizacional, las metas y los objetivos institucionales se estableció el Plan Estratégico de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. 2015-2024, en este se definen los siguientes principios fundamentales que identifican a la ESPH.

Misión

Somos una empresa que brinda servicios de calidad en el sector de agua, energía, saneamiento, telecomunicaciones y otros, que aporta valor y desarrollo a la sociedad mediante la mejora continua de su gestión.

Visión

Ser líder en servicios públicos que mejoren la calidad de vida de la comunidad, en armonía con el ambiente.

Valores

La ESPH se sustenta en cinco valores principales, los cuales se detallan a continuación:

- Integridad: "Somos honestos y leales en todo y con todos".
- Responsabilidad: "Cumplimos lo acordado a tiempo y con calidad".
- Compromiso: "Nos ponemos la camiseta de la ESPH con pasión".
- Trabajo en equipo: "Estamos unidos para crecer".
- Excelencia: "Hacemos con excelencia lo que otros hacen bien".

Propuesta de valor

Trabajamos para alcanzar nuevos retos por medio de una nueva estrategia empresarial, la cual abre las puertas a la competitividad y el crecimiento de nuestro compromiso con el cliente, ofreciendo servicios de calidad y continuidad.

Los clientes de la ESPH son su razón de ser, la empresa se debe a ellos, cualquier desviación a los servicios de calidad acordes con los requerimientos actuales debe ser revisada para obtener la mejora continua del servicio, esto hace que se consiga la competitividad requerida.

Perfil institucional

En la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. estamos comprometidos con la satisfacción de nuestros clientes y otras partes interesadas, mediante el cumplimiento de los requisitos legales aplicables y el mejoramiento continuo en nuestros servicios de energía eléctrica, alumbrado público, agua potable, hidrantes, alcantarillado sanitario y telecomunicaciones (ESPH, 2016)

2.3. Estructura organizacional

La ESPH cuenta con 5 unidades estratégicas de Negocios y 14 unidades de apoyo las cuales reportan a la Subgerencia y Gerencia General para luego llegar a los niveles más altos de Comité Ejecutivo, Junta Directiva y Asamblea de Accionistas. (www.esph-sa.com)

Organigrama ESPH

En la **ilustración 29** se muestra el organigrama general de la ESPH, este se divide en la junta directiva, en la alta gerencia y en las Unidades Estratégicas de Negocios (UEN) (www.esph-sa.com).



Ilustración 29. Organigrama general de la ESPH

Fuente: www.esph-sa.com

Para el caso de las Unidades Estratégicas de Negocios cada una de ellas cuenta con infraestructura y activos que son los que generan valor a la organización, entre estos activos se pueden mencionar los sistemas de bombeo, sistemas de tratamiento de aguas, subestaciones eléctricas, postería, transformadores comerciales y residenciales, turbinas, generadores entre otros.

Negocios de la ESPH

La ESPH cuenta actualmente con 626 colaboradores que se dividen en personal operativo y administrativo como se muestra en la **ilustración 30** . (www.esph-sa.com)

Como se puede observar en el gráfico la mayoría del personal pertenece a las Unidades Estratégicas de Negocios (79%), es decir a la parte operativa donde se administran los activos de la organización. De este porcentaje la mayoría pertenece a la Unidad Estratégica de Negocios de energía eléctrica con un 27% que implica 248 colaboradores.

DISTRIBUCIÓN DE PERSONAL POR ÁREAS

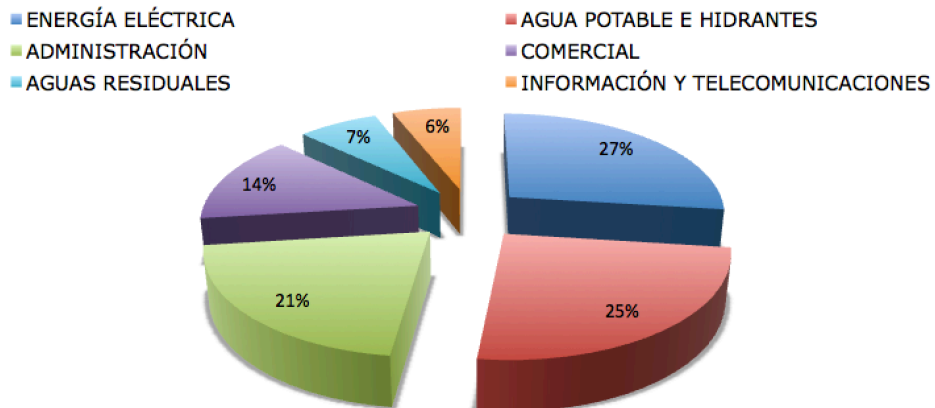


Ilustración 30. Distribución de personal por áreas

Fuente: . www.esph-sa.com

A continuación se muestran las principales características de la parte operativa de la ESPH:

Negocio de distribución de agua potable

Infraestructura:

- Tanques de almacenamiento: 41.
- Pozos profundos: 27.
- Fuentes: 30.

Negocio tratamiento de aguas residuales

Infraestructura:

- Cinco plantas de tratamiento, cuatro de ellas son de la tecnología “lodos activados en aireación extendida” y la faltante es una laguna de oxidación.
- Tubería instalada: 163,5 km.

Negocio de telecomunicaciones

Servicios:

- Enlaces dedicados.
- Enlaces de internet.
- Alquiler de postera para telecomunicaciones.
- Implementación y mantenimiento de sistemas de video vigilancia.
- Servicios administrados.

La UEN energía eléctrica tiene tres negocios:

- Distribución.
- Alumbrado público.
- Generación.

Según información suministrada por el Ing. José Francisco Hidalgo, director de la UEN energía eléctrica, aunque las tres actividades están relacionadas entre sí, el ente regulador (ARESEP) ha solicitado que cada una de ellas esté separada en negocios aparte lo que hace que cada una sea autosuficiente con sus recursos y con las tarifas definidas por dicho ente regulador.

En el **Anexo 1** se muestran más detalles de la dimensión de los negocios de la ESPH en cuanto al volumen de agua y la energía eléctrica.

Negocio de distribución de energía eléctrica y alumbrado público

Como se comentó anteriormente la distribución de energía eléctrica y el alumbrado público fueron los inicios de la ESPH (otrora JASEMH). Desde principios del siglo XX se ha dado a la tarea de abastecer a los clientes de las ciudades de Heredia que se han adherido a sus servicios.

Desde la incipiente iluminación en las áreas comunes de la ciudad hasta el abastecimiento de energía a las pequeñas y medianas empresas de la zona, terminando con la electrificación de todas las zonas comerciales y residenciales el principal negocio de la ESPH es la energía eléctrica.

La infraestructura de la distribución y alumbrado es la siguiente:

- Distancia de circuitos primarios en 34,5 kV: 585 km.
- Subestaciones: 4 (Heredia, Belén, San Miguel y Concepción).
- Cantidad de luminarias de alumbrado público: 14.190.

Según la información suministrada por el Ing. Hidalgo, la energía necesaria para la distribución en la ciudad de Heredia es entregada por el ICE en las subestaciones Heredia, Belén y San Miguel. Esta energía es comprada por la ESPH por medio de la tarifa al servicio de distribución T-SD (venta de energía a empresas municipales y cooperativas de electrificación rural) la cual es definida por la ARESEP.

La organización de la UEN energía eléctrica se muestra en la **ilustración 31**.

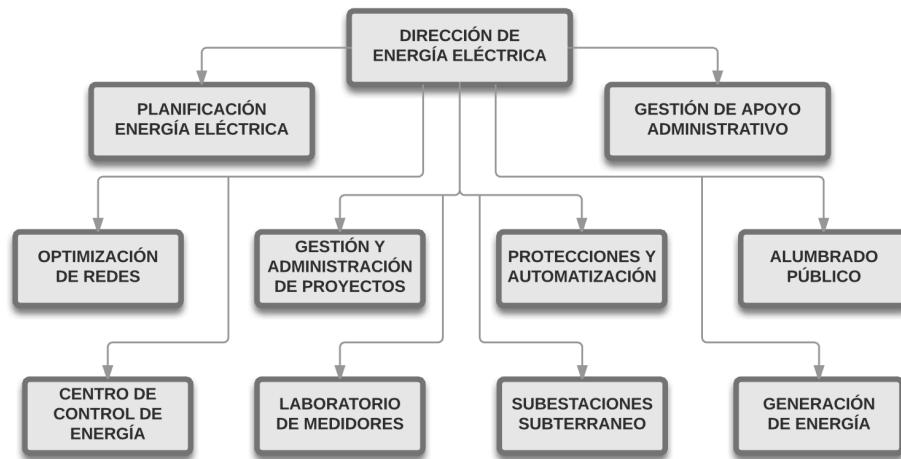


Ilustración 31. Organigrama UEN energía eléctrica

Fuente: www.esph-sa.com

Negocio de generación de energía de eléctrica

Según el Ing. Hidalgo para el caso de la generación de energía eléctrica se tienen las siguientes plantas en operación.

Planta Hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo Obregón

- Inicio de operaciones: diciembre 1951.
- Ubicación: Carrillos de Poás, Alajuela.
- Potencia: 2.500 kW.
- Energía anual: 18,4 GWh.



Ilustración 32. Planta hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo

Fuente: elaboración propia

Planta Hidroeléctrica Los Negros

- Inicio de operaciones: abril del 2006.
- Ubicación: Aguas Claras de Úpala, Alajuela.
- Potencia: 18.300 kW.
- Energía anual: 69,7 GWh.



Ilustración 33. Planta hidroeléctrica Los Negros

Fuente: elaboración propia

Planta Hidroeléctrica Tacaes

- Inicio de operaciones: setiembre 2013.
- Ubicación: Tacaes de Grecia, Alajuela.
- Potencia: 6.800 kW.
- Energía anual: 33,0 GWh.



Ilustración 34. Planta hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo

Fuente: elaboración propia

Inversamente a la distribución, toda la energía eléctrica producida por las plantas de generación eléctrica se entrega en las subestaciones del ICE más cercanas a cada planta. Para el caso de las plantas Jorge Manuel Dengo y Tacaes la energía se entrega en la subestación Poás en Alajuela y para el caso de la planta Los Negros la energía se entrega en la subestación Miravalles ubicada en Bagaces de Guanacaste.

El ICE a su vez puede utilizar esta energía no consumida por la ESPH para suplir la demanda del resto del país minimizando la utilización de la generación térmica contaminante procedente de los combustibles fósiles.

El negocio de generación establece el concepto de costo evitado de compras de energía que consiste en desarrollar y operar las plantas hidroeléctricas con lo que se permite a la ESPH sustituir las compras de energía y potencia al ICE en los periodos cuyo costo es el más alto por generación propia a más bajo costo con las tarifas vigentes que define la ARESEP.

Estos periodos se definen como pico (de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00), valle (de 6:00 a 10:00 y de 12:30 a 17:30) y nocturno (de 20:00 a 6:00). El consumo más significativo de energía a nivel país es en el periodo pico por esta razón la energía es más costosa en dicho periodo y también es mejor pagada para las empresas que pueden generar electricidad.

En estos momentos la tarifa tiene los siguientes montos.

Tabla 1. Cargo por energía (cada KWh)

PERIDO	MONTO
Pico	¢ 48,7
Valle	¢ 39,9
Nocturno	¢ 34,1

Fuente: www.aresp.go.cr

Tabla 2. Cargo por demanda (cada KW)

PERIODO	MONTO
Pico	¢ 2.616
Valle	¢ 2.616

Fuente: www.aresp.go.cr

La **ilustración 35** detalla cómo se realiza el proceso del costo evitado de energía con sólo la planta hidroeléctrica Los Negros, la curva de demanda de energía eléctrica diaria se sustituye por energía producida por las plantas quedando una curva menor que representa la energía que no se consumió y que representa un descuento en la factura mensual por compras de energía al ICE.

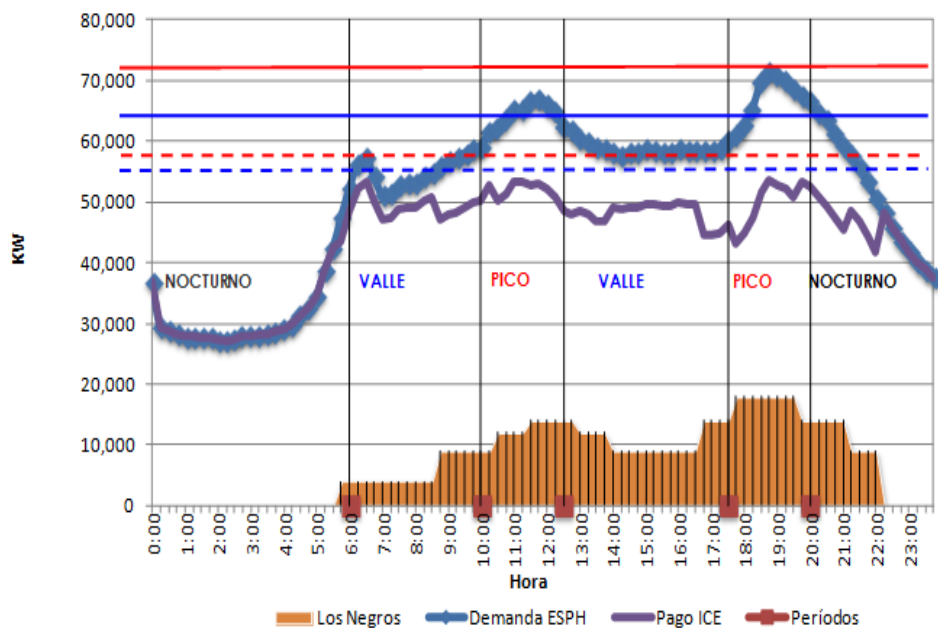


Ilustración 35. Curva de demanda diaria con efecto de plantas

Fuente: elaboración propia

Los 27.600 kW de potencia y los 121,1 GWh de energía producidos entre las tres plantas generan los siguientes porcentajes de costo evitado en la factura del ICE:

Costo evitado por cargo de energía: 20,2%.

Costo evitado por cargo de potencia: 28,6%.

Perspectivas del negocio a mediano y largo plazo

El negocio de generación está en pleno crecimiento en la ESPH. Según comenta el Ing. Víctor Jiménez, de la unidad de gestión de proyectos de la UEN energía eléctrica de la ESPH S.A., en estos momentos se tiene en construcción el proyecto hidroeléctrico Los Negros II con una capacidad de 28.000 kW y se encuentra en proceso de factibilidad el proyecto eólico El Quijote de 36.000 kW, con estas nuevas plantas la potencia aumentaría en un 200%, es decir, en los próximos años se aumentaría de 27.600 a 91.600 kW la potencia instalada de la ESPH S.A.

Si estos proyectos funcionaran actualmente el porcentaje de costo evitado sería del 95% lo que quiere decir que en algunos meses se pagaría al ICE solo un 5% de la energía necesaria para su distribución. Para este caso hay que tomar en cuenta que este porcentaje puede cambiar si hay variaciones en el crecimiento que se pueda tener en la parte de clientes industriales, comerciales y residenciales de la empresa.

2.4. Actividades de gestión de activos en el negocio de generación de la ESPH

La gestión de activos proporciona una estructura para administrar los activos físicos que generan utilidades a la organización, para este caso se delimitará el alcance a los equipos necesarios para la continuidad del negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH.

Según el criterio técnico del Ing. Adriano Jiménez, encargado del mantenimiento del Departamento de Generación de Energía Eléctrica de la ESPH S.A., para realizar la implementación de sistema de gestión de activos se abordan los siguientes aspectos de una organización: los objetivos de la gestión de activos, el ciclo de vida de los activos (adquisición, seguimiento, gestión y eliminación) y la evaluación de la criticidad de los activos.

Objetivos de la gestión de activos

El Ing. Jiménez apunta que la gestión de activos involucra el equilibrio de costos, oportunidades y riesgos a través del desempeño deseado, para lograr los objetivos organizacionales. Este equilibrio es considerado en diferentes contextos.

La gestión de activos orienta a una organización para examinar la necesidad y el rendimiento de los activos y sus sistemas en diferentes niveles. Además, orienta la aplicación de los enfoques analíticos a la gestión de activos en las diferentes etapas de su ciclo de vida.

Los principales objetivos de la gestión de activos son:

- a. Reducir el riesgo incluyendo los impactos de las fallas de los activos y de las actividades de gestión y logro de objetivos.
- b. Alargar la vida del activo.
- c. Gestionar los costos del ciclo de vida del activo (inversión, operación y mantenimiento).
- d. Monitorear el desempeño de los activos relacionados con sus resultados esperados.
- e. Optimizar el mantenimiento y el capital de los programas de mejora
- f. Minimizar los gastos imprevistos al contar con una planificación adecuada.
- g. Maximizar el conocimiento de los activos de la organización.
- h. Desarrollar un adecuado control financiero del proceso mediante el retorno sobre la inversión.

Actividades del ciclo de vida de los activos

- Adquisición

Según el criterio de los ingenieros Víctor Jiménez y Adriano Jiménez la adquisición de un activo es una de las principales actividades de la gestión de activos. Actualmente los procesos de compra se han vuelto muy estrictos en la organización, ya que tienen un profundo impacto en el potencial de crecimiento y rentabilidad de la empresa. Los carteles de licitación para la adquisición de un activo se diseñan de forma que haya un balance entre la calidad, la asistencia técnica, la facilidad de adquisición de repuestos y la actualización tecnológica.

Uno de los aspectos que se cuidan con mucho detalle es el análisis de los diseños con equipos redundantes donde sea requerido, es decir, tener dos equipos que hagan el mismo trabajo y que al fallar uno, no se pierda la producción del sistema. Otros aspectos que se toman en cuenta son el tiempo en operación de los activos, el consumo de energía, la facilidad de mantenimiento, el stock de repuestos con máximos y mínimos, la capacitación del personal y el posible valor residual.

Lo anterior genera un control importante a la hora de realizar la adquisición de los activos, de esta manera se evalúan los proveedores por el cumplimiento de lo que se estipula en las especificaciones técnicas de los carteles pudiendo sancionar a alguno de ellos eliminándolo del registro de proveedores de la organización.

Esta función se desarrolla en conjunto con el personal técnico del Departamento de Generación, la Unidad de Gestión de Proyectos de Energía Eléctrica (quienes son los que definen la necesidad de compra de activos según los objetivos y metas de la organización) y la Proveeduría Institucional de la ESPH, asegurando la calidad de los activos y el soporte en la operación de estos.

Este proceso toma en cuenta el contenido presupuestario que se tenga, ya sea por recursos propios de las utilidades del proceso o vía financiamiento con entidades bancarias. Esto depende de los montos que signifiquen estas inversiones y de los refrendos de las autoridades reguladoras como la ARESEP y la Contraloría General de la República. Esto hace que el objetivo para el cual se está adquiriendo, que es generar valor a la organización no se vea comprometido, cerciorándose de que la rentabilidad establecida a la hora de adquirir un activo sea la planificada previamente.

- Seguimiento

Una vez adquirido el activo se le da seguimiento y se identifican las tendencias de funcionamiento, esto permite aumentar la eficiencia operacional y proporcionar las herramientas para reducir costos.

Según el Ing. Jiménez la primera actividad en este sentido es realizar un levantamiento y base de datos de la localización y uso de los activos que serían controlados. Entre los datos importantes a tomar en cuenta se tienen: la finalidad (mejora de un sistema existente o implementación de uno nuevo), el área de competencia, su función específica, documentos, fechas de adquisición e intervenciones, costos, materiales asociados y variables medibles.

Se han implementado mecanismos de recolección y registros de intervención de los activos, eventos, tiempos, recursos y costos que ayuden a controlar el seguimiento de los activos. En este caso se realizan lecturas de variables físicas como temperaturas de operación, caudales, variables eléctricas entre otros.

En esta actividad se involucran las divisiones de operación y mantenimiento del Departamento de Generación, todos los días hay al menos tres registros del estado de los activos por parte del Área de Operación, si alguna variable está fuera de los rangos previamente establecidos como seguros o normales se envía una orden de trabajo al Área de Mantenimiento para planificar la intervención del activo.

- Gestión

Según el Ing. Jiménez se ha detectado en la organización que la utilidad o retorno sobre la inversión que se espera de un activo se puede perder cuando no se obtiene el nivel más alto posible de su uso. El mantenimiento preventivo (por tiempo) ha sido sustituido por el mantenimiento predictivo (por la condición del equipo)

El mantenimiento de los activos es estructurado, las inspecciones y mediciones de los activos deben ser cumplidas rigurosa y eficientemente, los resultados se registran y se procesan definiendo el momento adecuado para realizar la intervención necesaria.

En la división de mantenimiento del Departamento de Generación se ha implementado un seguimiento a la productividad del personal, es decir, el tiempo en que se desarrollan actividades para las cuales el personal fue contratado. En algunas ocasiones se ha encontrado con valores inferiores a 50%, lo que hace readaptar las funciones dependiendo de las actividades de mantenimiento que estén pendientes.

Este seguimiento de la productividad del personal en ocasiones indica faltante de personal para realizar las labores necesarias para obtener la continuidad del proceso. Es en estos casos en los que se realizan contrataciones externas (*outsourcing*). Se realizan contrataciones de servicios muy especializados y de muy alto nivel técnico siempre y cuando no haya disponibilidad de tiempo ni de capacidad para realizarlos dentro de la organización.

Uno de los aspectos más importantes en la gestión de activos es el de los repuestos y suministro de materiales. En ocasiones se ha encontrado dentro de la organización un stock innecesario tanto a nivel de repuestos y materiales como de equipos que fueron reemplazados, en este caso se gestiona que sean eliminados para generar ahorro en costos de almacenamiento. Paralelamente se hace una actualización de los repuestos estratégicos y críticos para evitar una pérdida de productividad.

- Eliminación

Las actividades anteriores hacen que exista información exacta y confiable del activo generando información importante para determinar su valor de reventa, se conoce el valor residual del equipo que ayuda a definir el mejor momento para su cambio o modernización. Según el Ing. Jiménez un equipo bien mantenido apoya con su venta el costo de reposición o el desarrollo de nuevas tecnologías para el proceso.

Evaluación de criticidad de los activos

Según el Ing. Adriano Jiménez la criticidad de un activo se define como la importancia de un equipo o instalación en un proceso productivo, en este caso la generación de energía eléctrica.

En el capítulo I se clasificaron los activos según la importancia que tienen en el proceso de la siguiente forma:

- **Clase A.** Equipo cuya parada interrumpe el proceso (o servicio), llevando a la facturación cesante.
- **Clase B.** Equipo que participa en el proceso (o servicio) pero que su parada por algún tiempo no interrumpe la producción.
- **Clase C.** Equipo que no participa del proceso.

Tomando en cuenta lo anterior se realizan las identificaciones de las clases o criticidades de los activos la cual se hace en conjunto entre operación y mantenimiento, teniendo mayor peso la clasificación hecha por operación.

Una vez que se hizo el análisis de criticidad se establecen las estrategias de intervenciones a los equipos así como las prioridades y las actividades de mantenimiento, ya sea por tiempo o por condición del equipo.

Para los equipos clasificados como “**A**” los mantenimientos predictivos son rigurosamente ejecutados en la medida de lo posible y con las prioridades según la importancia del equipo, no puede haber mucho tiempo en la ejecución de las actividades de mantenimiento, ya que puede haber daños o fallas que no se detectan con facilidad.

Para los equipos clasificados como “**B**” se realizan mantenimientos preventivos por condición como monitoreo y reparaciones menores y el tiempo de intervención puede alargarse. En los activos tipo “**C**” no se necesita mantenimiento preventivo, la reparación se dará cuando falle el activo.

Planificación para alcanzar los objetivos de la gestión de activos

El Departamento de Generación implementa en esta planificación el análisis de criticidad de los activos con sus respectivas desviaciones a lo largo del ciclo de vida de cada activo. En este análisis se identifican los equipos y los sistemas a incluir, se consideran y ponderan los siguientes factores:

- Disponibilidad y confiabilidad requerida para el sistema o equipo.
- Impacto en la falla, en la seguridad de las personas e instalaciones.
- Impacto de la falla al medio ambiente.
- Impacto operacional: pérdidas por lucro cesante, multas, horas hombre.
- Tiempo medio para reparar la falla.
- Costos asociados a las reparaciones.

En la planificación de gestión de activos se toma en cuenta el grado de dificultad para la operación, el mantenimiento y las inversiones en mejoras como revisiones periódicas, renovaciones, sustituciones entre otras, así como las consideraciones financieras asociadas basadas en las actividades anteriores.

Una vez aplicados los conceptos de criticidad se realiza la clasificación de prioridades de las actividades relacionadas con el mantenimiento de los activos:

- Emergencia. El mantenimiento debe ser realizado inmediatamente después de detectada su necesidad.
- Urgencia. El mantenimiento debe ser hecho lo más temprano posible, de preferencia sin sobrepasar las 24 horas, después de detectada su necesidad.
- Necesario. Mantenimiento que puede ser postergado por algunos días, mientras que su ejecución no debe sobrepasar una semana.
- Deseable. El mantenimiento puede ser postergado por algunas semanas (no más de 4 o 5), cuidar que no sea omitido.
- Prorrogable. El mantenimiento puede prorrogarse por más tiempo, inclusive puede dejar de ser ejecutado.

Actualmente el Departamento de Generación determina las prioridades de las actividades de mantenimiento o mejoras considerando los costos asociados al tiempo en que se realice el trabajo y la criticidad de los equipos dentro de los procesos productivos, tomando en cuenta los periodos en los que se pueden hacer los trabajos.

El personal de operación y mantenimiento aplica la clasificación del índice de gastos de mantenimiento el cual se genera por la multiplicación de dos números, uno que clasifica los equipos y otro que clasifica las actividades que se van a ejecutar.

El número que clasifica el equipo se determina por la evaluación de factores como la capacidad, la eficiencia o la criticidad del equipo, generalmente designado con los números 1, 2 y 3, siendo 1 el menos crítico y 3 el más crítico.

El número que clasifica a la actividad se determina por la evaluación de los costos asociados a las pérdidas de producción, factores de dificultad de la ejecución y peligros involucrados en ella. Se clasifican del 1 a 10 para todas las actividades o trabajos de acuerdo a su importancia y propósito conforme a la siguiente lista:

1. Trabajos de rutina de orden y limpieza.
2. Trabajos para mantener las condiciones y la apariencia de las instalaciones.
3. Trabajos dirigidos a la reducción del costo de operación y mantenimiento de los equipos.
4. Proyectos de mejoras de equipos de pequeño a mediano tamaño y trabajos de seguridad que no necesitan ser considerados como urgentes.
5. Trabajos asociados a la eliminación de una falla recurrente, la cual no es crítica y puede ser tolerada por operaciones mientras se ejecuta el trabajo.
6. Trabajos de mantenimiento preventivo o actividades que contribuyan al buen funcionamiento de los equipos.
7. Trabajos asociados a fallas de los equipos.
8. Una situación donde exista un alto potencial de lesiones o exposición.
9. Trabajos asociados con fugas.
10. Trabajos asociados con eventos que tienen peligro a la vida de las personas, situaciones donde una parada de la planta es inminente.

Finalmente se obtiene una matriz de prioridades como la mostrada en la **Tabla 3** de abajo donde se zonifican las regiones de prioridades en:

1. Emergencia (zona roja).
2. Urgencia (zona anaranjada).
3. Necesario (zona amarilla).
4. Deseable (zona celeste).
5. Prorrogable (zona verde).

Tabla 3. Matriz de prioridades de las actividades de gestión de activos

Tipo de trabajo	Peligro de vida o a la salud	Fugas	Lesiones o exposición	Fallas de equipos	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo no crítico	Proyectos de mejora y seguridad	Reparación de costos oper. y mantenimiento	Mantenimiento de condiciones y apariencia	Rutinas y limpieza
Clase equipo	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
3	30	27	24	21	18	15	12	9	6	2
2	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Fuente: Departamento de Generación ESPH

2.5. Descripción de estrategia actual de gestión en la organización

La producción de las plantas hidroeléctricas miden su desempeño en la continuidad de sus activos, todas las instalaciones y equipos de la planta operan, por lo general, en serie y tienen que funcionar de manera sincronizada para lograr el objetivo principal: generar el costo evitado de la factura de compras de energía que se hace al ICE para la distribución.

Descripción del proceso operativo

Para el caso del negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH se tienen los siguientes objetivos los cuales no forman parte de los objetivos estratégicos empresariales, sino que forman parte de los objetivos tácticos:

- Generar energía eléctrica de forma oportuna maximizando las ganancias del negocio, y por ende de la ESPH.
- Intervenir los activos con las mejores prácticas de mantenimiento preventivo evitando averías que generen un impacto económico negativo en el negocio.
- Elaboración de planes de operación y mantenimiento que generen retornos adecuados para la solvencia del negocio.

Descripción del mantenimiento centrado en confiabilidad

Según el criterio técnico del Ing. Adriano Jiménez la razón por la que se aplica el mantenimiento en las plantas de generación de energía eléctrica al igual que en cualquier proceso de producción industrial es conservar o mejorar el desempeño y la confiabilidad de estas, tratando de eliminar la ocurrencia de eventos que puedan detener el proceso.

Cualquier planta de generación eléctrica (hidroeléctrica, geotérmica, eólica o térmica) depende para su funcionamiento de un complejo sistema compuesto por diferentes procesos, subsistemas y equipos que necesitan operar de forma sincronizada y generalmente con un desempeño bastante alto y exigente, generalmente la falla de alguno de estos procesos genera la detención de todo el sistema.

La confiabilidad operacional se define como la probabilidad de que un equipo o sistema realice su función prevista sin fallas en un período de tiempo especificado y en condiciones indicadas.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es la metodología utilizada para determinar sistemáticamente qué actividades se deben ejecutar para que los equipos o sistemas continúen haciendo las funciones para las cuales fueron diseñadas y construidas de una forma eficiente, basado en valores de funcionamiento deseados. Esta información se gestiona a través de una aplicación que monitorea las acciones hechas para el mantenimiento de los activos.

El Ing. Jiménez comenta que la filosofía de mantenimiento RCM identifica las funciones de los componentes que forman parte de los diferentes sistemas, así como las causas de las fallas y las consecuencias de estas fallas sobre los subsistemas y sobre la planta.

La implementación del RCM ha logrado metas tales como:

- Mejorar la confiabilidad de los activos físicos.
- Mejorar la disponibilidad de los procesos.
- Reducir el costo por unidad de producción.
- Alcanzar mayor seguridad e integridad ambiental.
- Incrementar la vida útil de los equipos.

El ingeniero de mantenimiento y su equipo de técnicos especializados utilizan la metodología RCM que propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en su actual contexto operativo? (funciones).
- ¿En qué forma los equipos no pueden cumplir sus funciones? (fallas funcionales).
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional? (modos de falla).
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (efectos de la falla).
- ¿En qué forma es importante cada falla? (consecuencias de la falla).
- ¿Qué debe hacerse para predecir / prevenir cada falla? (tareas proactivas y tiempos).
- ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada? (acciones por defecto).

Estas preguntas y sus respuestas se analizan cada cierto tiempo por si alguna condición ha cambiado y que amerite un cambio en las actividades de mantenimiento.

Entre las actividades más importantes del RCM se encuentran:

- Mantenimiento predictivo (basado en la condición del equipo).
- Ensayos no destructivos.
- Análisis de vibraciones a máquinas rotativas.
- Análisis de aceites hidráulicos y dieléctricos.
- Termografías infrarrojas.
- Análisis de variables eléctricas de motores y generadores.

Descripción del mantenimiento basado en riesgo

Una de las técnicas utilizadas en el Departamento de Generación de Energía Eléctrica de la ESPH es el mantenimiento basado en riesgo, según el criterio del Ing. Jiménez este gira en torno a la pérdida de función de un sistema o equipo, para este caso se administra el riesgo dependiendo de su severidad y consecuencias.

El análisis de riesgo en la ESPH ha sido promovido por la unidad de planificación institucional, la Licda. Sylvia Blanco encargada de dicha gestión explica que debido a solicitudes de los entes reguladores se ha tenido que implementar la técnica de gestión de los riesgos operativos, lo cual ha sido beneficioso para los procesos ya que se tienen debidamente identificadas las causas y las consecuencias de cualquier evento que suceda en los procesos productivos.

Este análisis de riesgo es analizado por diferentes instancias de la organización (gerencia general, recursos financieros entre otros) para asignar los recursos necesarios según la prioridad que se obtenga.

La implementación de la gestión de riesgos en el sistema de gestión de activos implementado considera la adopción del siguiente método estructurado de identificación, análisis y evaluación:

- a. Clasificar los activos y definir sus funciones dentro del proceso productivo, preparar una lista de los sistemas y los activos que lo constituyen obteniendo toda la información relevante de estos incluyendo factores que puedan afectar su rendimiento.
- b. Identificar los riesgos creando una tabla de eventos potenciales y sus causas.
- c. Identificar los sistemas de control de riesgo existentes.

- d. Evaluar el nivel de riesgo tomando en cuenta las probabilidades y las consecuencias de cada evento potencial.
- e. Evaluar el nivel de riesgo tomando en cuenta el tiempo, verificando si cada activo tiene desgastes o deterioro que pueden cambiar las consecuencias de los eventos.
- f. Evaluar la tolerancia de los riesgos, analizando si los controles de riesgo actuales son suficientes para los requerimientos del sistema.
- g. Determinar cómo tratar los riesgos, si se van a abordar directamente, evitarlos, reducirlos, tolerarlos o transferirlos.

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) toma en cuenta los factores de severidad, ocurrencia y detección de un evento que detenga el proceso productivo. Es el producto de los índices de severidad (S), de ocurrencia (O), y de detección (D), y es calculado para todas las causas de fallo.

$$\text{NPR} = \text{S} * \text{O} * \text{D}$$

A continuación se definen los parámetros relacionados con el NPR:

- Índice de severidad (S)

La severidad está relacionada con el efecto de un evento, este parámetro valora las consecuencias que tenga un evento en una organización o proceso productivo.

El valor de este parámetro crece en función de:

- La producción.
- La rapidez de aparición de la avería.
- Los costos de operación.

Este parámetro está estrechamente relacionado con los efectos del evento, tiene un valor de 1 a 10, al ser el 10 la mayor severidad del efecto del evento.

Por lo general, una acción correctiva para revertir un nivel alto de la severidad de un evento es realizar un rediseño del funcionamiento actual de un equipo o sistema, los controles o mantenimientos actuales no impactan en este índice, todas las causas de falla para un efecto particular recibirán la misma clasificación de severidad.

Para este caso se pueden resumir los criterios de severidad de falla en la **tabla 4**.

Tabla 4. Criterios de severidad de un evento

CRITERIO	VALOR S
Ínfima. El evento provoca situaciones controlables que no afectan la producción.	1 – 2
Baja. El evento no representa afectación a la producción, pero si un paro programado para inspección o reparación.	3 – 4
Moderada. El evento provoca un paro no programado de la producción sin costos de reparación, daños moderados a las instalaciones.	5 – 6
Elevada. El evento provoca un paro no programado de la producción prolongado con costos de reparación altos o daños severos a las instalaciones.	7 – 8
Muy elevada. El evento provoca problemas de seguridad del personal (accidente o muerte) o daños severos al medio ambiente o poblaciones cercanas.	9 – 10

Fuente: Departamento de Generación ESPH

De la tabla se puede inferir la importancia que tiene el criterio de severidad en los procesos, ya que el nivel más alto considera problemas de seguridad (mencionando inclusive la muerte – que ha habido casos, en otras empresas) y daños severos al medioambiente y a poblaciones cercanas lo que arriesga a que se den demandas millonaria contra la empresa, de ahí la importancia de este análisis.

- Índice de ocurrencia (O)

Es la probabilidad de que se produzca un evento. Este parámetro se define como un valor intuitivo más que un dato estadístico matemático, a no ser que se dispongan de datos históricos de confiabilidad. El valor de la ocurrencia está relacionado con las causas de las fallas.

Para este caso se toman en cuenta dos tipos de probabilidades:

- La probabilidad de que se produzca la causa potencial del evento.
- La probabilidad de que una vez ocurrida la causa del evento esta provoque el efecto correspondiente.

Este valor es conveniente determinarlo de una forma más intuitiva que estadística y matemática, de manera que el análisis se torna menos complicado. Esto se hace sobre todo si no se han tenido datos históricos de confiabilidad o frecuencia de eventos. Para los casos en que se conozca la información de los datos históricos de eventos frecuentes se analizan estos datos para discernir la probabilidad de ocurrencia.

La **tabla 5** muestra la guía intuitiva en que se puede obtener probabilidad de ocurrencia de un evento que afecte la producción.

Tabla 5. Criterios de clasificación según la probabilidad de ocurrencia

CRITERIO	VALOR O
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. El evento nunca se ha producido, pero siempre existe la posibilidad de ocurrencia.	1-2
Moderada probabilidad de ocurrencia. El evento se ha presentado pocas veces en el pasado.	3-4
Frecuente probabilidad de ocurrencia. El evento se ha presentado en diversas ocasiones con cierta frecuencia.	5-6
Elevada probabilidad de ocurrencia. El evento se ha presentado frecuentemente en el pasado.	7-8
Muy elevada. Es seguro que el evento se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: Departamento de Generación ESPH

- Índice de detección (D)

Este parámetro indica la probabilidad de que la causa del evento se detecte. Se define la detección como creciente inversamente, es decir mientras menos detectable más alto será su indicador, esto para que crezca análogamente al resto de índices a medida que aumenta el riesgo.

Este parámetro está estrechamente relacionado con los eventos de las fallas ocultas de los equipos que puedan detener la producción, esto significa que mientras más difícil de detectar sea una falla de un equipo o proceso, más peso va a tener el riesgo asociado a esta. En la **tabla 6** se muestra la clasificación de la detección.

Tabla 6. Criterios de clasificación según la probabilidad de no detección

CRITERIO	VALOR D
Muy escasa. La falla del sistema es muy evidente, se puede detectar con facilidad con los controles existentes.	1-2
Moderada. La falla del sistema puede ser fácilmente detectable, sin embargo, puede escaparse de los controles actuales, encontrándose posteriormente.	3-4
Frecuente. La falla del sistema es difícilmente detectable.	5-6
Elevada. La falla del sistema tiene una muy baja probabilidad de detección con los procedimientos actuales de detección y ensayo.	7-8
Muy elevada. Es muy difícil detectar la falla del sistema, por tal razón la falla se presentará sin poderla detectar.	9-10

Fuente: Departamento de Generación ESPH

El valor resultante del NPR oscila entre 1 y 1000, correspondiendo a 1000 el mayor potencial de riesgo. Si se obtienen Números de Prioridad de Riesgo (NPR) elevados, se establecen acciones de mejora para reducirlos, esto se logra con acciones correctivas a las actividades de mantenimiento previamente establecidas, eliminando así las causas de los eventos o en su defecto con acciones contingentes que reducirán la gravedad de sus efectos. Este número ayuda a priorizar las causas de los eventos que puedan representar algún riesgo para el negocio, para luego determinar qué mejoras a la planificación de las actividades del mantenimiento actual hay que realizar.

Estas labores de mantenimiento se jerarquizan generando así muchos ahorros tanto a nivel de la producción, como de mantenimiento. Este número es calculado para todas las causas de falla posibles. Con los valores obtenidos del producto de la severidad por la probabilidad de ocurrencia y la detección, se puede hacer una comparación con el valor deseado o máximo (100), el cual va a determinar si se requieren acciones correctivas a lo que actualmente se realiza.

Una manera de analizar el NPR con anticipación es la siguiente: si la severidad está en valores muy altos (9 o 10) y la ocurrencia y la detección tienen valores superiores a 1 se considera que la falla tiene características críticas, aunque el NPR no presente un valor mayor a 100 conviene actuar por estas fallas. Si el NPR tiene un valor de mayor a 100 se realiza un análisis de mejora de las actividades de mantenimiento y mejoras que se llevan a cabo en la actualidad, posteriormente se analiza el costo de estas mejoras versus los beneficios que tengan en la organización, esto permite su respectiva justificación.

Un nuevo NPR después de realizar las mejoras respectivas redefine las prioridades del sistema, esta acción se repite hasta que se alcance el objetivo de llevar el NPR a valores menores que 100, de manera que los eventos que puedan afectar la producción disminuyan, si lo anterior no se logra se investigan nuevas técnicas de mantenimiento, rediseños o mejoras que alcancen este objetivo.

El sistema de mantenimiento basado en riesgo se toma en cuenta con mucho cuidado los factores de seguridad y medioambiente en el sentido que un accidente grave o un evento medioambiental grave se cataloga con una severidad de 10 según la clasificación para la obtención del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) por lo que es importante documentarlos de manera que se tomen las medidas respectivas para no tener que sufrir consecuencias de estos tipos.

Descripción del tratamiento de los resultados actuales y mejora continua

El desempeño del proceso productivo se mide con respecto a metas previamente establecidas, estas metas tienen que ver con la cantidad de energía eléctrica entregada al ICE en las subestaciones previamente mencionadas y la continuidad del proceso de producción de energía eléctrica. El Ing. Adriano Jiménez indica que técnicamente se utilizan varios indicadores de gestión mensuales que brindan un panorama amplio del estado de la producción y del desempeño que tienen las actividades de mantenimiento que se realizan.

Estos indicadores obtenidos de la división de operación de las plantas del Departamento de Generación son recopilados y entregados para realizar los ajustes necesarios al proceso.

Los tiempos de producción, reserva, de indisponibilidad de las plantas brindan bastante información de su estado de las mismas. Esto lleva a que se generen controles de desempeño que implican realizar cambios o rediseños en los procesos, ya sea por medio de intervenciones menores o por trabajos programados de gran escala. En este proceso intervienen las diferentes áreas de alta gerencia y de apoyo de la ESPH. Los indicadores de gestión de las plantas son los siguientes:

- Energía generada en el mes. Se compara la energía generada versus producciones determinadas en los diseños de las plantas (basados en históricos de precipitación) o en información histórica que se tenga disponible. Esta energía se totaliza en los periodos pico, valle y nocturno para poder optimizar la máxima producción en el pico en donde la energía es mejor pagada;
- Tiempo en servicio. Es la cantidad de horas del periodo en que la planta está generando energía;
- Tiempo en reserva. Es la cantidad de horas del periodos en que la planta está detenida mientras hay recurso hídrico disponible (acumulación de agua en el embalse);
- Indisponibilidad programada. Es la cantidad de horas del periodo en que se detuvo la planta para realizar mantenimientos preventivos o correctivos;
- Indisponibilidad no programada. Es la cantidad de horas del periodo en que la planta se detuvo por una avería del sistema;
- Cantidad de averías. Eventos presentados en el periodo que detuvieron la producción;

- Tiempo medio de duración de una avería (MDT). Cantidad de tiempo en horas del periodo en el que el sistema está en avería (tiempo que duró la reparación).

$$\text{MDT} = \text{Tiempo Indisponibilidad por Falla} / \text{Número de fallas}$$

- Tiempo promedio para fallar (MTTF). Cantidad de tiempo en horas del periodo que pasa entra la reparación de una avería y la presencia de otra avería.
- Tiempo Medio entre fallas (MTBF). Es el tiempo en horas del periodo entre una falla y la otra, este indicador es la suma de los dos anteriores;

$$\text{MTBF} = \text{Tiempo Disponible} / \text{Número de Fallas}$$

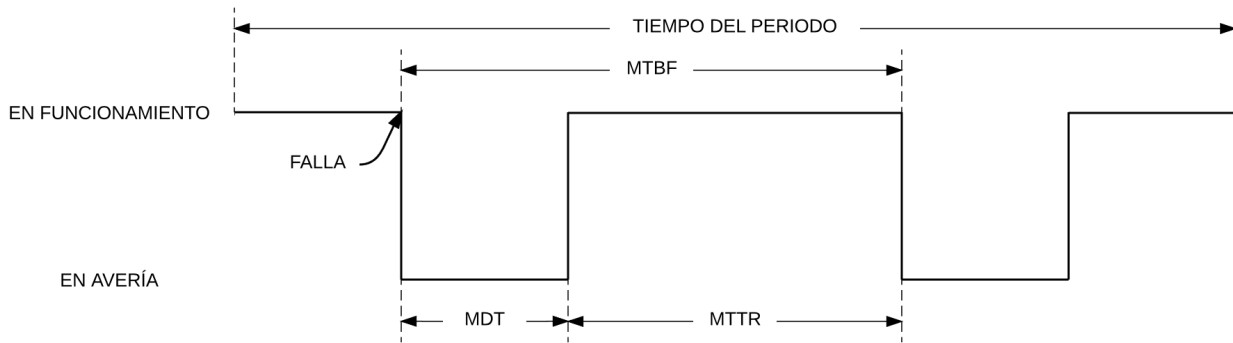


Ilustración 36. Tiempos en funcionamiento y en avería

Fuente: elaboración propia

- Disponibilidad. La disponibilidad se define como el porcentaje del tiempo total del periodo en que el proceso productivo está generando o está en reserva. La disponibilidad se define con las siguientes fórmulas:

Si no hubo averías durante el periodo:

$$D = \frac{(\text{Horas del Periodo} - \text{Horas de Mantenimiento Programado})}{\text{Horas del Periodo}} * 100$$

Si hubo al menos una avería en el periodo:

$$D = \frac{(\text{Horas del Periodo} - \text{Horas de Mantenimiento Programado})}{\text{Horas del Periodo}} * \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}} * 100$$

- Confiabilidad. Probabilidad de contar con el proceso productivo en buenas condiciones en el momento en que sea requerido. La confiabilidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$c = e^{-(\lambda * T)}$$

Donde: λ : tasa de salida forzada: cantidad de averías / tiempo en línea

T: tiempo en línea / tiempo disponible del periodo

- Factor de planta. Es la razón de la energía producida y la energía máxima que puede producir cada sistema.

Todos estos indicadores de desempeño determinan el estado de la producción del periodo que en este caso es un mes. Todos los esfuerzos se realizan para obtener un 100% de la disponibilidad y la confiabilidad, sin embargo niveles de 99.5% se consideran aceptables.

Este capítulo detalla todo lo relacionado con la implementación de la gestión de activos, en el capítulo III se realizará el diagnóstico de la situación actual.

Se realizará un diagnóstico del sistema de gestión de activos desde su perspectiva actual y con un análisis de los resultados se verificarán las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas que existen en el proceso.

Capítulo III. Análisis de situación actual del negocio de generación de ESPH en función de la gestión de activos

3.1. Introducción

La propuesta de gestión de activos es una estrategia corporativa que busca la generación de valor para los equipos, sistemas, instalaciones entre otros. Esta generación de valor involucra un balance entre los costos, los riesgos, los beneficios y las oportunidades de mejora del desempeño en el ciclo de vida de los activos desde su concepción (idea o diseño) pasando por su gestión, operación y mantenimiento hasta su descarte.

En la gestión de activos se considera que la función de mantenimiento pasa a ser la más indicada para hacer la coordinación del proyecto de implementación del sistema que debe ser adecuado para los enfoques financiero y estratégico.

En el capítulo anterior se mostraron los diferentes negocios de la ESPH y se dio énfasis al negocio de generación de energía eléctrica, caso de estudio de este trabajo. También se describieron los objetivos de la gestión de activos, las actividades del ciclo de vida de los activos, la evaluación de criticidad de los activos y la planificación actual para alcanzar los objetivos propuestos.

Se realizó también una descripción de las estrategias actuales con que cuenta el Departamento de Generación de Energía Eléctrica de la ESPH en el que se detalló el proceso productivo, la estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Basado en Riesgos (NPR) y la evaluación de los resultados y la mejora continua.

En el presente capítulo se realizará un diagnóstico de la situación actual del proceso con la aplicación de encuestas y entrevistas a las personas que están más de cerca del proceso de operación, mantenimiento y gestión administrativa del departamento de manera que sirva como primer paso para identificar las oportunidades de mejora que se puedan implementar.

Posteriormente, se analizan las brechas que resultan del estudio, detectando qué se hace y qué no se hace para establecer estrategias a corto, mediano y largo plazo según la dificultad que pueda presentar la implementación.

También se realizará un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proceso de manera que quede claro no solo cuáles áreas o actividades requieren intervención, sino que también resalta las que están en un nivel adecuado y a las que pueden mejorar o mantener en dicho nivel.

3.2. Justificación de la investigación

El proceso de producción de energía eléctrica es muy importante dentro de la ESPH, se ha determinado que la compra y la venta de energía son los mayores ingresos y egresos que se tienen en la organización, al ser muy importante mantener altos indicadores de productividad.

Como se mencionó en el capítulo anterior el costo evitado de compras de energía eléctrica al ICE es aproximadamente del 24% de la factura total, la cual es el mayor egreso de la organización, esto hace que se requiera implementar las mejores estrategias y técnicas para mantener o mejorar la eficiencia de las plantas hidroeléctricas actuales y las que están en proceso de construcción o en fase de estudios de factibilidad.

El sistema de gestión de activos genera una serie de pasos y recomendaciones que al ser implementadas buscan que los procesos trabajen al 100% de su capacidad de diseño o por lo menos a porcentajes aceptables dentro de los parámetros del sector de generación de electricidad.

Para la organización esta mejora en los procesos implica varios aspectos importantes como rentabilidad, salud financiera, estabilidad, imagen corporativa, crecimiento entre otros. Esto hace que se justifique ampliamente la investigación de este sistema y su posterior implementación y certificación por los entes respectivos.

3.3. Población de interés

La población en una investigación está compuesta por todos los elementos, las personas o los objetos que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en la propuesta de investigación.

La muestra es una representación significativa de las características de una población con un error porcentual que estudia las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global.

Con estos dos conceptos claros se realiza una propuesta de usar una muestra de los individuos con un alto nivel técnico dentro de la organización (ingenieros, supervisores de planta y técnicos especializados electromecánicos), ya que son los que están más de cerca con el proceso de operación y mantenimiento.

Estos colaboradores del Departamento de Generación de la ESPH conocen todos los detalles, las carencias y las fortalezas del proceso por lo que se tomaron en cuenta 24 de ellos con el perfil indicado, quienes harán las encuestas que se han preparado y se les realizarán entrevistas a algunos de ellos para elaborar el primer paso de la investigación: el diagnóstico del proceso. Esta muestra da la posibilidad de ahondar en los diferentes puntos de vista que se tienen con respecto a los procesos entre ingenieros, supervisores y técnicos especializados, ya que las opiniones acerca del proceso en investigación se esperaba que fueran similares.

Se realiza una exclusión del personal operativo, ya que puede haber desviaciones a lo que realmente esté sucediendo dentro de los procesos debido a la poca visión del entorno en que se encuentra el negocio de generación de energía de la ESPH.

También se hace la exclusión del personal administrativo de la ESPH, pues puede haber un desconocimiento de los temas meramente técnicos de la organización del negocio lo que puede llevar a desviaciones en los resultados que afecten la investigación.

3.4. Metodología de investigación

De los tipos de investigación existentes se escoge la descriptiva por medio del método de entrevistas y encuestas, ya que permiten obtener amplia información de fuentes primarias además se obtiene una mayor objetividad en la investigación.

Las encuestas consisten en 22 preguntas para conocer, en este caso, la opinión del estado actual del personal técnico y administrativo relacionado con la operación y el mantenimiento del Departamento de Generación de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.

Además de las encuestas se realizan entrevistas a las personas escogidas de las cuales se puede obtener importante información adicional para las conclusiones y las mejoras al proceso.

En el capítulo anterior se estableció la metodología que se utiliza para el sistema de gestión de activos en el Departamento de Generación.

Dichos objetivos quedaron establecidos y se evaluarán con este instrumento con una muestra que brinda la información necesaria para realizar las mejoras respectivas al proceso (si fueran necesarias).

A partir de esta investigación se implementa la metodología de las 3P (People, Process, People) se establece un punto de partida de una forma científica y de negocio para definir de forma estratégica, táctica y operativa cuáles serán las acciones que se deben ejecutar para alcanzar las metas y las buenas prácticas en la gestión de activos.

Se identifican y analizan las oportunidades de mejora en las cinco áreas claves del negocio:

- Operación y mantenimiento.
- Tecnología de la información.
- Mantenimiento preventivo y tecnología.
- Planificación y programación.
- Soporte a la operación y el mantenimiento.

Luego de realizar las entrevistas y las encuestas se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo de los datos, posteriormente se definen las propuestas de mejora de operación y mantenimiento con base a las puntuaciones obtenidas, finalizando en la determinación de las áreas a potenciar y las mejoras requeridas dependiendo de las brechas detectadas.

Las 22 preguntas de las encuestas están orientadas a determinar las fortalezas y las debilidades del proceso según el personal escogido para llenarlas. Con la herramienta se mide la percepción en varios sentidos del proceso: operación, mantenimiento, adquisiciones, ingeniería, recursos humanos, confiabilidad, seguridad ocupacional y medioambiente.

Se plantearon cuatro opciones de la siguiente forma: siempre, casi siempre, algunas veces y nunca. Los valores para estas opciones para hacer el análisis cuantitativo corresponden a 4, 3, 2 y 1 respectivamente. El cuestionario aplicado se encuentra en el **anexo 2**.

3.5. Desarrollo de la investigación

El cuestionario aplicado al personal técnico operativo del negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH generó resultados presentados en la **ilustración 37**. Dicho gráfico representa el resultado de cada una de las preguntas aplicadas en las encuestas sin orden de puntaje, el cual como se mencionó con anterioridad oscila entre 4 y 1, en el cual el cuatro se muestran los que se denotan como satisfactorios y el uno como deficientes.

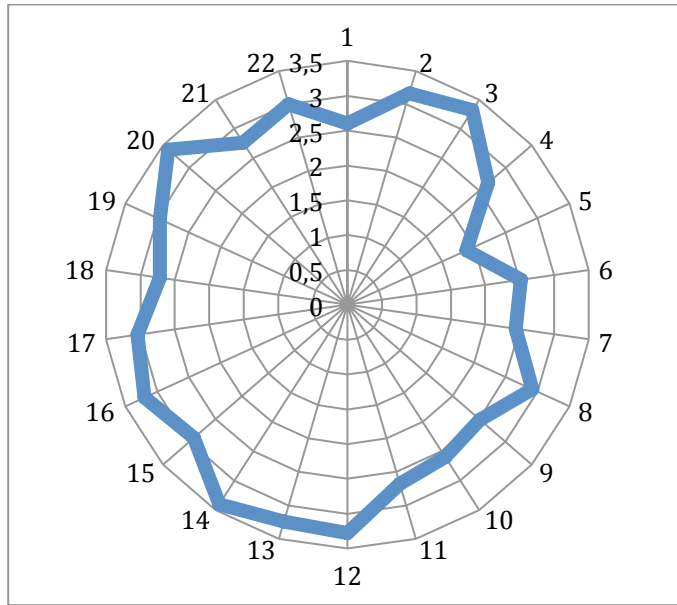


Ilustración 37. Gráfico radial de resultados de las encuestas

Fuente: elaboración propia

Posteriormente se realiza un reordenamiento de los resultados dependiendo de las respuestas obtenidas en las encuestas empezando por la pregunta que obtuvo menor puntaje tal y como se muestra en la **ilustración 38**.

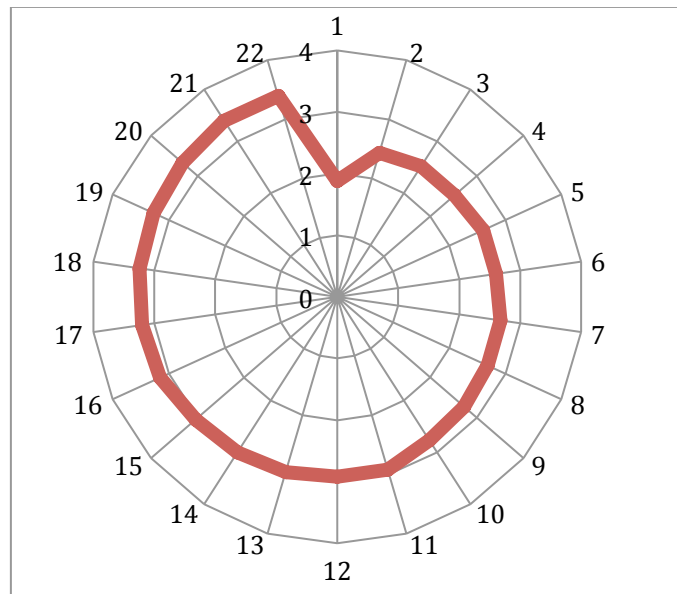


Ilustración 38. Gráfico de resultados de las encuestas ordenados por puntuación

Fuente: elaboración propia

De esta forma se analizan las primeras 11 preguntas que son las de menor puntaje:

1. El puntaje más bajo lo obtuvo el proceso de compras y contrataciones con 1,88 de 4. Se ha detectado que este proceso de apoyo de compras de materiales, productos y repuestos, entre otros, tiene muchas deficiencias desde que se solicita por parte de los encargados de operación y mantenimiento hasta la entrega del bien solicitado como parte de los esfuerzos para garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de las plantas.
2. El segundo puntaje más bajo está relacionado con el primero y es el de licitaciones, el cual obtuvo un 2,44. Las licitaciones para realizar una compra o contratación de mediano a alto valor son muy largas y complicadas lo que hace que sea difícil cumplir con los objetivos del proceso.
3. Contrataciones externas de trabajos especializados (*outsourcing*) obtuvo un 2,52. En ocasiones en que el personal de mantenimiento es insuficiente en cantidad o en conocimiento técnico, se contratan a proveedores externos que no han sido del todo satisfactorios debido a que no se han resuelto los requerimientos solicitados.
4. La gestión de documentación técnica para el conocimiento de los procesos y la solución de problemas obtuvo 2,52. Esta documentación técnica es importante en los procesos, en ocasiones se encuentra desordenada y en ocasiones ni siquiera se encuentra, lo que dificulta conocer el proceso y dificulta la solución de problemas.
5. El sistema de gestión integrada existente que apoya la mejora continua del proceso de generación obtuvo un 2,6. Actualmente la ESPH está certificada en ISO-9001 (calidad), ISO-14000 (medioambiente) y OHSAS-1800 (salud y seguridad ocupacional), todos los años se realizan auditorías de todos los procesos que tiene la empresa, esto puede ser de gran ayuda para el proceso de generación si se aprovecha adecuadamente.
6. Las aplicaciones informáticas existentes para el proceso obtuvo 2,6. Actualmente se tienen varias aplicaciones informáticas relacionadas con la operación, mantenimiento y administración del proceso de generación de energía eléctrica. Programas como *InTouch* y *STEP7* (automatización de procesos), *MP9* (administración del mantenimiento), aplicaciones para diversos equipos de generación de energía, así como aplicaciones domésticas administrativas no llenan las expectativas para la adecuada disponibilidad y la confiabilidad del proceso.

7. La autoridad y la responsabilidad de las actividades de operación y mantenimiento no están claramente definidas o así lo percibe el personal con un 2,68. Aunque en el departamento hay un organigrama establecido, el personal percibe que en ocasiones este no se cumple con las consecuencias que esto pueda tener desde el punto de vista de organización de los trabajos.
8. La gestión de riesgos no es la adecuada ya que obtuvo un 2,68. En ocasiones no se realiza un adecuado análisis y gestión de riesgos. La administración de los riesgos según las actividades de operación y mantenimiento es de mucha importancia para el proceso, debido a que las consecuencias pueden ser muy negativas para la organización tanto a nivel económico como de responsabilidad civil.
9. El análisis de causa raíz después de una falla o avería no se considera aceptable, obtuvo un 2,72. Después de una falla o avería debe haber un completo análisis del evento para identificar las causas e implementar estrategias para evitar que se vuelva a presentar o poder reaccionar a tiempo.
10. La tecnología utilizada en las actividades de operación y mantenimiento de las plantas se considera no conforme, obtuvo 2,76. Las herramientas utilizadas para el proceso no son consideradas como las más adecuadas, por ejemplo los equipos de medición y seguimiento de la operación así como las herramientas para verificar la condición de los equipos (mantenimiento predictivo) pueden mejorar mucho para la correcta gestión del proceso productivo.
11. La formación y el desarrollo del personal operativo, técnico y profesional obtuvo un 2,92. Aunque se desarrollan estrategias para el correcto desarrollo del personal, falta desarrollar una estrategia más adecuada que llene las expectativas del personal y que sea de beneficio para el proceso.

Los siguientes aspectos obtuvieron una calificación por arriba de 3 de 4 lo que se considera como elementos de la organización que se encuentran dentro de lo aceptable para poder ejecutar una correcta gestión de activos:

1. Las acciones de mejora realizadas en las plantas son adecuadas, estrictamente necesarias y reducen los riesgos. Esto indica que las construcciones, las adiciones o las modificaciones han satisfecho el objetivo del mantenimiento de los activos.

2. Los indicadores de gestión (disponibilidad, confiabilidad, tiempos de operación, reserva, indisponibilidad, factor de planta) son adecuados para el control de la operación y el mantenimiento de las plantas de generación.
3. La gestión de operación y mantenimiento del Departamento de Generación reduce el riesgo de fallas de los equipos o sistemas. Los procesos de operación y mantenimiento se alinean con el objetivo estratégico de la continuidad del servicio optimizando los recursos de la organización.
4. Los procedimientos existentes de operación y mantenimiento son adecuados. Al igual que el punto anterior, los procedimientos que han surgido a través del tiempo han ayudado a tener más claro el funcionamiento del proceso.
5. Es claro el funcionamiento, el control y la supervisión de los equipos de generación. El control de los equipos desde su diseño, pasando por su operación y mantenimiento hasta su descarte es claro, se tienen métricas bastante informativas del estado de los activos y su rendimiento, lo que hace tener adecuada información para la toma de decisiones.
6. El sistema de priorización de actividades de mantenimiento (emergencia, urgencia, necesario, deseable y prorrogable) es el adecuado para el departamento. Esta priorización optimiza los recursos y tener un adecuado manejo de los recursos como de personal como de presupuesto, pues hay acciones que comprometen la continuidad de la producción mientras hay otros pendientes que pueden esperar a su implementación.
7. El actual análisis de criticidad de los equipos de generación mejora el desempeño de la operación y el mantenimiento del proceso. La criticidad al igual que la priorización ayuda al proceso a controlar mejor la disponibilidad y la confiabilidad de las plantas.
8. El mantenimiento basado en condición (predictivo) es adecuado y ayuda a prevenir fallas y averías. El adecuado mantenimiento y la conservación de los activos genera confiabilidad en su función dentro de la organización.
9. Las reuniones con los coordinadores de áreas son efectivas y ayudan al proceso de operación y mantenimiento. El personal de operación y mantenimiento está alineado tanto con los objetivos y las normas de la organización como con los objetivos técnico operativos del proceso de manera que se cumplen los objetivos.

10. Los informes de producción diaria, mensual, anual y de actividades extraordinarias (mantenimientos programados, correctivos de gran escala) son analizados de forma adecuada. Los informes de gestión brindan la información necesaria para la toma de decisiones estratégicas, financieras, de recursos humanos y materiales entre otras, básicamente los informes son una fotografía del estado de los activos e instalaciones.
11. La administración del mantenimiento (en el amplio sentido de la palabra) del Departamento de Generación es adecuada. Al igual que el punto 8 un adecuado mantenimiento y conservación del activo hace que se tenga conocimiento de su estado actual y también del momento en que tenga que ser remplazado, en general, esta parte tiene un nivel de aceptación muy alto.

Si bien es cierto las calificaciones más bajas son las más preocupantes en las entrevistas, también se vieron aspectos a mejorar en los otros puntos de la investigación, estos aspectos se analizarán a continuación.

3.6. Análisis de la investigación

De acuerdo a los objetivos del sistema de gestión de activos se realizó una comparación de la situación actual de acuerdo a la percepción de los resultados obtenidos en las entrevistas y en las encuestas.

Contexto de la organización

Las entrevistas y las encuestas reflejaron que las personas tienen un buen entendimiento de las fortalezas y las carencias que existen, así como de la situación actual con las implicaciones internas y externas al proceso. Se admitió por parte de los entrevistados que el proceso no es como debería ser, lo cual es importante a la hora de establecer estrategias de implementación de mejoras.

Se detectó que en la actualidad se cuenta con un sistema de gestión integrada que analiza los asuntos de calidad, medioambiente y seguridad ocupacional, la gestión de activos no ha incluido dentro de los procesos de certificación por lo que no se ha tenido un proceso del ciclo de vida de los activos.

Se descubrió una falta de recursos económicos para realizar las actividades críticas de operación y mantenimiento de las plantas, esto se ha dado debido a varios factores como reducción de gastos e inversiones por una priorización de presupuesto para otras actividades y asuntos relacionados con el flujo de caja del negocio sobre todo por la baja en las tarifas de venta de energía eléctrica determinadas por el ente regulador (ARESEP).

La priorización que se ha realizado de los gastos e inversiones no se ha planificado desde una perspectiva de la vida y el tiempo de funcionamiento de los activos, los cuales son como se ha mencionado anteriormente, los que generan valor a las organizaciones.

Alcance del sistema de gestión de activos

En estos momentos la organización cuenta con un análisis de criticidad de los activos, lo cual es un avance importante en la implementación del sistema, no es del todo claro qué plantas, sistemas o equipos deben recibir mayor atención partiendo la continuidad del negocio que es el principal objetivo. No se han incluido dentro de este ejercicio de análisis de criticidad, los indicadores financieros para asegurar un adecuado retorno a las inversiones realizadas en el negocio.

Se detectó una falta de control de los activos desde su concepción o idea para resolver un problema o necesidad hasta su remplazo (ciclo de vida del activo).

En la organización se evidenció una falta de estudios en la fase de costos de capital (CAPEX) donde se da el desarrollo, diseño, expectativas financieras, instalación, entrenamiento, manuales, documentación, herramientas e instalaciones para mantenimiento, repuestos y desincorporación (reemplazo).

También se evidenció una carencia en el análisis previo de los costos operacionales (OPEX) entre los cuales se encuentran los costos de mano de obra, operaciones, almacenamiento, contrataciones, mantenimiento correctivo, penalizaciones por eventos de fallas o averías y baja confiabilidad entre otros.

Esto hace que el desarrollo de actividades haya presentado una sensibilidad a las finanzas de la organización por no haber tomado en cuenta estos costos a la hora de adquirir un activo específico, situación que en lugar de generar valor hacen que se tengan pérdidas económicas.

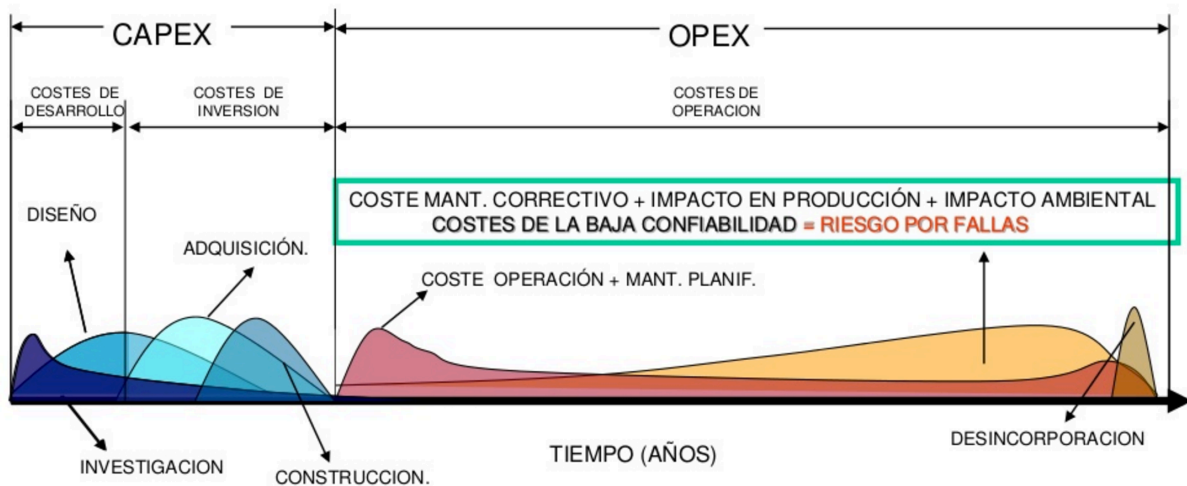


Ilustración 39. Fases del ciclo de vida de los activos

Fuente: IEC 60300-3-3 Life cycle costing

Este proceso tiene las siguientes fases que se detectaron como oportunidades de mejora dentro de la organización.

Concepto y definición

La necesidad de la adquisición de un activo es un largo proceso que inicia con la detección de un problema o la falta de incursión en un mercado que la organización no tenía entre sus actividades. Ejemplo de esto son las mejoras en el orden tecnológico de los procesos o modernización, la reingeniería de un proceso, el aumento de capacidad entre otros, todos ellos en aras de aumentar la rentabilidad del negocio.

Actualmente en la gestión de activos de la organización se han realizado estudios de factibilidad tanto a nivel de mercado como a nivel de permisos y riesgos sobre las inversiones, sin embargo se carece de un análisis de la gestión propia del proyecto en cuanto a recurso humano y financiero lo que ha generado adquisiciones o proyectos con alto riesgo para la organización.

La determinación de la adquisición de los activos o proyectos se da en cada negocio de la empresa, las ideas de mejora tienen que pasar por varias etapas: determinar la necesidad o mejora, realizar un caso de negocio, tener la aprobación de la alta gerencia o dependiendo de la dimensión del proyecto, de la junta directiva, enviarlo a aprobación del ente regulador entre otros, este proceso ha asegurado que los activos que se han adquirido hayan sido en su mayoría de una rentabilidad adecuada.

Además se han realizado estudios en la parte administrativa, en los que se han analizado aspectos de sensibilización como: inflación, tributación, tasa de cambio entre otros, también se han realizado la aplicación de técnicas de evaluación financiera como los análisis de flujo de caja (VAN), tasa interna de retorno (TIR), la depreciación, análisis beneficio – costo.

Estas técnicas han asegurado que dentro de todas las adquisiciones o proyectos de inversión de todos los negocios se priorice la ejecución de los que tienen mejores indicadores y retornos.

Presupuesto para adquisición y mantenimiento de activos

Antes de iniciar el proceso de adquisición de los activos se tienen que haber realizado los estudios necesarios para obtener los fondos para ejecutar su compra, para este caso se ha analizado si se puede hacer con recursos propios o con un financiamiento, por lo general se tiene que hacer la consulta al ente regulador (ARESEP) para que sea aceptado y avalado.

Lo anterior depende de los montos de las inversiones y del retorno en la inversión dentro de un periodo determinado que por lo general es el periodo que se ha dispuesto para la depreciación de este tipo de activos (40 años).

Por lo general las inversiones en activos de generación de energía han sido avaladas por la ARESEP debido a que siempre tienen una rentabilidad alta por arriba del 12%, tasa requerida por la organización en retornos de nuevos proyectos de inversión.

Una vez avalado este uso de recursos, ya sea por medio de recursos propios o por financiamiento, se han incluido dentro del presupuesto de inversiones para luego iniciar con los diseños, la adquisición, la instalación y la puesta en marcha.

Proceso de adquisición de activos

De los aspectos más importantes en la gestión de activos es su adquisición. En este proceso lo primero que se ha tomado en cuenta ha sido a los proveedores por clases de servicios y por venta o representación de diseño, instalación y soporte postventa de activos.

Los proveedores se clasifican en los siguientes rubros relacionados con la parte de la generación de energía:

- Turbinas. Andritz-Hydro (Francia), Voith Hydro (Alemania), WKV (Alemania), Gugler (Austria), Gilkes (Inglaterra), Global Hydro (Austria) Ossberger (Alemania) entre otros.
- Generadores. Indar (España), Motortecnica (Italia), Marelli (Italia), Mitsubishi (Japón) entre otros.
- Transformadores de potencia. Siemens (Alemania), ABB (Suiza), EFACEC (Portugal) entre otros.
- Sistemas de supervisión, control y medición. Siemens (Alemania), Alstom (Francia) entre otros.

La unidad de adquisiciones de la ESPH solicita a estos oferentes que cada año actualicen su perfil de servicios y catálogo de productos en el respectivo registro de proveedores para que a la hora de empezar con el proceso de ejecución de un proyecto sean invitados a participar en las licitaciones para este tipo de equipos y servicios especializados.

También cada año se ha coordinado por parte de la unidad de adquisiciones en conjunto con las áreas técnicas una evaluación de proveedores de manera que si alguno haya incumplido con alguno de los contratos de adquisición o servicio se les envíe una nota solicitando una mejora en los procesos o en su defecto una suspensión del registro de proveedores, lo cual los inhabilita para poder ofertar en futuras licitaciones.

Para la compra de este tipo de activos el Manual de compras y adquisiciones de la ESPH publicado en La Gaceta el 5 de mayo del 2015 indica lo siguiente:

- Compras directas. Van de \$1 hasta \$150.000, solo se requieren tres cotizaciones y pueden ser adjudicadas por los encargados de la unidad solicitante.
- Compras secundarias. Van \$150.001 hasta \$250.000, requieren un concurso por invitación donde al menos haya cinco ofertas y deben ser adjudicadas por los directores de la UEN solicitante.
- Compras primarias. Van de \$250.001 hasta \$500.000, se realizan por licitación pública y se requieren al menos cinco ofertas y deben ser adjudicadas por la gerencia general.
- Compras mayores. Van de \$500.001 en adelante, se realizan por licitación pública y se requieren al menos cinco ofertas y deben ser adjudicadas por la junta directiva.

A manera de ejemplo las últimas adquisiciones de activos de este tipo han sido las siguientes:

Planta hidroeléctrica Los Negros de 18,3 MW

Costo total: \$22.009.225

Financiamiento BCIE: \$18.330.255

Recursos propios ESPH: \$3.678.970

Planta hidroeléctrica Tacaes de 6,8 MW

Costo total: \$14.810.159

Financiamiento Banco Costa Rica: \$13.839.096

Recursos propios ESPH: \$971.064

Modernización de planta hidroeléctrica Jorge Manuel Dengo de 3,6 MW (proyecto para el 2017)

Costo total financiado por el Banco Popular: \$3.851.376.

En el proceso actual de adquisición cada unidad interesada, en este caso el Departamento de Generación, es la que realiza las especificaciones técnicas de los activos a adquirir, lo anterior se hace basado en las últimas tecnologías del mercado.

Esto es una investigación constante del estado del arte en cuanto a los sistemas de generación hidroeléctrica, esto se ha llevado a cabo con la presencia del personal técnico en diferentes seminarios y charlas de los proveedores. Además de lo anterior se ha venido realizando una mejora en el cumplimiento de garantías de los equipos, ya que ha habido ocasiones en las que en poco tiempo se dañan y dejan de hacer su función, por lo general en el primer año de operación.

Diseño y desarrollo

Los diseños previos a la adquisición de un activo deben llenar las expectativas de la necesidad o incursión en el mercado. En la organización ha hecho falta que los diseños incluyan análisis de confiabilidad, que tengan un estudio de mantenibilidad (que a las instalaciones y equipos se les pueda intervenir de forma accesible y segura)

También se detectó una necesidad de mejorar la documentación técnica de los diseños desde su inicio hasta el final de la parte de diseños, esto provoca que hayan grandes dificultades para la fase de operación y mantenimiento lo que ha provocado pérdidas económicas y de producción.

También se detectó en esta fase de la Gestión de Activos una falta de claridad en el aspecto de pruebas y evaluación de los activos antes de ser entregados para su respectiva operación, esto ha hecho que la confiabilidad de los activos se vea comprometida y que los encargados de los activos en su fase operativa no hayan tenido los conocimientos necesarios para optimizar el proceso.

Entre los aspectos relacionados con el desarrollo de la Gestión de Activos se detectó una política de innovación tecnológica adecuada desde el punto de vista estratégico de la organización para brindar servicios más competitivos.

El proceso de gestión estratégica y planificación del sistema de Gestión de Activos exige que haya una constante investigación de nuevas técnicas y descubrimiento de nuevas tendencias en cuanto a los procesos productivos en donde la innovación y la gestión de tecnología se desarrollan continuamente.

Fabricación e instalación de los activos

En principal aspecto que se debe tener en cuenta en el proceso de fabricación e instalación de los activos es haber corroborado los compromisos que se produjeron en la fase de diseño para el adecuado funcionamiento de los activos.

Dos aspectos muy importantes que se han tomado en cuenta últimamente son: la formación del personal y la documentación técnica. Estos procesos han sido ejecutados y aprobados por la organización en esta fase de fabricación e instalación, ya que es el mejor momento para hacerlo debido a que el personal de operación aprende bien las características y funcionamiento de los equipos.

Proceso de operación y mantenimiento de los activos

Las plantas envejecen y con ellas sus equipos, esto supone que el mantenimiento correctivo es mayor, esta ha sido una mala práctica que se ha llevado a cabo en los últimos años. El proceso de mantenimiento de los equipos ha cambiado y se ha intentado iniciar desde las especificaciones de compra y seguirlo hasta determinar su retiro.

Las actividades de mantenimiento ejecutadas en las plantas hidroeléctricas han mejorado el análisis de la criticidad y la urgencia de las tareas, la naturaleza dinámica del trabajo basado en la condición, la agrupación de oportunidades de trabajo y las limitaciones de recursos.

Uno de los aspectos más importantes detectados en las entrevistas a los colaboradores fue la falta de comunicación (en la mayoría de los casos) entre el proceso de operación y el de mantenimiento, sobretodo en el tema de solicitudes de órdenes de trabajos para actividades no rutinarias o reparaciones de equipos críticos.

En el proceso se ha tratado de implementar el mantenimiento básico ejecutado por los operadores del proceso, en esta implementación han habido desfases entre los operadores que han generado inconvenientes y han provocado paros de planta innecesarios.

Los operadores de los procesos (inclusive los encargados de áreas) por lo general han tendido a pasar por alto las listas de comprobación, apuntan datos en forma automática pero sin su respectivo análisis sin controlar o comunicar que algo pueda estar fuera de rango normal de operación, inclusive si algo está fuera de rango lo apuntan en la tabla diaria pero no hay personal que revise dicha información.

Otro de los aspectos que se detectaron en la organización está relacionado con la contratación de servicios externos, en algunos casos se menciona que este tipo de contrataciones es efectiva, en otros casos se ha considerado que el reclutamiento de personal con su respectiva capacitación ha sido mejor, sobre todo por la posibilidad de aumentar las habilidades técnicas del personal de la organización.

Se han dado casos en que los trabajos muy especializados que se han contratado no han quedado bien, sin embargo se ha avanzado en el análisis de cuáles actividades se pueden realizar con personal propio, esto implica capacitación y compra de equipos especiales para realizar los trabajos.

Entre estos equipos especiales la organización ha adquirido varios dispositivos de pruebas para determinar el estado actual de los equipos, es decir, para realizar el mantenimiento basado en condición por ejemplo el analizador de vibraciones mecánicas para todas las maquinas eléctricas rotativas (generadores y motores), la cámara infrarroja para detectar puntos calientes en sistemas eléctricos que puedan representar una potencial falla del sistema, el analizador de variables eléctricas para detectar potenciales fallas en los equipos e intervenirlos en un momento adecuado.

Políticas de remplazo de los activos

Entre las carencias detectadas en la organización se obtuvo información de una falta de análisis en el manejo del remplazo de los activos, el cual puede significar una oportunidad de mejorar las finanzas de la organización.

Los aspectos que no se han tomado en cuenta para las políticas de remplazo se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Obsolescencia (técnica o económica).
- Cambios en el contexto operacional.
- Costos elevados (operación y mantenimiento).
- Aspectos de logística (repuestos).
- Baja disponibilidad y/o confiabilidad.
- Aspectos de seguridad o medioambientales.

Además no se cuenta con un análisis de los costos de la eliminación de un activo como la parada de producción del sistema, el costo de la retirada y desmontaje del sistema y el tema de reciclaje y eliminación segura.

Gestión informática

Se halló que en la organización se cuenta con su aplicación propia de control documental en la cual se tiene acceso a toda la documentación oficial de la empresa, la cual está clasificada en pública, confidencial y restringida. Esta herramienta ha ayudado a mejorar la comunicación y a mantener claro cuáles son los documentos importantes para cada área tales como procedimientos, reportes, informes entre otros.

También se destacó el uso de la aplicación para la administración del mantenimiento de activos e instalaciones (MP9) en la cual se tienen todos los detalles de los equipos, sistemas e instalaciones de las plantas, flotilla vehicular entre otros. En esta aplicación se generan los órdenes de trabajo, responsables, tiempos de ejecución, informes y documentación relacionados con tales órdenes, lo que crea un historial muy útil para los encargados de área.

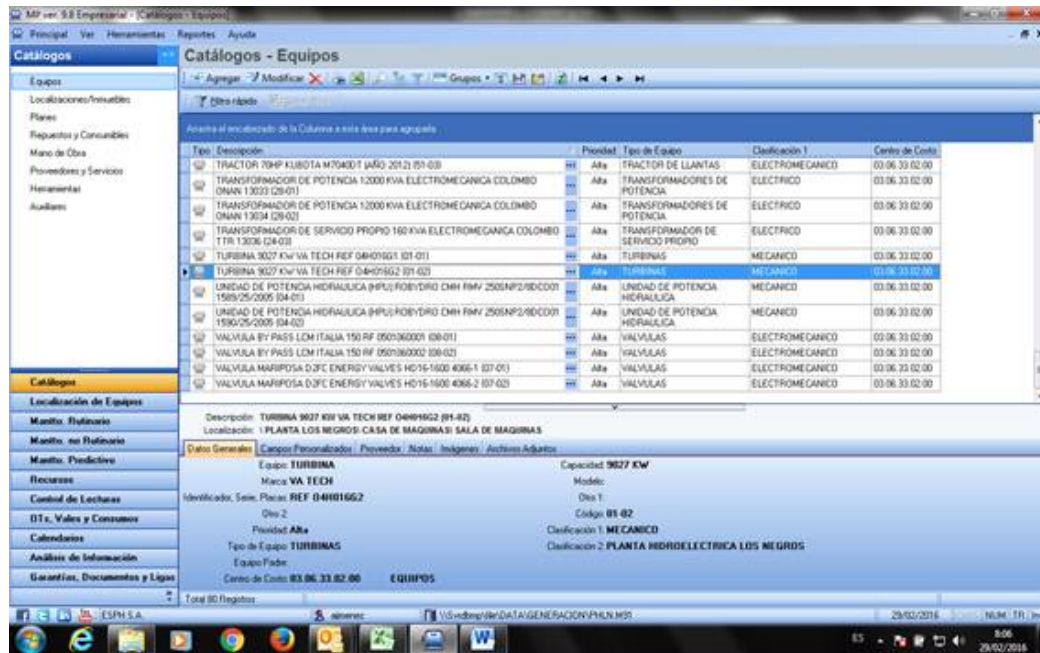


Ilustración 40. Aplicación para administración del mantenimiento MP9

Fuente: Departamento de Generación ESPH

En esta aplicación también se han gestionado las existencias y las compras de repuestos y los materiales consumibles críticos para las plantas, sus sistemas y equipos, la falta de uno de estos repuestos ha provocado paros de planta, inclusive de varios días, lo que significa grandes pérdidas económicas para la organización, lo que deja claro su importancia en el proceso. También se han gestionado las herramientas especiales y esenciales para la realización de intervenciones de mantenimiento.

Se obtuvo información de las órdenes de trabajo que contienen trabajos rutinarios y no rutinarios, para estos últimos se carece de un análisis previo de criticidad, riesgos y oportunidades de mejora. Se destacó también el uso de una aplicación para la gestión del personal de la empresa, así como la administración contable, presupuestaria, compras y licitaciones, esta aplicación desarrollada localmente funciona adecuadamente.

Gestión de riesgos

Se ha detectado una carencia en cuanto al manejo de las pérdidas económicas tanto en lucro cesante como en costo de reparaciones que puedan suceder a causa de daños por fenómenos naturales o por malas operaciones de las plantas. Se han gestionado pólizas para asegurar la estabilidad financiera de la organización en caso de que ocurra algún siniestro en alguna de las plantas.

Se detectó que no existe un análisis de los eventos que puedan generar riesgos que nunca han sucedido. Los operadores y técnicos tienen muy claro lo que ha sucedido de acuerdo a las experiencias pasadas, pero no en cuanto a lo que debe analizarse como riesgos de daños al personal o al medioambiente, esta situación hace que no haya un plan para situaciones desconocidas.

Indicadores de gestión

En el estudio se detectó que la organización tiene un estructurado sistema de indicadores de gestión. Entre estos indicadores la producción mensual por planta es el más importante, este se compara con la metas de diseño e históricos detectándose las desviaciones y determinando el porqué de estas.

También se encontró que se ha hecho un análisis de la disponibilidad de la planta tomando en cuenta los paros programados por mantenimiento, también se ha analizado la confiabilidad que tiene que ver con las fallas o averías del sistema.

Por ejemplo para el tema de la disponibilidad se tiene una meta de 95% y para la confiabilidad de un 99,5%, cualquier mes en el que estos indicadores hayan bajado de esos niveles se ha hecho un estudio profundo del evento con objetivos y metas medibles para su ejecución. El factor de planta que representa la comparación entre la máxima capacidad de producción versus la producción total del mes genera mucha información del estado de la planta que también ha sido usado como indicador para toma de decisiones con respecto a la gestión de activos.

Estos indicadores que se explicaron en el capítulo II sirven de insumo para tomar decisiones en cuanto al estado actual de los activos, estas decisiones van desde hacer mejoras importantes a las instalaciones o sistemas hasta considerar el remplazo por obsolescencia o aumento de producción.

Proceso de mejora continua

Se encontró que en la organización se han realizado auditorías internas y externas de calidad, seguridad y medioambiente que forman parte de las certificaciones que se han conseguido, esto ha generado acciones correctivas en esas áreas, sin embargo, en la gestión de activos si bien es cierto se han realizado auditorías por parte de los responsables del proceso, estas no han sido formales.

Se detectó en la organización una cultura de hacer frente a los problemas a medida que ocurren, es decir hay muchos detalles del día a día que no permiten analizar mejoras a los procesos. Hay algunos problemas o no conformidades que han ocurrido reiteradamente sin que haya una estructura de análisis de los mismos, también ha sucedido que las medidas correctivas se realizan cuando hay un gran problema de por medio.

3.7. Análisis FODA

Para el caso de análisis FODA se implementa una matriz que estructura de mejor forma los resultados del análisis. Esta matriz tiene en la lectura vertical los factores internos y, por tanto, controlables por la organización y los factores externos considerados no controlables.

Las fortalezas son todos aquellos elementos internos y positivos que diferencian a la organización de otras de igual clase, es algo que la empresa hace bien y aumenta su competitividad en el mercado. Las oportunidades son aquellas situaciones externas, positivas que se generan en el entorno y que una vez identificadas pueden ser aprovechadas.

Las debilidades son problemas internos, una deficiencia competitiva, algo que la organización carece o hace mal que una vez identificados y desarrollando una adecuada estrategia pueden y deben eliminarse. Las amenazas son situaciones negativas externas a la organización que pueden atentar contra esta, por lo que llegado al caso, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearla.

El análisis de la situación actual del proceso expone las fortalezas y las debilidades que tiene el proceso, se determinaron las brechas que se tienen partiendo del resultado del diagnóstico, esto es insumo para hacer una propuesta de mejora al proceso estableciendo cuáles son las áreas que requieren una intervención y mejora.

El próximo capítulo establecerá la propuesta y el plan de acción en la que se debe mejorar la gestión de activos de acuerdo a la situación actual.

Tabla 7. Análisis FODA del negocio de generación de energía eléctrica ESPH

Factores internos	Factores externos
<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las mejoras realizadas a los procesos internos han sido exitosas para reducir los riesgos en las instalaciones y los procesos. Estas inversiones han mejorado la seguridad del personal operativo y de las instalaciones. 2. Se considera que los indicadores de gestión y los informes de producción diaria y mensual son de gran valor para el proceso, sin embargo se puede mejorar su análisis e interpretación. 3. Los procesos de operación y mantenimiento se consideran adecuados para el proceso, todos los colaboradores conocen el funcionamiento, el control y la supervisión del proceso. 4. El sistema de priorización de actividades de mantenimiento, análisis de criticidad de los equipos y el mantenimiento preventivo y predictivo son adecuados, se insta a seguir adelante con la administración y con la aplicación informática. 5. Las reuniones y la comunicación entre los encargados de proceso y el personal técnico operativo son efectivas, se deben seguir haciendo y dando seguimiento a los acuerdos tomados. 	<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los procedimientos existentes a nivel de la organización son de mucha utilidad en el proceso, ya que además de dejar claras las responsabilidades y los trabajos a realizar.

Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las contrataciones externas no llenan las expectativas técnicas del proceso, se deben establecer controles más adecuados para el proceso desde su contratación hasta su recepción. 2. La documentación del departamento no se ha gestionado de la mejor forma, los técnicos requieren tener más a mano la información para realizar sus trabajos. 3. La aplicaciones informáticas para la operación y mantenimiento deben someterse a un estudio para detectar cuáles son las carencias y buscar nuevas opciones para sustituirlas. 4. La autoridad y las responsabilidades no están claras para los encuestados, se recomienda hacer comunicados de roles y responsabilidades para mejorar este punto. 5. La gestión de riesgos es una actividad que se realiza en forma adecuada, sin embargo, para algunas actividades no tiene un sistema estructurado ni formalizado, se recomienda estructurar y formalizar para todos los procesos. 6. El análisis de causa raíz debe mejorarse cuando se presenten fallas o averías. 7. Las herramientas utilizadas para los mantenimientos preventivos y predictivos se calificó baja, se requiere hacer un análisis de las estas para detectar necesidades de este tipo de equipos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El proceso de compras de la organización tiene muchas dificultades que comprometen los indicadores del generación. 2. El SGI no toma en cuenta los activos físicos por lo que aunque las otras áreas se auditan y se mejoran la parte de activos queda por fuera. 3. La formación y desarrollo del personal se tiene para casos muy generales, falta mucha capacitación y desarrollo técnico de acuerdo a las necesidades de operación y mantenimiento.

Fuente: elaboración propia

Capítulo IV. Propuesta estratégica de gestión de activos

En el capítulo III de este trabajo se realizó un análisis de la situación actual del negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH con respecto a la gestión de activos, se consolidó la información en un análisis FODA en el cual se resumen las debilidades en las que hay que trabajar para la propuesta de mejora.

En el presente capítulo se elabora una propuesta para la correcta implementación de la gestión de activos que desarrolla planes estratégicos y tácticos con el fin de asegurar el principal objetivo del negocio que es brindar la continuidad de la producción de energía eléctrica.

La propuesta estratégica y táctica inicia con la identificación y la jerarquización de los activos, luego se analiza su criticidad y riesgos asociados, así como las etapas del ciclo de vida con sus costos asociados y se toma en cuenta la función del mantenimiento de los activos en los procesos de adquisición, operación, modernización y retirada.

La propuesta también incluye la definición de los factores críticos de éxito para la implementación del proyecto, un plan de acción que incluye indicadores de gestión que funcionan como métricas de control y que permiten evaluar el desempeño del proceso con respecto a los objetivos y las metas previamente establecidas. Finalmente, una justificación económica que analice los impactos de las mejoras planteadas versus su implementación y desarrollo dentro de la organización.

4.1. Justificación de la propuesta

El negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH ha venido creciendo desde el 2006 hasta la fecha y con expectativas de expansión bastante fuertes. Este crecimiento se puede observar en el crecimiento que ha habido desde el 2006 hasta el 2013 en el que se pasó de tener 2.500 kW instalados (con sólo PH Jorge Manuel Dengo) a tener 27.600 kW (con la incorporación de las plantas Los Negros y Tacares).

Como se mencionó en el capítulo II se tiene a mediano y largo plazo la inclusión de nuevas plantas de generación de energía; planta hidroeléctrica Los Negros II de 28.000 kW para entrar en operación en octubre de 2017 y parque eólico El Quijote de 36.000 kW para entrar en el año 2018 lo que sumarían casi 92.000 kW de potencia instalada.

Las anteriores consideraciones hacen que se justifique la implementación de un sistema estratégico para realizar una correcta gestión de los activos que generan valor a la organización, en este caso las instalaciones, los sistemas y los equipos que estén relacionados con la producción de energía eléctrica.

Aunque existen algunas métricas para determinar el estado de la producción, se ha determinado que se requieren más controles para asegurar el buen camino del proceso tanto a nivel técnico – operativo como administrativo y financiero.

En el ciclo de vida de los activos una de las partes más importantes es el control y el mantenimiento de los activos, se requiere un seguimiento meticuloso de las condiciones de los activos para tomar decisiones acertadas durante dicho proceso. También es muy importante la parte administrativa de adquisiciones y compras de materiales y repuestos necesarios para la continuidad de los procesos, las mejoras oportunas en estos temas llevan a obtener mayores beneficios.

“El costo del mantenimiento es el segundo elemento más elevado de los costos operacionales pero el de mayor facilidad de control”¹.

El mantenimiento debe estar presente en todas las fases de la gestión de activos, de hecho en la implementación del sistema debe ser esta el área designada para tal actividad, ya que es la que tiene mayor capacidad holística desde un punto de vista técnico y económico, la priorización de actividades y los momentos justos en los que se tienen que realizar los trabajos e intervenciones a los activos.

De esta forma se constituyen las bases para que el negocio tenga en su desarrollo herramientas para que contribuyan a cumplir los objetivos empresariales y a mejorar su situación actual y analizar la posibilidad de certificarse en la norma ISO-55000 de gestión de activos.

¹Lourival Tavares

²Tiempo total en el que el activo podría operar.

³Tiempo total en el que el activo podría operar tomando en consideración solo las fallas.

4.2. Objetivos de la propuesta

Objetivo general de la propuesta

Desarrollar una propuesta de un plan para la implementación del sistema de gestión de activos en el negocio de generación de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. que contribuya a mejorar la gestión actual de la producción de energía eléctrica.

Objetivos específicos de la propuesta

1. Brindar una propuesta de gestión reforzando las áreas en las que se detectaron debilidades según el análisis de la situación actual determinadas en el capítulo III.
2. Elaborar un plan de gestión que contemple el ciclo de vida de los activos, sus costos y acciones a tomar en cuenta a lo largo de este.
3. Establecer un plan de acción y una justificación económica que permitan la implementación del sistema

4.3. Factores críticos de éxito

Los factores críticos de éxito para la implementación del sistema de gestión de activos para el negocio de generación de la ESPH son los siguientes:

1. Involucrar a la dirección de energía eléctrica y a la alta gerencia de la implementación del sistema de gestión de activos y exponer sus ventajas para obtener su respectiva aprobación.
2. Desarrollar un programa de entrenamiento técnico y administrativo involucrando a todo el personal relacionado con la gestión de los activos dentro de la organización.
3. Desarrollar y adquirir herramientas tecnológicas adecuadas para la implementación del sistema de gestión de activos (programas de administración del mantenimiento, aplicaciones y equipos para el monitoreo y diagnóstico de los equipos entre otros).
4. Desarrollar una campaña de conciencia dentro de la organización de la importancia de implementar el sistema y de sus beneficios a nivel de la continuidad y la confiabilidad de la producción de energía de las plantas hidroeléctricas.
5. Designar un responsable de dar seguimiento al sistema de gestión de activos y de su posterior certificación ante los entes correspondientes.

4.4. Desarrollo de la propuesta de gestión de activos

En todas las organizaciones hay una continua exigencia de alcanzar la excelencia operativa al disminuir las pérdidas que se presentan en sus procesos de producción. Los esfuerzos en este sentido deben garantizar la continuidad, la disponibilidad y la confiabilidad de los procesos y los equipos a menores costos. Estos esfuerzos deben centrarse tanto en aspectos técnicos – operativos como en aspectos económicos y financieros, esto se puede lograr con una gestión estructurada que asegura la eficiencia de los sistemas y la mejora continua.

La gestión de activos obtiene una estrategia para clasificar los factores críticos o claves del proceso productivo. Cualquier negocio que dependa de una gran cantidad de activos donde los gastos importantes, los recursos, la dependencia del desempeño y los riesgos están asociados con la creación (o adquisición), uso, mantenimiento (o renovación) y desincorporación de los activos debe aplicar este sistema de gestión.

Para los planes para la implementación de la gestión de activos es estrictamente necesario tomar en cuenta el impacto de las acciones en las fases del ciclo de vida, también se deben agregar tareas específicas con responsables. Es necesario proporcionar una visión de mediano y largo plazo, adjunto a ello planes para los equipos con los costos del ciclo de vida, adquisición, utilización, mantenimiento y renovación.

El manejo de los riesgos es clave para la gestión de activos, es esencial comprender las causas, efectos y probabilidades de ocurrencia de efectos adversos, gestionando óptimamente los riesgos a niveles aceptables basándose en criterios de costo, criticidad y desempeño.

Propuesta estratégica para la identificación y jerarquización de los activos basado en la evaluación de su criticidad

Como inicio de la propuesta de implementación se debe realizar la identificación de los elementos que componen las instalaciones del negocio obtenido de la documentación del proyecto, fabricación y montaje. El catastro de activos por planta incluye la ubicación, sistema operacional (o áreas de actuación), función específica, clase, prioridad, proveedor entre otros. Para complementar el catastro se incluyen datos históricos de adquisición, desplazamientos, operación y mantenimiento realizados.

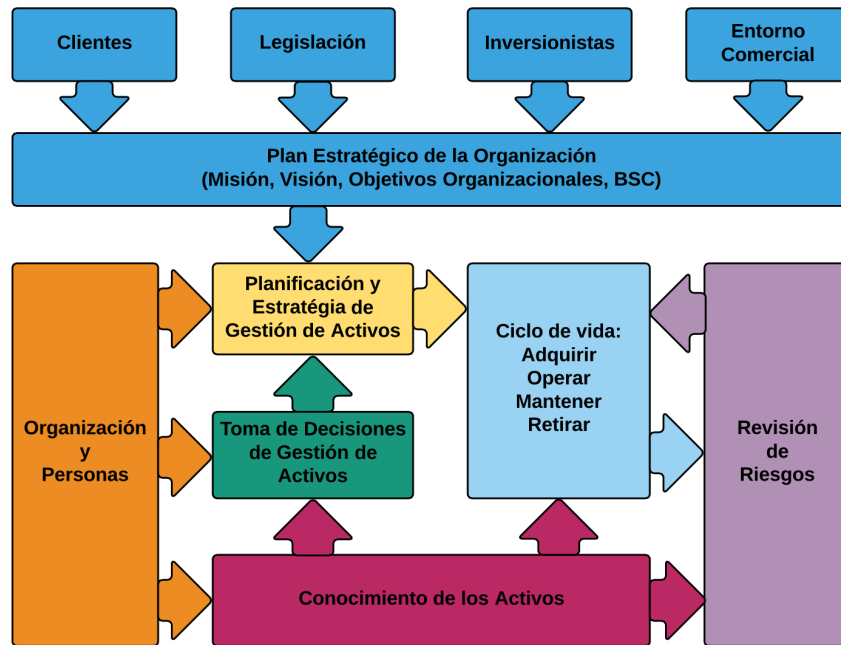


Ilustración 41. Modelo de la gestión de activos

Fuente: ISO-55002 Management Systems – Guidelines for the Applications of ISO 55001

Complementariamente se debe recolectar toda la documentación necesaria de manuales, catálogos, planos y esquemas, flujos de proceso, órdenes de compra (costos de adquisición), recomendaciones del fabricante, ajustes de operación, dimensiones y repuestos críticos. Seguidamente el sistema de gestión de activos segrega los activos físicos del negocio en base a su criticidad, es decir, su mayor o menor impacto en el sistema productivo y en la seguridad del negocio.

La criticidad de los equipos más críticos denominados con una “A” que son los que detienen el proceso y llevan a la facturación o lucro cesante, los “B” que son los que participan en el proceso, pero no interrumpen la producción y los “C” son los equipos que no participan en los procesos, se vuelve incipiente en ante los nuevos requerimientos del sistema de gestión de activos, se dejan de lado factores importantes como la seguridad y la contaminación al medioambiente.

En el capítulo II se muestra la técnica implementada en el negocio de generación de la ESPH en cuanto a gestión de riesgos operativos la cual debe ser modificada, el NPR (Número de Prioridad de Riesgo), con el cual se realizan las priorizaciones de los mantenimientos basados en los potenciales riesgos que se tengan en los procesos, se deben tomar en cuenta más factores del proceso productivo.

El NPR en ocasiones puede ser muy subjetivo desde las perspectivas de los expertos que hacen el análisis, de esta forma se deben incluir datos objetivos para generar un refuerzo al análisis de riesgo (criticidad de activos). Estos datos son: frecuencia de fallas, impactos en la producción (por una falla), costos de reparación, tiempo de reparación, impactos en la seguridad del personal, pérdida de patrimonio y de impacto ambiental. El cambio realizado consiste en agregar factores cuantitativos a los análisis para poder medir los resultados del análisis.

Se debe modificar el concepto de la criticidad que es el producto de la frecuencia por la consecuencia de una salida de la línea de producción, la frecuencia es el número de fallas en un tiempo determinado y en las consecuencias se utiliza la ponderación de varios factores o criterios de importancia en función del proceso, por ejemplo: impacto operacional, disponibilidad esperada, costos de reparación, impacto en la seguridad y el medio ambiente.

Criticidad = frecuencia X consecuencia

El análisis de criticidad de los activos se resume en la **ilustración 42**. El análisis se divide en dos partes principales: la jerarquización de los equipos principales y secundarios de los equipos dinámicos, estáticos y eléctricos, y otra para el análisis específico de criticidad de los instrumentos.

Determinación del nivel de criticidad para equipos principales de una planta

La determinación de los niveles de criticidad para estos equipos principales se fundamenta con base a los niveles de consecuencias y probabilidad que tiene cada equipo principal en los aspectos de seguridad, Higiene y ambiente, así como también el impacto en el proceso (pérdidas de producción) empleando para ello la matriz de riesgo de la **ilustración 43** definidas para un negocio en específico.

Se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación (parámetros operativos) y probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que conozcan sobre los riesgos asociados al activo que se esté analizando.
- La existencia de repuestos críticos como medio de mitigación asegura la disminución en el grado de riesgo del equipo.

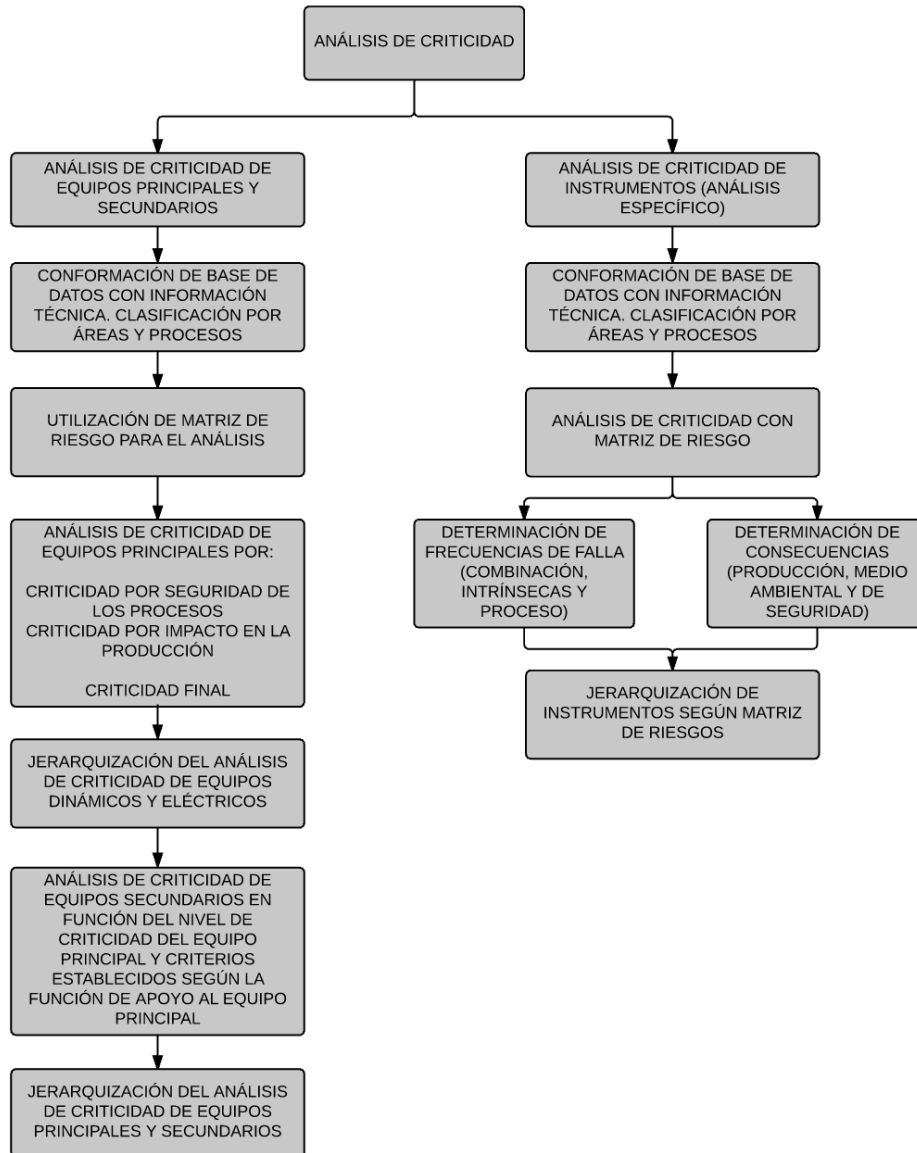


Ilustración 42. Metodología de análisis de criticidad

Fuente: elaboración propia

- Para el caso de impacto en el proceso se toma en cuenta la pérdida total de la función que desempeña el activo. El análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar (TPPR), porcentaje de pérdida de producción y costos asociados.
- Este análisis debe realizarse conjuntamente con el personal de operación y mantenimiento o con cualquier otro que manifieste conocimiento sobre los riesgos desde el punto de vista de seguridad existente en la unidad en estudio o en el activo que se está analizando.

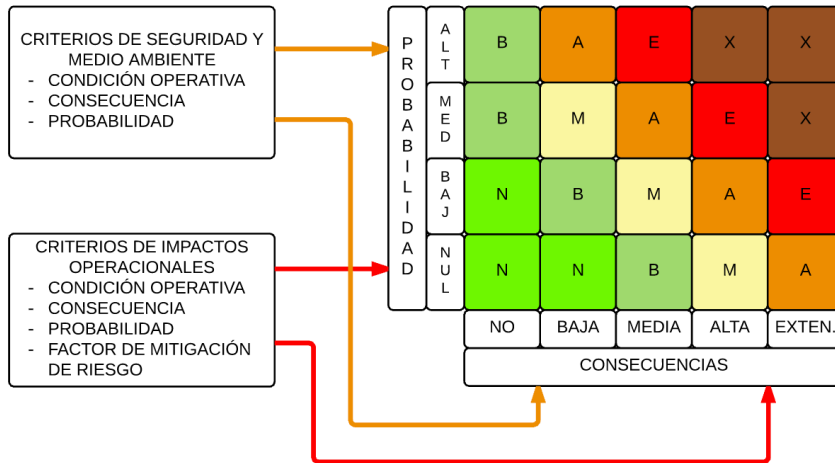


Ilustración 43. Matriz de criticidad

Fuente: elaboración propia

- Se determina que el nivel de criticidad final del equipo o sistema será el que represente el mayor nivel de criticidad resultante de la jerarquización.

Adicionalmente para determinar la criticidad de estos equipos se requiere disponer de la siguiente información técnica para los equipos principales de una planta:

- Velocidad de rotación (RPM, para equipos dinámicos), presión de operación y temperatura de operación, nos permite determinar los riesgos asociados a las variables operacionales.
- Porcentaje de pérdida de producción derivado por la falla del equipo. Este valor dependerá del plano de análisis adoptado por el responsable de la implementación. Si el análisis de criticidad es realizado a nivel de la planta este impacto será a nivel de esta, por el contrario, si el plano es más amplio, por ejemplo, a nivel de todo un complejo, este impacto será a nivel del negocio, es decir, el porcentaje de pérdida de producción todo el complejo. Bajo este último enfoque, se obtienen resultados más amplios con los que se pueden comparar equipos de diferentes plantas sobre la misma base.
- Tiempo promedio para reparar (TPPR). Este valor es importante para determinar el grado de impacto total de los equipos porque permite calcular el impacto financiero global de un equipo al definir el tiempo de su indisponibilidad.

Para este caso se utiliza la siguiente estimación de puntajes según la frecuencia e impacto:

Impacto total = (nivel de producción * TPPR) + costos de reparación + impacto en seguridad + impacto en medioambiente

Tabla 8. Criticidad de equipos por puntos

ESTIMACIÓN DE PUNTAJES	FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO)	PUNTAJE
	Menos de una por año	1
	Entre 1 y 12 por año (1 interrupción mensual)	3
	Entre 13 y 26 por año (1 interrupción cada dos semanas)	4
	Más de 27 por año (1 interrupción semanal)	6
	NIVEL DE PRODUCCIÓN	PUNTAJE
	Entre 0 y 25.000 kWh por día	1
	50.000 kWh por día	2
	75.000 kWh por día	4
	100.000 kWh por día	6
	125.000 kWh por día	9
	Más de 150.000 kWh por día	12
	TIEMPO MEDIO PARA REPARAR	PUNTAJE
	Menos de 4 horas	1
	Entre 4 y 8 horas	2
	Entre 8 y 24 horas	4
	Más de 24 horas	6
	COSTO DE REPARACIÓN	PUNTAJE
	Menos de 10 millones	5
	Entre 10 y 30 millones	10
	Más de 30 millones	25
	IMPACTO EN LA SEGURIDAD	PUNTAJE
	Sí	35
	No	0
IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	PUNTAJE	
Sí	30	
No	0	

Fuente: elaboración propia

Los puntajes en frecuencia pueden ser:

- | | |
|----------|---------|
| 1. Nula | 3. Baja |
| 4. Media | 6. Alta |

Los puntajes en las consecuencias (impacto total) serán:

- | | |
|---------------------|--------------|
| 0-32. Nula | 33-64. Baja |
| 65-96. Media | 97-130. Alta |
| Más de 131. Extrema | |

Determinación del nivel de criticidad para equipos secundarios de una planta en función del nivel de criticidad del equipo principal

Los equipos secundarios de una planta son aquellos que asisten o soportan al equipo principal en el desempeño de sus funciones. Por lo tanto, en este caso su nivel de criticidad dependerá del nivel de riesgo final del equipo principal, de las funciones y las configuraciones que esté cumpliendo dentro de la planta, para la cual se establecen los siguientes criterios para el nivel de criticidad en seguridad y medio ambiente e impacto en procesos según el tipo de equipo, como se muestra a continuación:

Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en seguridad y medioambiente:

- Transmisores y elementos de medición de procesos:
 - Criticidad alta: equipos con funciones de conversión de variables físicas a eléctricas de control.
 - Criticidad alta-media: equipos cuya función sea de control.
 - Criticidad baja: equipos cuya función sea de indicación.

- Válvulas:
 - Criticidad alta: válvulas asociadas a columnas de agua, compresores, válvulas cuya función sea aislar por completo todo un sistema dentro de un proceso.
 - Criticidad alta-media: válvulas asociadas a bombas, recipientes a presión, intercambiadores de calor y enfriadores.

- Paneles de protección, control y sistemas contraincendios:
 - Criticidad alta: todos deben ser considerados con alta criticidad.

- Válvulas de control, analizadores, detectores de fuego, elementos de medición de vibración y velocidad, válvulas de seguridad sin respaldo, equipos de generación de potencia a equipos principales, equipos auxiliares de lubricación.
 - Criticidad alta: todos deben ser considerados con alta criticidad.

- Instrumentos cuya función sea indicación:
 - La criticidad deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal.

Determinación de niveles de criticidad de los equipos secundarios según impacto en el proceso

- Válvulas de seguridad que no disponen de una facilidad de respaldo y aquellas que no tienen disposición para realizar mantenimiento, válvulas de control sin bypass, analizadores, detectores de llama, solenoides, elementos de medición de vibración, gobernadores de turbinas, reguladores de voltaje, equipos de generación de potencia a equipos principales, Instrumentos cuya función sea parada o alarma.
 - Todos estos elementos deberán tener una criticidad alta.

- Válvulas de seguridad que disponen de una válvula de respaldo y de aquellas que disponen de una facilidad de respaldo y con cuya falla o indisponibilidad de esta el equipo no queda desprotegido, equipos auxiliares del equipo principal, válvulas de control con bypass, instrumentos cuya función sea control.
 - La criticidad procesos para el equipo secundario deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en una (1) unidad a la calculada para el equipo principal.

- Instrumentos cuya función sea indicación.
 - La criticidad deberá corresponder a un nivel de riesgo menor en dos (2) unidades a la calculada para el equipo principal.

Una vez determinado el nivel de riesgo de seguridad, medioambiente y el impacto en proceso para los equipos secundarios, se selecciona el nivel de criticidad más alto arrojado por los dos criterios, con la finalidad de determinar el nivel de riesgo real de los activos, dado que los métodos que combinan las criticidades para obtener un nivel de riesgo final estarían reduciendo los riesgos más elevados.

Determinación del nivel de criticidad para los instrumentos de una planta

El nivel de criticidad para estos equipos se determina con base en los niveles de consecuencias y probabilidad, empleando la matriz de criticidad definidas para un negocio en específico.

- Riesgos en seguridad, higiene y ambiente, asociados con la operación y la probabilidad de un evento no deseado del equipo. Para este caso, el análisis será cualitativo y requerirá del conocimiento y la opinión de expertos que sepan sobre los riesgos asociados al activo en análisis.

- Para el caso de impacto en el proceso, pérdida total de la función que desempeña el activo el análisis será cuantitativo basado en el tiempo promedio entre fallas (TPEF), tiempo promedio para reparar (TPPR) y costos asociados.
- La determinación del nivel de criticidad es directa, empleando la matriz de riesgo correspondiente al sistema bajo análisis.

Para este análisis se propone que se empiece a utilizar el método de identificación de causas y efectos de Ishikawa el cual por medio de su representación gráfica (ver **ilustración 44**) ayuda a encontrar la causa raíz y, por ende, la criticidad y los problemas de funcionamiento de un activo mejorando la gestión de los encargados del proceso.

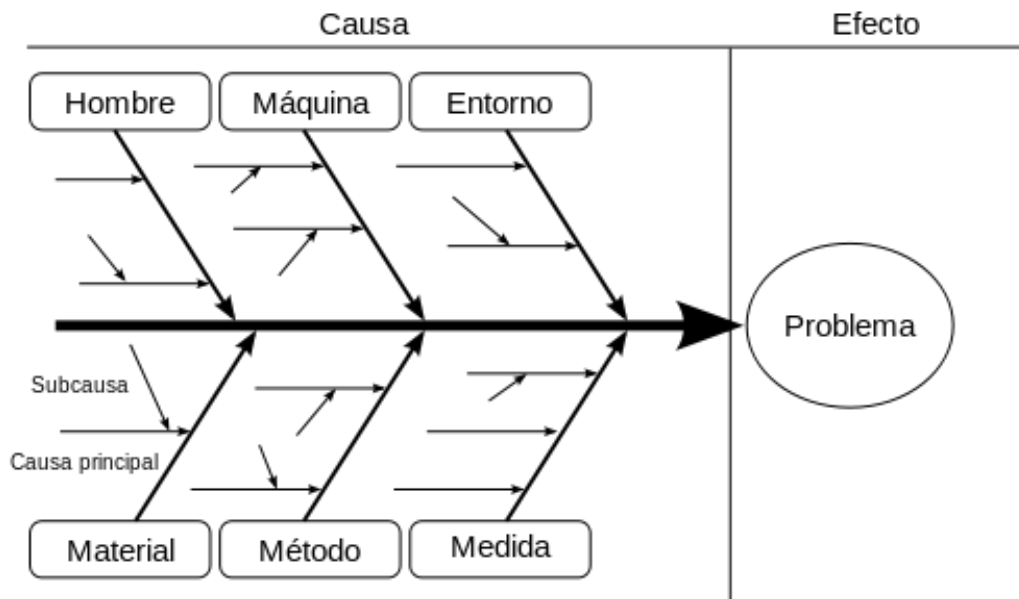


Ilustración 44. Diagrama de ishikawa

Fuente: Administración moderna del mantenimiento

La estrategia propuesta para la jerarquización y la evaluación de la criticidad de los activos es la siguiente: *“Incrementar el análisis de criticidad de los activos que generan valor al negocio, asegurando la continuidad y confiabilidad requeridas por los nuevos requerimientos de los sistemas de producción de energía eléctrica”.*

Propuesta de planificación y programación de la gestión de activos

Una vez realizada la jerarquización de los activos en función de su criticidad, se debe realizar una estrategia de inspección técnica-visual a detalle de todos los equipos clasificados como críticos para el proceso similar al que se indicó en el capítulo II.

En los sistemas de producción de energía eléctrica y en general en todos los sistemas industriales, la eliminación de las fallas contribuye a lograr un alto retorno de la inversión.

Para lo anterior se debe implementar o mejorar el sistema de órdenes de trabajo de las actividades según la etapa en la que se encuentre el activo de manera que se forme un registro histórico y al mismo tiempo se puedan controlar las acciones ejecutadas a un activo. La OT debe ser tal que los operarios y los encargados la encuentren sencilla para obtener resultados útiles y confiables.

En la organización debe existir un responsable de la planificación y control de la gestión de activos, esta persona (o grupo de personas) tendrá a cargo el análisis de los informes de gestión que se hacen mes a mes, deberá contar con la información en forma de indicadores con sus respectivas tendencias generando información confiable y organizada.

Será su responsabilidad también controlar la programación de las intervenciones y el mantenimiento de los activos, la generación de órdenes de trabajo, la recolección de datos de ejecución, los recursos aplicados, los tiempos y costos tanto del personal propio o del contratado externamente.

Todas las posibles fallas repetitivas y crónicas (cuya frecuencia de aparición puede considerarse excesiva) deben ser analizadas y valoradas en cuanto a su consecuencia dentro del negocio para luego eliminarlas, iniciar un proceso de rediseño o valorar si su costo de eliminación supera en gran medida el costo de las fallas, se podría gestionar la falla.

El responsable del proceso debe priorizar el mantenimiento, las intervenciones y los paros programados según la siguiente clasificación.

- Emergencia. El mantenimiento debe ser realizado inmediatamente después de detectada su necesidad.
- Urgencia. El mantenimiento debe ser hecho lo más temprano posible, de preferencia sin sobrepasar las 24 horas, después de detectada su necesidad.
- Necesario. Mantenimiento que puede ser postergado por algunos días, mientras que su ejecución no debe sobrepasar una semana.
- Deseable. El mantenimiento puede ser postergado por algunas semanas (no más de 4 o 5), cuidar que no sea omitido.
- Prorrogable. El mantenimiento puede prorrogarse por más tiempo, inclusive puede dejar de ser ejecutado.

Entre las otras actividades se encuentran las de integración corporativa con los demás órganos de la empresa: operación, control de calidad, recursos humanos, seguridad y medio ambiente, contratos, materiales, compras, contabilidad entre otros.

Para este caso la estrategia para la planificación y la programación de la gestión de activos es la siguiente: *“Designar un responsable que coordine y priorice todas las actividades relacionadas con la operación y mantenimiento de los activos, prestando especial atención a los indicadores de gestión y a las órdenes de trabajo que surjan del proceso productivo.”*

Propuesta para el análisis de las etapas del ciclo de vida y sus costos

Como se mencionó en los capítulos anteriores las etapas del ciclo de vida de los activos son las siguientes:

- Diseño y desarrollo.
- Fabricación e instalación.
- Operación y mantenimiento.
- Eliminación o reemplazo.

Los costos reales a lo largo de la vida útil de un activo son difíciles de calcular debido a la gran cantidad de variables de las que se depende. Costos como los de planificación, investigación, operación, mantenimiento, pruebas de puesta en marcha, formación del personal entre otros son los relacionados a las fases del ciclo de vida de los activos.

En la **ilustración 45** se muestra el ciclo de vida de un activo versus su retorno sobre la inversión, como se puede observar en las primeras fases siempre va a ser negativo (fase de fabricación, instalación y puesta en marcha) luego en un punto del proceso de producción será positivo hasta el punto en que no sea rentable para el negocio y sea vendido.

Los costos del ciclo de vida de los activos dependen principalmente de los valores derivados de la confiabilidad, por ejemplo, la tasa de fallas, el costo de los repuestos críticos, los tiempos de reparación entre otros. Este análisis de costos permite tomar decisiones en cuanto al reemplazo o continuidad del activo.

Los costos globales son la cuantificación de todos los costos durante el ciclo de vida de un proyecto o instalación y se determinan con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo Global} = \text{costo capital fijo} + \text{costo operacional} + \text{costo de ineficiencia}$$

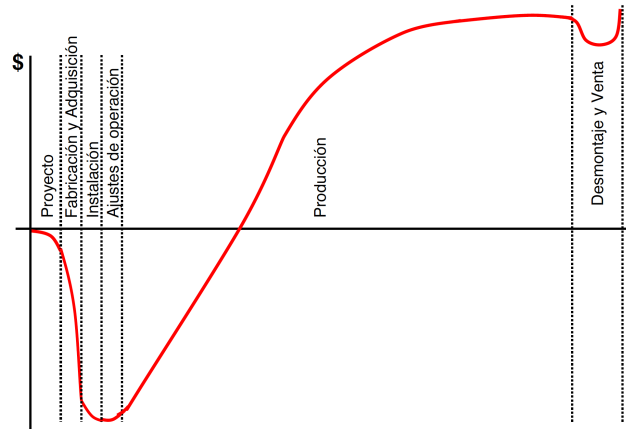


Ilustración 45. Costos del ciclo de vida de los activos y ROI

Fuente: Administración moderna del mantenimiento

El costo capital fijo es el asociado al valor que tuvieron los equipos e instalaciones en su adquisición. El costo operacional son los elementos propios de la operación de un sistema (insumos, energía, repuestos). El costo de la ineficiencia es el costo asociado a la indisponibilidad de la instalación durante el periodo de evaluación. Se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Costo_Ineficiencia} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} H * Ci * (1-D)$$

Donde:

Ci: costos de ineficiencia por tiempo (\$/día, ¢/mes)

H: periodo de evaluación dentro del ciclo de vida del activo

D: disponibilidad del sistema

i: tasa de costo de capital de la empresa

n: años de operación

k: índice para el periodo de evaluación

La sumatoria representa la actualización de los flujos de efectivo, producto de los costos de ineficiencia por cada periodo (H) de análisis. Después de definir los costos globales se tomarán acciones de alternativas de reingeniería, configuraciones del sistema o reemplazo de manera que se tenga el mínimo costo global.

Otro punto importante a tomar en cuenta para la adecuada producción de energía eléctrica siguiendo con los criterios de eficiencia y rentabilidad es el manejo correcto del inventario de repuestos, garantizando la disponibilidad requerida de los equipos tomando en cuenta la complejidad de los sistemas.

Desde el punto de vista técnico, cuantas más piezas de repuesto se dispongan en stock, más se asegurará la disponibilidad de los equipos. Desde el punto de vista económico, cuantas menos piezas haya almacenadas, menor capital inmovilizado existirá. Para asegurar una correcta cantidad de repuestos se toma en cuenta la criticidad de los equipo (jerarquización), tasa de consumo, plazos de almacenamiento y costo de cada repuesto.

La propuesta además cuenta con un desglose de los costos del ciclo de vida (LCC) de un activo a los cuales se les debe dar seguimiento para un correcto control en sus diferentes etapas. Estas etapas de los costos del LCC se presentan en el anexo 3.

La propuesta debe incluir el análisis de los costos del ciclo de vida de los activos, los cuales se resumen en:

1. Costos de instalación.
2. Costos de operación y mantenimiento rutinario.
3. Costos de mantenimientos mayores.
4. Costos de las fallas y averías.
5. Costos de pérdida de eficiencia.
6. Costos de eliminación.

El proceso de compras de materiales, servicios y repuestos debe ser más dinámico en todas las fases del ciclo de vida de los activos, desde su análisis presupuestario y de flujo de caja, hasta su parte de planteamiento de la necesidad técnico – operativa y ejecución.

Se propone un seguimiento de las compras tomando en cuenta la criticidad dentro de los sistemas productivos de parte de las unidades involucradas que permita obtener mejores resultados en la gestión de activos. Este seguimiento se debe medir con el tiempo de una compra según su urgencia dentro del proceso de operación y mantenimiento de las plantas.

Los proyectos de mejora deben contar también con esta dinámica que los haga más expeditos y tengan mayor importancia dentro del sistema, las mejoras deben ser medibles financieramente para poder realizar las inversiones.

Las contrataciones externas de servicios especializados (*outsourcing*) debe ser ampliamente analizadas en la estructura de la gestión de activos, se debe analizar también en cuáles fases del ciclo de vida de los activos se debe utilizar, en especial medida en las fases de diseño e instalación se debe analizar el impacto que puede tener en la organización. En la etapa de operación y mantenimiento el análisis va más allá, se debe tomar en cuenta el recurso humano especializado disponible para la toma de decisiones.

En el sistema de gestión de activos es muy importante incluir la certificación ISO-55000, la cual permite tomar en cuenta a los activos funcionales dentro de los procesos de gestión integrada de la ESPH.

La tecnología utilizada en los procesos debe ser consecuente con las prioridades de gestión de riesgos y optimización de los procesos, todo lo que pueda automatizarse debe recibir un análisis de eficiencia y de mejora en el proceso de producción, esto permite un mejor desarrollo de las actividades que actualmente se realizan de manera manual y que pueda representar un desperdicio de recursos.

Se debe implementar un plan de capacitación técnica de acuerdo a los requerimientos que se tienen en las plantas de generación hidroeléctrica, aunque el tema es bastante específico, hay diferentes instituciones que brindan apoyo en este sentido, las cuales pueden llenar las expectativas para un mejor desarrollo del proceso.

A la parte financiera del negocio se le da seguimiento en la unidad de recursos financieros, quienes toman los datos de las unidades de contabilidad y tarifas. Después de recabar la información se elaboran los estados de resultados mensuales, los balances de situación y los flujos de caja mensuales y acumulados. Además se generan indicadores financieros (liquidez, apalancamiento, actividad y rentabilidad) que generan información de estado actual de negocio.

Esta información debe estar más relacionada con el proceso productivo y no deben estar paralelas o aisladas, de hecho, se han acercado en los últimos meses mejorando la situación desde un punto de vista de las verdaderas necesidades del negocio que se obtienen del análisis de criticidad.

En la parte del concepto y definición de los activos se debe reforzar el acompañamiento con las unidades administrativas de la ESPH. Es muy importante mejorar las proyecciones de las inversiones y sus retornos de inversión para no crear proyectos o compras de activos que no tengan un retorno adecuado o peor aun una inversión sin retorno. Lo anterior debe tomar en cuenta los costos de inversión y de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de los activos en su fase productiva.

En la fase de diseño y desarrollo el acompañamiento entre las unidades ejecutoras de proyectos y el personal de operación y mantenimiento de las plantas debe coordinarse para aprovechar la experiencia que se ha obtenido con el tiempo a cargo con las plantas en funcionamiento, conceptos de mantenibilidad (facilidad de un sistema o equipo para ser intervenido), control de procesos, calidad de estructuras, materiales, pintura entre otros pueden mejorarse con estos análisis en conjunto. Además entre los dos procesos se deben establecer las especificaciones de la documentación técnica a entregar y de las pruebas necesarias que se deben incluir en el suministro de los activos.

Al igual que en los puntos anteriores en la fase de fabricación e instalación de los activos debe existir una cooperación entre los encargados del proyecto y los eventuales encargados de operación y mantenimiento, esto tiene dos efectos positivos; el aprovechamiento de la experiencia del personal que ha administrado los activos similares y generar conocimiento específico de los nuevos activos.

Para el proceso de operación y mantenimiento se debe estructurar la comunicación entre los encargados de los procesos, esto se realiza con mejor trazabilidad de documentos y elaboración de informes técnico – operativos que incluyan aspectos relacionados con la gestión financiera del negocio.

La propuesta incluye la implementación del TPM (Mantenimiento Productivo Total) donde se lleva a cabo una optimización del mantenimiento de los activos involucrando al personal operativo en tareas de mantenimiento básicas, lo cual busca que se genere un compromiso de los operarios con los activos que se relacionan y con su entorno. Lo anterior se logra con un adecuado trabajo en equipo y con capacitación adecuada para generar un proceso de cambio cultural y organizacional con el objetivo de mejorar la continuidad de la producción.

Es fundamental que la aplicación informática existente sea cargada con órdenes de trabajo y reportes de ejecución de estas que generen un historial real y que sirva para la toma de decisiones en el futuro. También es de mucha importancia mejorar la gestión de los servicios de diagnóstico especializado que se pueden hacer a lo interno y dejar de contratar a lo externo, lo cual puede llegar a generar mayor valor a los colaboradores del proceso, para lograr esta meta es necesario tener claro el objetivo del desarrollo del talento humano del personal técnico.

Para la etapa de eliminación de los activos se propone que se realice un análisis más detallado que incluya las siguientes acciones:

- Sustitución del activo. Reemplazo previsto de los activos por distintas razones como la expansión del sistema productivo, en esta opción se tiene como objetivo minimizar el riesgo de degradación y baja en el rendimiento al final de su vida útil.
- Retiro. El activo se retira de servicio debido a la expansión del sistema productivo, pero se conserva por razones estratégicas, como para piezas de repuesto o para emergencias.

Se debe hacer un amplio análisis técnico – financiero antes de sustituir o eliminar un activo, las sustituciones son irreversibles y pueden comprometer grandes cantidades de dinero. El avanzado deterioro de un activo es la principal causa para su sustitución, este deterioro por lo general tiene altos costos operativos y un aumento en los costos de mantenimiento, se consideran también los riesgos de las fallas y las consecuencias de la indisponibilidad.

Se debe considerar en el análisis qué valor agregado va a tener la sustitución y analizar el anticipo de un colapso del sistema debido al deterioro con las consecuencias que esto pueda generar. Este punto se debe considerar a la hora de los análisis del valor actual neto del proyecto de sustitución. Otro punto que se debe tomar en cuenta es la evolución tecnológica y de eficiencia que se pueda tener con las sustituciones para mejorar la rentabilidad del negocio. Se trata de eliminar el rezago tecnológico en los procesos.

La estrategia para el análisis del ciclo de vida de los activos es la siguiente: *“Profundizar en el tema de los costos, adquisiciones y contrataciones, cantidad óptima de materiales y repuestos relacionados con el proceso, tecnología, capacitación, finanzas y optimización operativa para mejorar las condiciones del negocio logrando mejores resultados para la organización”*

4.5. Propuesta de métricas de control

En el capítulo II se explicaron los indicadores de gestión que se toman en cuenta actualmente para medir el desempeño de las plantas de producción de energía eléctrica. Para una correcta gestión de activos se realizará una propuesta de cambio en el concepto de algunos de los indicadores de activos y la inclusión de indicadores de costos y de recursos.

Indicadores de sistemas y equipos (gestión de activos)

En los informes mensuales de gestión de las plantas de generación eléctrica deben tomarse los siguientes datos del estado de los equipos críticos de las plantas:

- NOIT: número de equipos bajo control.
- HROP: horas de operación.
- HRMP: horas de mantenimiento preventivo.
- HTMC: horas totales de mantenimiento correctivo.
- NTMC: número total de mantenimientos correctivos.
- NTMP: número total de mantenimientos preventivos.
- TPEI: tiempo promedio entre intervenciones preventivas y correctivas.
- TPPI: tiempo promedio para ejecutar intervenciones preventivas y correctivas.
- NMPR: número de mantenimientos previstos.
- NMEJ: número de mantenimientos ejecutados.

De estos datos se obtienen los indicadores que se muestran en el **Anexo 4**.

Las metas asociadas a los indicadores de gestión de activos y sus correspondientes perspectivas se definen a continuación.

Tabla 9. Perspectivas de gestión de activos

INDICADOR	META AÑO 1	META AÑO 2	META AÑO 3
Tiempo promedio entre fallas (hr)	250	496	744
Tiempo promedio para reparación (hr)	1	0,5	0,3
Disponibilidad %	96	97	98
Confiabilidad %	99	99,3	99,5%
Tiempo promedio entre mantenimientos preventivos	180	248	372
No conformidades de mantenimientos	2	1	0

Fuente: elaboración propia

Indicadores de costos (gestión financiera)

Este es una parte importante de las métricas necesarias para la correcta gestión de activos. Se deben tomar en cuenta los siguientes costos de mantenimiento:

- Personal (salarios, cargas sociales, auxilio médico, capacitación)
- Materiales (repuestos, energía y agua, almacenaje, compras)
- Contrataciones (servicios y recursos para actividades de mantenimiento)
- Depreciación (costo de reposición)
- Facturación cesante (pérdidas de producción, pérdidas de materia prima, procesos jurídicos)

Se plantean indicadores financieros que permitan a los encargados de la gestión de activos realizar una comparación de costos relativos a las áreas bajo las cuales puedan tomar decisiones para la eventual corrección de distorsiones y establecimiento de metas. Dentro de la información de los reportes deben incluirse los siguientes datos:

- CTMN: costos totales del mantenimiento.
- CTPR: costos totales de la operación.
- CMOP: costos por mano de obra propia.
- CMOC: costos por mano de obra contratada.
- CMAT: costos de materiales.
- FTEP: facturación del negocio en el periodo considerado.
- VLRP: valor de compra de los activos.
- TBMP: índice de tiempo en mano de obra de trabajos de mantenimiento programado.
- PRTP: producción total en el periodo considerado (se propone que sea en kWh).
- CEPM: costos de capacitación en áreas relacionadas a gestión de activos.
- CIRP: capital inmovilizado en repuestos.
- CIEQ: capital invertido en equipos.
- VLVT: valor de reposición o venta de un equipo

Posteriormente se generan los indicadores financieros relacionados a la gestión de activos que se muestran en el **Anexo 4**.

Las metas asociadas a los indicadores de gestión financiera y sus correspondientes perspectivas se definen a continuación.

Tabla 10. Perspectivas de gestión financiera

INDICADOR	META AÑO 1	META AÑO 2	META AÑO 3
Costo de mantenimiento por facturación	0,40	0,35	0,30
Componente del costo de mantenimiento	5%	8%	11%
Costo de mantenimiento con respecto a la producción	17	15	13

Fuente: elaboración propia

Indicadores de recursos

La mano de obra y recursos necesarios para realizar una correcta gestión de activos también deben tener una forma de ser medida. Los siguientes datos se requieren para luego obtener los respectivos indicadores de recursos.

HHDP: cantidad de horas hombre disponibles en el periodo.

HHMC: cantidad de horas hombre en mantenimiento correctivo.

HHMP: cantidad de horas hombre en mantenimiento preventivo.

HHOA: cantidad de horas hombre en otras actividades (producción, legales, institucionales).

HHEC: horas hombre en capacitación.

HHEF: horas hombre efectivas.

HHLI: horas hombre de licencia (vacaciones, incapacidades, capacitación externa, apoyo a otras áreas)

A partir de los datos generados en la gestión de activos relacionados con los recursos disponibles para su ejecución se obtienen los indicadores de desempeño que se muestran en el **Anexo 4**.

Las metas asociadas a los indicadores de gestión de recursos y sus correspondientes perspectivas se definen a continuación.

Tabla 11. Perspectivas de gestión de recursos

INDICADOR	META AÑO 1	META AÑO 2	META AÑO 3
Trabajos en mantenimiento correctivo	0,4	0,2	0,1
Trabajos en mantenimiento preventivo	0,2	0,4	0,5
Capacitación del personal de gestión de activos	0,1	0,2	0,3
Efectivo real o efectivo medio diario	0,5	0,6	0,8

Fuente: elaboración propia

Indicadores de órdenes de trabajo y compras asociadas a la gestión de activos

Las órdenes de trabajo de mantenimiento son el termómetro de la gestión del mantenimiento, es decir, un adecuado control de estas influye en la efectividad del departamento. A continuación se presentan los diferentes indicadores relacionados con las órdenes de trabajo:

OTGP: número de órdenes de trabajo generadas durante un periodo.

OTEJ: número de órdenes de trabajo ejecutadas.

OTPE: número de órdenes de trabajo pendientes de ejecución

OTTE: número de órdenes de trabajo por emergencia, trabajos correctivos por una avería de un equipo que tienen que ser resueltas de inmediato.

Para el caso de las compras de materiales, repuestos, servicios entre otros se debe realizar un seguimiento de los siguientes datos:

OCSO: número de solicitudes de órdenes de compra.

OCPA: número de solicitudes de órdenes de compra en espera de aprobación.

OCEJ: órdenes de compra ejecutadas.

El indicador principal sería el de órdenes de compra pendientes entre las ejecutadas. Se generan a partir de estos datos los indicadores que se muestran en el **Anexo 4**.

Las metas asociadas a los indicadores de gestión de recursos y sus correspondientes perspectivas se definen a continuación.

Tabla 12. Perspectivas de gestión de OT y OC

INDICADOR	META AÑO 1	META AÑO 2	META AÑO 3
Órdenes de trabajo ejecutadas	0,4	0,6	0,7
Órdenes de trabajo pendientes	0,3	0,4	0,6
Órdenes de compra pendientes	0,6	0,4	0,2

Fuente: elaboración propia

Backlog

El *backlog* es el tiempo que el equipo encargado de la gestión de activos deberá trabajar para ejecutar las órdenes de trabajo pendientes, suponiendo que no lleguen nuevas órdenes de trabajo durante la ejecución de los pendientes. Se puede definir también como el tiempo en que los pedidos de mantenimiento aguardan en fila, el *backlog* será la relación entre la tasa de llegada de una OT y la tasa de ejecución de la OT.

El valor del *backlog* se realiza sumando las horas hombre disponible en el periodo, más los valores de horas hombre estimados de las órdenes de trabajo abiertas en el día, a eso se le resta las horas hombre de las órdenes de trabajo ejecutadas. El resultado de esta operación, es dividido entre las horas hombre promedio productivas del periodo considerado (por lo general se usa el mes). En la **tabla 13** se muestra un ejemplo del *backlog* de una empresa.

Tabla 13. Ejemplo de backlog

BACKLOG PARA GRUPO ENCARGADO DE GESTIÓN DE ACTIVOS 36 HORAS HOMBRE PRODUCTIVAS POR DÍA A LO LARGO DEL MES				
	MES ANTERIOR:		927	25.75
DÍA	ABIERTAS	EJECUTADAS	PENDIENTES	BACKLOG
01	32	43	916	25,44
02	11	32	895	24,86
03	13	54	824	23,72
04	10	49	815	22,64
05	12	48	739	21,64
06	13	36	656	21,00
07	19	35	660	20,56
08	13	33	600	20,00
09	13	32	581	19,47
10	17	33	515	19,03
11	15	41	509	18,31
12	19	37	501	17,81
13	11	38	504	17,06
14	15	35	514	16,50
15	22	39	517	16,03

Fuente: elaboración propia

Para este caso la interpretación del indicador *backlog* se realiza con la tendencia que se presente; estable, creciente, creciente por escalones, decreciente por escalones y diente de sierra. En la **ilustración 46** se grafican los datos de la **tabla 13**, donde se muestra que el *backlog* tuvo un comportamiento decreciente en los primeros 15 días y se estabilizó en los últimos 15 días.

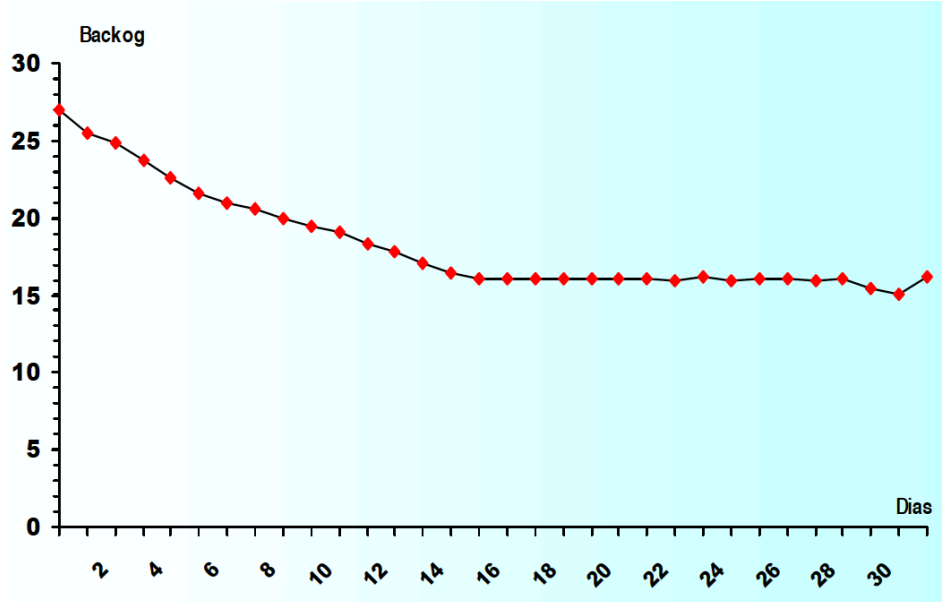


Ilustración 46. Tendencia del backlog del ejemplo

Fuente: elaboración propia

Entre las interpretaciones que se deben tomar en cuenta el *backlog* creciente indica insuficiencia de personal, deficiencia de herramientas y materiales o simplemente una mala gestión del personal, el *backlog* decreciente indica sobredimensionamiento del equipo de trabajo produciendo excesivas horas ociosas.

4.6. Plan de acción

Para la correcta implementación del sistema de gestión de activos se define un plan de acción que detalla las actividades principales que deben desarrollarse.

1. Se debe iniciar con una presentación a la dirección de energía y posteriormente a la gerencia general de la ESPH, para que avalen la propuesta del sistema de gestión de activos.
2. Luego se solicita una reunión con el personal que va a estar involucrado en el sistema (encargados de operación y mantenimiento de las plantas, personal de recursos financieros, contabilidad, compras entre otros).
3. Presentar el concepto de gestión de activos y sus objetivos.
4. Es necesario establecer los roles, las responsabilidades y las autoridades buscando implementar una estructura organizacional que ejecute la planificación y así visualizar el desempeño.

5. Realizar sesiones de trabajo para identificar los procesos que requieren ajustes para mejorar la gestión de activos.
6. Realizar una campaña de divulgación del sistema de gestión de activos de manera que se conozca los que se está realizando.
7. Incrementar las competencias por persona que esté relacionada con el sistema de gestión de activos asegurando la correcta ejecución.
8. Realizar la jerarquización y el análisis de criticidad de los sistemas y los equipos con las técnicas de la propuesta.
9. Realizar la diferenciación de los costos de un activo desde la perspectiva del ciclo de su vida.
10. Revisar constantemente los informes de gestión y financieros detectando cualquier desviación que pueda significar un cambio en el uso de los recursos.
11. Verificar que el personal operativo esté alineado con las actividades de la gestión de activos dentro de la organización.
12. Luego de alcanzar la madurez necesaria en el sistema de gestión de activos se debe iniciar la certificación con los entes pertinentes basándose en la norma respectiva la ISO-55000, la cual sería complementaria a las certificaciones ya existentes ISO-9001, ISO-14000 y OHSAS-18000.

4.7. Justificación económica de la propuesta

La implementación de los proyectos requiere que haya una relación costo-beneficio que haga que estos tengan una viabilidad económica que produzca un buen ambiente y apoyo dentro de la organización.

Una manera de proyectar los beneficios potenciales, económicamente hablando, que puede ofrecer la implementación del sistema de gestión de activos es comparar el desempeño actual con el resultado posible de la eventual mejora.

En el capítulo I de este trabajo se realizó una explicación del funcionamiento del negocio de generación de energía eléctrica dentro de la ESPH; lo que se busca es realizar un costo evitado o descuento de la factura por compras de energía eléctrica al ICE para su respectiva distribución en la ciudad de Heredia. Los réditos económicos del negocio consisten simplemente en que la producción de energía y demanda máxima de cada mes se multipliquen por la tarifa vigente de las tablas 1 y 2.

A continuación se explica el análisis para verificar que la implementación del sistema de gestión de activos es económicamente viable y también sus consecuencias una vez implementado y funcionando como la mejora continua que se requiere. Una opción muy usada en el medio para la justificación de inversiones para la implementación de programas de la gestión de activos es estimar las fallas del sistema que puedan provocar paros de producción o riesgos de seguridad o medio ambiente.

Como se mencionó en el capítulo II las pérdidas de beneficios económicos de las plantas de generación eléctrica en cuanto a potencia, a causa de una falla, van de los ¢6.000.000 a los ¢46.000.000 aproximadamente. Se estima que con la implementación del sistema de gestión de activos se mejore la parte operativa evitando estas pérdidas de manera que el ciclo de vida de los activos recupere la inversión de sus primeras fases.

En este punto se deben calcular los costos de la implementación del sistema de gestión de activos para el negocio de generación, estos costos comprenden los internos y los externos, el personal, el equipamiento, y las consultorías de apoyo entre otros.

A continuación se muestra un resumen del costo anual para la implementación del sistema de gestión de activos.

- Contratación de profesional responsable del proceso de gestión de activos:
¢ 13.000.000 al año.
- Contratación de técnico en mantenimiento que realice todo el levantamiento de activos:
¢ 7.000.000 al año.
- Inversión en equipamiento de transporte (vehículo) para realizar giras a las plantas de producción: ¢ 20.000.000.
- Inversión en equipamiento informático (computadoras, software) para la implementación del sistema: ¢ 7.000.000.
- Consultorías externas para temas relacionados con la gestión de activos: ¢ 8.000.000 (¢4.000.000 en años cero y dos).
- Capacitación del personal contratado y fijo para la implementación del sistema:
¢ 6.000.000 (¢ 3.000.000 en años cero y tres).

TOTAL: ¢ 141.000.000 (a lo largo del periodo del proyecto – cinco años)

Con el costo y el beneficio ya calculados se realiza una evaluación costo-beneficio mediante el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) para presentarlo en la dirección o gerencia, con el fin de mostrar los beneficios económicos que el proyecto puede generar y su rentabilidad.

Tabla 14. Análisis financiero de la implementación de la propuesta

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO							
	0	1	2	3	4	5	
INGRESOS MEJORA EN PRODUCCIÓN		46.000.000	50.600.000	55.660.000	61.226.000	67.348.600	
+ DISMINUCIÓN DE FALLAS		46.000.000	50.600.000	55.660.000	61.226.000	67.348.600	
- DEPRECIACIÓN VEHÍCULO		(4.000.000)	(4.000.000)	(4.000.000)	(4.000.000)	(4.000.000)	(20.000.000)
- DEPRECIACIÓN EQUIPO COMPUTO		(2.333.000)	(2.333.000)	(2.334.000)			(7.000.000)
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		39.667.000	44.267.000	49.326.000	57.226.000	63.348.600	
- ESPH ESTÁ EXONERADA DE IMPUESTOS		-	-	-	-	-	
UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTO		39.667.000	44.267.000	49.326.000	57.226.000	63.348.600	
+ DEPRECIACIÓN VEHÍCULO		4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	
+ DEPRECIACIÓN EQUIPO COMPUTO		2.330.000	2.330.000	2.340.000			
- EQUIPO DE TRANSPORTE (VEHÍCULO)	(20.000.000)						
- EQUIPOS INFORMÁTICOS	(7.000.000)						
- CAPITAL DE TRABAJO (SALARIOS)	(20.000.000)	(20.000.000)	(20.000.000)	(20.000.000)	(20.000.000)		
- CONSULTORÍAS EXTERNAS	(4.000.000)		(4.000.000)				
- CAPACITACIONES	(3.000.000)			(3.000.000)			
+ VALOR RESIDUAL VEHÍCULO						10.000.000	
+ VALOR RESIDUAL EQUIPO COMPUTO						1.000.000	
= FLUJO DE CAJA NETO	(54.000.000)	25.997.000	26.597.000	32.666.000	41.226.000	78.348.600	
VAN (AL 12%)	84.322.554						
TIR	53%						

Para este caso se tienen los siguientes indicadores:

- VAN > 80.000.000 calculado a cinco años con una tasa del 12% (tasa mínima requerida para ejecución de proyectos en la ESPH).
- TIR > 50% calculada a partir de cinco años.
- Periodo de recuperación de la inversión < 2 años.

Los indicadores anteriormente expuestos son reflejo de que tan rentable es la implementación del sistema de gestión de activos, con los montos de costos y beneficios calculados anteriormente.

La propuesta de implementación del sistema de gestión de activos en el negocio de generación de la ESPH tiene como objetivo mejorar la competitividad de la ESPH, desde esta perspectiva lo que se busca es optimizar las ganancias de la organización.

Todos estos cálculos pueden convertirse en indicadores de la efectividad de la gestión de activos en el negocio, sin embargo no se analizará en este trabajo, si no que se proponen para la fase de implementación, la cual está fuera del alcance de este trabajo.

Hay que tener claro que la gestión de activos no busca reducir los costos de las fases del ciclo de vida de los activos (diseño, desarrollo, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y eliminación o reemplazo), sino aumentar la rentabilidad de la inversión de la empresa a través de mejoras sustanciales en el proceso.

Finalmente, se debe dar seguimiento a los siguientes indicadores de rentabilidad del negocio.

Rendimiento de operación sobre activos – ROA (Return On Assets): generación de utilidad de operación por parte del activo total invertido, independientemente del financiamiento (cuánto genera de utilidad de operación cada colón de los activos).

$$\text{ROA} = \text{utilidad de operación} / \text{activo total}$$

Rendimiento sobre la inversión – ROI (Return On Investment): generación de utilidad neta por parte del activo total (cuánto genera de utilidad neta cada colón de los activos).

$$\text{ROI} = \text{utilidad neta} / \text{activo total}$$

Con este capítulo se concluye con la propuesta de implementación del sistema de gestión de activos, a continuación se realizan las conclusiones generales del trabajo realizado y una serie de recomendaciones específicas que han surgido en el desarrollo del trabajo el cual tiene como objetivo mejorar la eficiencia de los procesos productivos del negocio de generación y por consiguiente mejorar las finanzas de la ESPH.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan las conclusiones y las recomendaciones del presente trabajo.

5.1. Conclusiones

1. El negocio de generación de energía eléctrica de la ESPH cuenta en este momento con una gestión operativa y de mantenimiento que, si bien es cierto ha funcionado, debe mejorar en varios ejes, los cuales se determinaron en el análisis de la situación actual.
2. La planificación de la gestión de activos tiene ciertas metodologías que deben ser replanteadas para obtener mejores resultados sobre todo en la parte financiera y de gestión de riesgos.
3. Cada planta debe ser un negocio rentable y debe existir en todo el negocio de generación de energía eléctrica indicadores financieros positivos como las ROA y ROI. Lo anterior es proporcional a los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de los procesos.
4. En el proceso operativo una falla de un equipo crítico puede tener consecuencias desde altos lucros cesantes (incluyendo costos de reparación o reposición de equipos) hasta consecuencias que atentan contra la seguridad de las personas o el medio ambiente.
5. Aspectos importantes como los procesos de compras y contrataciones, licitaciones, contrataciones de servicios externos (*outsourcing*), la gestión de la documentación técnica, el apoyo del sistema de gestión integrada, la gestión de aplicaciones informáticas entre otros deben ser analizadas, ya que presentan muy baja percepción dentro de la organización.
6. Se evidencia una falta de estudios de costos en las fases del ciclo de vida de los activos, lo cual debe mejorar para una correcta gestión de activos.
7. La gestión de riesgos operativos no forman parte de los informes de gestión de las plantas hidroeléctricas lo cual genera un inadecuado seguimiento de estos.

5.2. Recomendaciones

1. Es fundamental para el proceso mejorar la medición del desempeño de las actividades de producción de energía por medio de la implementación del seguimiento de todos los indicadores propuestos tanto a nivel técnico – operativo como financiero.

2. Las personas asignadas para la implementación del sistema de gestión de activos deben contar con verdadero compromiso con el proceso para que sea un éxito.
3. El desarrollo de una comparación de los indicadores con empresas del ramo (*benchmarking*) ayuda a mejorar los resultados esperados.
4. La capacitación especializada en temas específicos para los ingenieros y los técnicos para reforzar las actividades de la gestión de activos debe ser continua y efectiva.
5. Incluir dentro del sistema de gestión de activos las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) valida y estandariza el proceso.
6. El sistema de gestión de activos debe certificarse al igual que los procesos de calidad, seguridad y medioambiente (la norma es la ISO-55000).
7. En el proceso de implementación se debe tener un manejo hacia el cambio de ciertas formas estratégicas para la gestión del negocio, el cambio tiene que ser de todos los involucrados, desde la gerencia general hasta el personal operativo.
8. El análisis de la criticidad de los equipos primarios y secundarios (los que puedan provocar un riesgo operativo, económico, de seguridad o de medio ambiente) debe ser continuo y reflejar el riesgo operativo y financiero del negocio.
9. Se recomienda implementar la propuesta debido a que por su análisis económico se pueden lograr muchos beneficios y seguridad para el negocio de generación de energía eléctrica y en general para la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.
10. El análisis FODA realizado debe actualizarse cada cierto tiempo (puede ser una vez al año) para darle seguimiento a los aspectos que han mejorado y a los que han empeorado.

A partir de estas recomendaciones se debe implementar el sistema de gestión de activos, el cual asegura la mejora continua del negocio de generación de energía eléctrica. Se debe prestar especial atención en la persona que van a liderar el proceso, ya que de esta va a depender el éxito de su la implementación. Las mejoras del proceso en materia financiera, de productividad y de recursos se aseguran implementando la filosofía de la gestión de activos mejorando el desempeño de la producción.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, A. (2009). Gerencia estratégica de activos. Optimice la inversión de sus activos para maximizar beneficios del negocio mediante el análisis de costo beneficio de un programa de mantenimiento. www.aciem.org

Amendola, L. (2012). Metodología de diagnóstico en la gestión integral de activos físicos en la industria. Caso: industria eléctrica. PMM Institute for Learning.

Andritz-Hydro (2016). www.andritz.com

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. www.aresep.go.cr

Caro, J. (2010). Electrones en movimiento, conceptos y definiciones de electricidad. <http://electronesenmovimiento.blogspot.com/>

Creager, W. (1963). The hydroelectric handbook. Editorial Cahpman & Hall.

Dirección Sectorial de Energía, MINAE. (2014). Balance nacional de energía en Costa Rica. www.dse.go.cr

Enriquez, G. (2009). Tecnologías de generación de energía eléctrica. Editorial: Limusa.

Escuela de Historia, Universidad Nacional. (2006). La transición energética en costa rica y sus consecuencias, 1911-1929. Editorial: UCR.

Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (2016). Plan Estratégico 2015-2021. www.esph-sa.com

Fernández, J. (1985). 100 años de actividad eléctrica en Costa Rica: 1884-1984. Litografía e Imprenta LIL.

Gutiérrez, E. (2012). Análisis de criticidad integral de activos. Reliability and Risk Management.

Instituto Costarricense de Electricidad. **(2014)**. Plan de expansión de la generación eléctrica 2014-2035. www.grupoice.go.cr

International Copper Association Latin America. **(2012)**. Guía básica para la implementación de la gestión de activos en empresas de energía. www.procobre.com

International Electrotechnical Commission. **(2004)**. IEC 60300-3-3 Dependability management. Application guide. Life cycle costing. www.iec.ch

International Infrastructure Management Manual. **(2014)**. Quick guide: Requirements for asset management.

International Organization of Standardization. **(2014)**. ISO 55000 asset management – overview, principles and terminology. www.iso.org

International Organization of Standardization. **(2014)**. ISO 55001 management systems – Requirements. www.iso.org

International Organization of Standardization. **(2014)**. ISO 55002 management systems – guidelines for the applications of ISO 55001. www.iso.org

Lifetime Reliability Solutions. **(2014)**. How to built your asset management system quickly. www.lifetime-reliability.com

Metcalf, J. **(2012)**. The history of electricity. <http://electric-history.com/>

Museo Histórico y Tecnológico del Grupo ICE. **(2002)**. Historia de los servicios públicos de Heredia. Editorial: ICE.

Rodríguez, E. **(2004)**. *Costa Rica en el siglo XX*. Editorial: Universidad Estatal a Distancia.

Salas, T. **(2015)**. Análisis y diagnóstico financiero, enfoque integral. Ediciones: El Roble del Atlántico.

Serway, R. **(2009)**. Física moderna. Editorial: Cengage Learning Editores.

Tavares, L. **(1999)**. Administración moderna del mantenimiento. Novo Polo Publicações.

The Institute of Asset Management. **(2014)**. The Self-Assessment Methodology – Guidance. www.theiam.com

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. **(2006)**. IEEE STD-762 standard definitions for use in reporting electric generating unit reliability, availability, and productivity. www.ieee.org

The British Standard Institute. **(2015)**. *EN 16646 maintenance within physical asset management*. <http://www.bsigroup.com/>

Thompson, A. **(2012)**. *Administración estratégica*. Editorial: McGraw-Hill Interamericana.

ANEXOS

Anexo 1. Clientes y consumos de los negocios de la ESPH

Tabla 15. Clientes y consumo de negocio de agua potable, ESPH

TARIFA	CLIENTES	CONSUMO m ³	PROMEDIO CONSUMO
DOMICILIARIA	61.761	1.159.797	19
EMPRESARIAL	5.689	257.342	45
INSTITUCIONAL	583	53.143	91

Tabla 16. Clientes y consumo de negocio de aguas residuales, ESPH

TARIFA	CLIENTES	CANTIDAD TRATADA EN m ³	PROMEDIO POR MES EN m ³
DOMICILIARIA	18.153	310.891	17
EMPRESARIAL	3.208	125.749	39
INSTITUCIONAL	260	23.250	89

Tabla 17. Clientes y consumo de negocio de energía eléctrica ESPH

TARIFA	CLIENTES	CONSUMO POR MES kWh	CONSUMO EN kWh PROMEDIO POR MES
RESIDENCIAL	69.581	17.808.785	256
GENERAL	10.336	15.953.348	1.543
INDUSTRIAL	377	13.935.877	36.965

Fuente: www.esph-sa.com

Anexo 2. Encuesta de gestión de activos

Las entrevistas fueron aplicadas a los colaboradores de operación y mantenimiento del Departamento de Generación de Energía Eléctrica de la ESPH. La presente encuesta tiene como objetivo realizar un diagnóstico de la gestión de activos del negocio de generación de energía eléctrica de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A.

Para cada caso se tienen cuatro opciones que son: nunca, algunas veces, casi siempre y siempre, con las cuales se pretende hacer el diagnóstico desde el punto de vista del personal técnico operativo del departamento. Las preguntas fueron las siguientes:

1. ¿Considera que el sistema de gestión integrada existente apoya la mejora continua del proceso de generación?
2. ¿Considera que el actual análisis de criticidad de los equipos de generación mejora el desempeño de la operación y el mantenimiento del proceso?
3. ¿Considera que la gestión de operación y mantenimiento del Departamento de Generación reduce el riesgo de fallas de los equipos o sistemas?
4. ¿Considera que la autoridad y la responsabilidad de las actividades de operación y mantenimiento están claramente definidas?
5. ¿Considera que el proceso de compras y contrataciones es adecuado?
6. ¿Considera que las contrataciones de proveedores para la realización de trabajos especializados es adecuada?
7. ¿Considera que los procesos de las contrataciones y las licitaciones son adecuados?
8. ¿Considera que la formación y el desarrollo del personal es adecuada?
9. ¿Considera que la documentación técnica a la que se tiene acceso es suficiente para solucionar problemas de forma adecuada?
10. ¿Considera que las aplicaciones informáticas existentes apoyan adecuadamente la operación y el mantenimiento?
11. ¿Considera que la gestión de riesgos es adecuada para el buen desempeño del proceso?
12. ¿Considera que los procedimientos existentes de operación y mantenimiento son adecuados?
13. ¿Considera que es claro el funcionamiento, el control y la supervisión de los equipos de generación?
14. ¿Considera que los indicadores de gestión (disponibilidad, confiabilidad, tiempos de operación, reserva, indisponibilidad, factor de planta) son adecuados para el control de la operación y el mantenimiento de las plantas de generación?

15. ¿Considera que la administración del mantenimiento (en el amplio sentido de la palabra) del Departamento de Generación es adecuada?
16. ¿Considera que el sistema de priorización de actividades de mantenimiento (emergencia, urgencia, necesario, deseable y prorrogable) es el adecuado para el Departamento?
17. ¿Considera que el mantenimiento basado en condición (predictivo) es adecuado y ayuda a prevenir fallas y averías?
18. ¿Considera que después de una falla o avería se hace un adecuado análisis de causa raíz?
19. ¿Considera que los informes de producción diaria, mensual, anual y de actividades extraordinarias (mantenimientos programados, correctivos de gran escala) son analizados de forma adecuada?
20. ¿Considera que las acciones de mejora realizadas en las plantas son adecuadas, estrictamente necesarias y reducen los riesgos?
21. ¿Considera que la tecnología utilizada en la gestión de la operación y el mantenimiento de las plantas es adecuada?
22. ¿Considera que las reuniones con los coordinadores de áreas son efectivas y ayudan al proceso de operación y mantenimiento?

Anexo 3. Etapas de los costos del ciclo de vida de los activos

En el primer nivel de desglose se tienen los siguientes elementos:

$$LCC = C_{CD} + C_{DD} + C_M + C_I + C_{OM} + C_D$$

Donde:

LCC: costos del ciclo de vida del activo

C_{CD} : costos de fase de concepción y definición

C_{DD} : costos de fase de diseño y desarrollo

C_M : costos de fase de instalación

C_{OM} : costos de fase de operación y mantenimiento

C_D : costo de fase de eliminación

El segundo nivel de desglose tiene los siguientes componentes:

- Costos de fase de concepto y definición

$$C_{CD} = C_{CDR} + C_{CDM} + C_{CDA} + C_{CDS}$$

Donde:

C_{CDR} : costos de investigación de mercado

C_{CDM} : costos de gestión del proyecto

C_{CDA} : costos de la concepción y análisis del diseño del sistema

C_{CDS} : costos de especificación de requisitos

- Costos de fase de diseño y desarrollo

$$C_{DD} = C_{DDM} + C_{DDE} + C_{DDD} + C_{DDT} + C_{DDS} + C_{DDP} + C_{DDV} + C_{DDQ} + C_{DDR} + C_{DDI} + C_{DDL}$$

Donde:

C_{DDM} : costos de gestión del proyecto

C_{DDE} : costos de la ingeniería de diseño

C_{DDD} : costos de la documentación de diseño

C_{DDT} : costos de las pruebas, la evaluación y la validación

C_{DDS} : costos del desarrollo de *software*

C_{DDP} : costos de ingeniería y planificación de la producción

C_{DDV} : costos de selección de proveedores

C_{DDQ} : costos de la gestión de calidad

C_{DDR} : costos de análisis de riesgos

C_{DDI} : costos de análisis de impacto ambiental

C_{DDL} : costos de desarrollo logístico

- Costos de fase de fabricación

$$C_I = C_{IN} + C_{IR}$$

Donde:

C_{IN} : costos de instalación

C_{IR} : costos de instalación recurrente

- Costos de fase de operación y mantenimiento

$$C_{OM} = C_{OMO} + C_{OMC} + C_{OMP} + C_{OMV}$$

Donde:

C_{OMO}: costos de operación

C_{OMC}: costos de mantenimiento correctivo

C_{OMP}: costos de mantenimiento preventivo

C_{OMV}: costos de las actualizaciones (estos pueden ser costos de inversión significativo)

- Costos de fase de eliminación

$$C_D = C_{DS} + C_{DD} + C_{DR}$$

Donde:

C_{DS}: costos de parada del sistema

C_{DD}: costos de desmontaje y retirada

C_{DR}: costos de reciclado y eliminación segura

El tercer nivel de desglose tiene los siguientes componentes:

- Costos de operación

$$C_{OMO} = C_{OMOL} + C_{OMOM} + C_{OMOP}$$

Donde:

C_{OMOL}: costos del personal

C_{OMOM}: costos de materiales y consumibles

C_{OMOP}: costos de alimentación eléctrica, agua, impuestos, entre otros

- Costos de mantenimiento correctivo

$$C_{OMC} = C_{OMCL} + C_{OMCF} + C_{OMCC} + C_{OMCS}$$

Donde:

C_{OMCL}: costos del personal

C_{OMCF}: costos de las instalaciones

C_{OMCC}: costos de los servicios de los contratistas

C_{OMCS}: costos de mantenimiento de *software* y aplicaciones informáticas

Anexo 4. Indicadores para la correcta gestión de activos

Indicadores de sistemas y equipos

Tiempo Promedio entre Fallas: TPEF = (NOIT * HROP) / NTMC

Tiempo Promedio para Reparación: TPPR = HTMC / NTMC

Tiempo Promedio para Fallar: $TPPF = HROP / NTMC$

Disponibilidad calculada²: $DISP = (TPEI / (TPEI + TPPI)) * 100$

Disponibilidad Inherente³: $DISP = (TPPF / (TPPF + TPPR)) * 100$

Confiabilidad⁴: $C = e^{-\lambda t}$

Tiempo Promedio entre mantenimientos preventivos: $TPEP = (NOIT * HROP) / NTMP$

Tiempo Promedio para Ejecutar Mantenimientos Preventivos: $TPMP = HRMP / NTMP$

No Conformidades de Mantenimientos⁵: $NCFM = (NMPR - NMEJ) / NMPR$

Indicadores financieros

Costo de Mantenimiento por Facturación: $CMFT = CTMN / FTEP$

Costo de Mantenimiento por Valor de Reposición: $CMVR = CTMN / VLRP$

Componente del Costo de Mantenimiento: $CCMN = CTMN / CTPR$

Progreso en los esfuerzos de reducción de costos⁶: $PERC = TBMP / CMFT$

Costo relativo con Personal Propio: $CRPP = CMOP / CTMN$

Costo de mano de obra externa: $CMOE = CMOC / CTMN$

Costo Relativo con Materiales: $CRMT = CMAT / CTMN$

Costo de Mantenimiento en Relación con la Producción: $CRPP = CTMN / PRTP$

Costos de Capacitación: $CTCP = CEPM / CTMN$

Inmovilización de Repuestos: $IMRP = CIRP / CIEQ$

²Tiempo total en el que el activo podría operar.

³Tiempo total en el que el activo podría operar tomando en consideración solo las fallas.

⁴Proyecta a futuro la probabilidad de que el activo podrá funcionar sin fallas.

⁵Relación entre mantenimientos previstos y ejecutados.

⁶Indica la influencia de la mejora o deterioro de las actividades de mantenimiento programado con relación al costo de mantenimiento por facturación.

Costo de Mantenimiento por Valor de Venta⁷: $CMVT = CTMN / VLVT$

Indicadores de recursos

Trabajos en Mantenimiento Correctivo: $TBMC = HHMC / HHDP$

Trabajos en Mantenimiento Preventivo: $TBMP = HHMC / HHDP$

Otras Actividades del Personal de Gestión de Activos: $OAPG = HHOA / HHDP$

Capacitación del Personal de Gestión de Activos: $CPGA = HHEC / HHDP$

Horas No Calculadas del Personal de Gestión de Activos⁸:

$HNCP = (HHDP - (HHMC + HHMP + HHOA)) / HHDP$

Efectivo Real o Efectivo Medio Diario: $EFMD = (HHEF - HHLI) / HHEF$

Indicadores de órdenes de trabajo y compras

Órdenes de Trabajo Ejecutadas: $OTEX = OTEJ / OTGP$

Órdenes de Trabajo Pendientes: $OTPN = OTPE / OTGP$

Tiempo Medio de Resolución de una Orden de Trabajo: $TMOT = OTEJ / (HHMC + HHMP)$

Órdenes de Compra Pendientes: $OCPE = OCPA / OCEJ$

⁷Relaciona el costo total de mantenimiento acumulado de un activo y su valor de reposición.

⁸Indica el lapso de tiempo del personal en que no fue ocupado en ninguna actividad.