



La vivienda y el agua
son de todos

Minvivienda

10 años
2011 • 2021

Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de tratamiento de agua

Primera Edición

Septiembre 2021

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Jonathan Malagón

Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio

José Luis Acero

Viceministro de Agua y Saneamiento Básico

Hugo Bahamón

Director de Política y Regulación

Ana Virginia Mujica Pereira

Coordinadora Grupo de Política Sectorial

Elaborado por:

Iván Buitrago Sierra

Jeisson Sebastián Pérez Alarcón

ff Soluciones S. A, Miembros de Acodal, Centro

Andrea Maldonado

Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico.

Agradecimientos

El documento fue desarrollado como un complemento a la Guía de Optimización energética para Sistemas de Agua que se elaboró en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo en Bajo Carbono, liderada por el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio como cabeza del sector de agua y saneamiento básico.

Durante el proceso de implementación de la estrategia se efectuaron auditorías piloto, en algunos prestadores de agua potable con desarrolladas con el financiamiento de la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo los términos del acuerdo entre agencias USAID/USFS AEG-T-00-07-00003 PAPA (Participating Agency Program Agreement) y ejecutadas con apoyo de empresas colombianas como WARP, Profit, ff Soluciones S.A.

El aprendizaje de estas experiencias y otras sectoriales se consolidan en esta guía como una herramienta sencilla para el desarrollo de auditorías internas de eficiencia energética en sistemas de captación, tratamiento y distribución.

Guía para el desarrollo de auditorías internas de eficiencia energética en sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua

Tabla de contenido

- Introducción..... 5
- 1. Gestión Integral de Energía..... 6
- 2. Conceptos básicos 8
 - 2.1 Auditoría Energética 8
 - 2.2 Objetivos de una Auditoría Energética..... 9
 - 2.3 Resultados de una Auditoría Energética AE, lo que permite entender 10
- 3. Planificación de la Auditoría Interna..... 11
 - 3.1 Definición del alcance de la auditoría..... 11
 - 3.2 Identificación de actores, equipos y materiales, y documentos a revisar .. 14
 - 3.3 Caracterización energética..... 15
- 4. Ejecución de la Auditoría Energética 16
 - 4.1 Documentos y registros a revisar: 17
 - 4.1 Qué medir y cómo hacerlo?..... 18
 - 4.1.1 Equipo a ser usado durante una auditoría nivel 2 y 3: 18
- 5. Análisis de la Información y Generación del Informe..... 20
 - 5.1.1 Calidad del agua cruda 26
 - 5.1.2 Dosificación de coagulante y desinfectante..... 28
 - 5.1.3 Volumen de agua producida..... 28
 - 5.1.4. Otros Análisis 29
 - 5.2 Hallazgos y propuestas de mejora..... 30
- 6. Contenido del informe energético y operacional 32
- 7. Recomendaciones generales 33

Introducción

En el marco de la política energética nacional, el país asumió el compromiso de promover el desarrollo y utilización de fuentes no convencionales de energía (principalmente las de carácter renovable), sistemas de almacenamiento de tales fuentes y gestión eficiente de la energía, que incluye la eficiencia energética. La prestación de los servicios públicos domiciliarios se integra como uno de los medios necesarios para el desarrollo económico sostenible y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021). De esta manera, a través del PROURE (Programa de Uso Racional y Eficiente de energía y Fuentes No Convencionales) el país ha venido avanzando en el desarrollo de instrumentos técnicos, jurídicos, económicos, financieros, de planificación y de información, que permitan el progreso en materia energética para los diferentes sectores.

Por su parte, el sector de agua y saneamiento básico ha identificado oportunidades para mejorar la gestión energética en las empresas de servicios públicos, fortalecer la información sectorial y definir lineamientos de eficiencia energética. Ya se cuenta con una Guía para la optimización energética en sistemas de tratamiento de agua, que brinda lineamientos de eficiencia energética en los sistemas de agua potable y residual. Adicionalmente, una de las medidas de mitigación del cambio climático en el PIGCCS (Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial), se refiere a Eficiencia energética y Fuentes no convencionales de energía.

1. Gestión Integral de Energía

La optimización energética se debe enmarcar dentro de una política de “*Gestión Integral de Energía*” y no es producto de una evaluación puntual. Por ello, se debe contar con el compromiso de la alta gerencia para poder establecer esquemas que permitan la mejora continua y la evaluación objetiva y cuantitativa a través de indicadores.

Esta herramienta permite apoyar a los prestadores de los servicios de acueducto y alcantarillado a realizar una buena gestión energética y reducir sus costos operativos. Para implementar una Gestión Integral de Energía, las empresas pueden apoyarse en los siguientes elementos, para la planeación y desarrollo de su gestión:

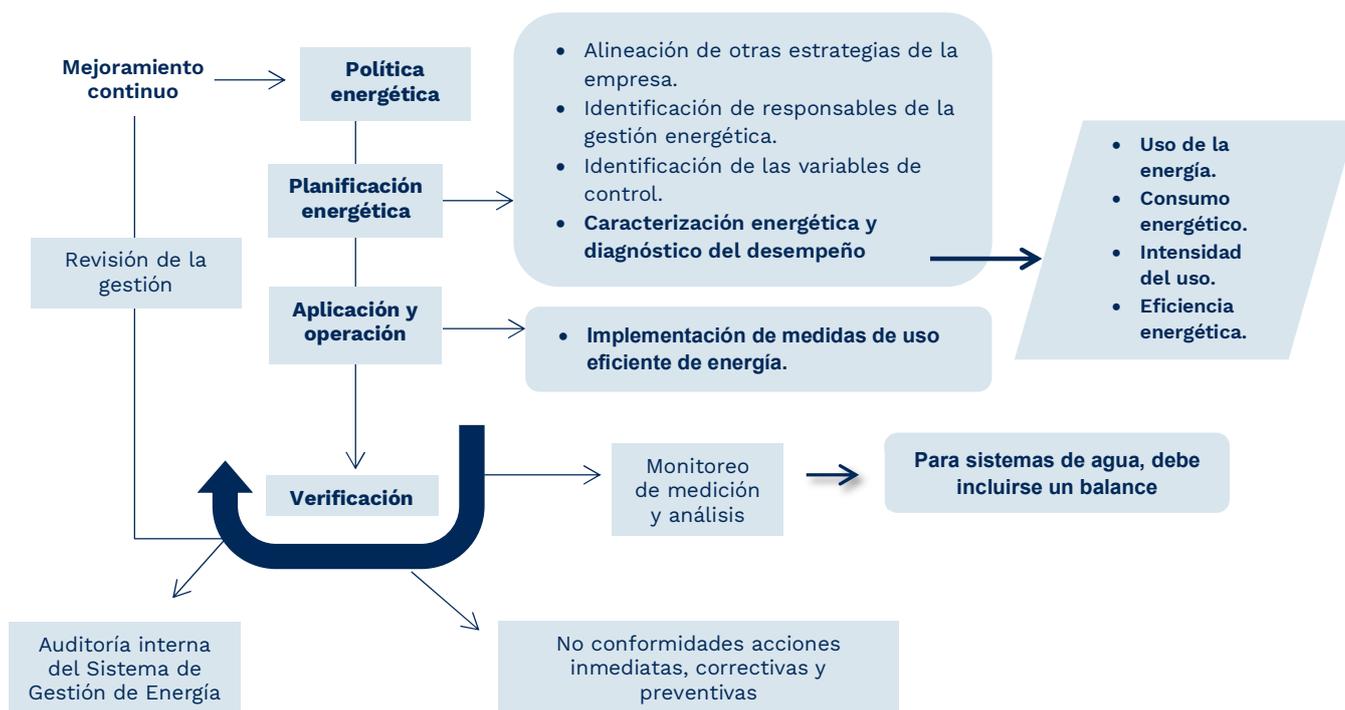
- a. La Guía para la Optimización Energética en Sistemas de Tratamiento de Agua, elaborada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con apoyo de USAID en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo en Bajo Carbono (ECDDB).
- b. La Guía para la Implementación de un Sistema de Gestión Integral de Energía, elaborada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- c. Las normas ISO 50000.
 - ISO 50001, Sistemas de Gestión de Energía.
 - ISO 50002, Auditorías Energéticas.
 - ISO 50003, Guía y Requerimientos para Auditorías y Certificación de Sistemas de Gestión de Energía.
 - ISO 50004, Guía de Implementación, Mantenimiento y Mejora de Sistemas de Gestión de Energía.
 - ISO 50006, Indicadores de Rendimiento Energético, Línea Base, Principios y Guía.
 - ISO 50015, Medición y Verificación de Rendimiento Energético de las Organizaciones, Principios y Guía.
- d. Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas, documento elaborado por la UPME.
- e. Lineamientos del RETIE¹ que permite direccionar su operación energética, por pequeña que sea con seguridad y efectividad.
- f. Lineamientos del RAS.

¹ El objeto fundamental de este reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos (MME, 2013).

La Gestión

La estructuración de la Gestión basada en el Compromiso de la alta dirección considera los componentes a partir de la definición de políticas e implementación de esquemas de mejoramiento continuo como se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Sistema de Gestión Integral de Energía (GIE)



Fuente: Adaptado ISO 50001, 50006, 50015 y UPME, 2008.

Aspectos asociados a la planificación energética, con énfasis en la caracterización energética y diagnóstico del desempeño energético para sistemas de tratamiento de agua, fueron tratados con profundidad en la Guía para la Optimización Energética en Sistemas de Tratamiento de Agua, elaborada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con apoyo de USAID, en el marco de la ECDBC.

Como consecuencia, se presenta esta Guía con el objetivo primordial de dar herramientas a los prestadores para el desarrollo de auditorías internas de gestión energética en los sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua, conforme con los requisitos establecidos por la Norma ISO 50001. La auditoría energética es esencial para la verificación de la implementación de planes y metas estipuladas en el contexto de la política de eficiencia energética, permitiendo que los operadores de los sistemas puedan ir mejorando su gestión.

Es recomendable que las personas prestadoras realicen una auditoría externa por una entidad de certificación acreditada, que les permitirá adicionalmente obtener una certificación del Sistema de Gestión de Energía.

2. Conceptos básicos

2.1 Auditoría Energética



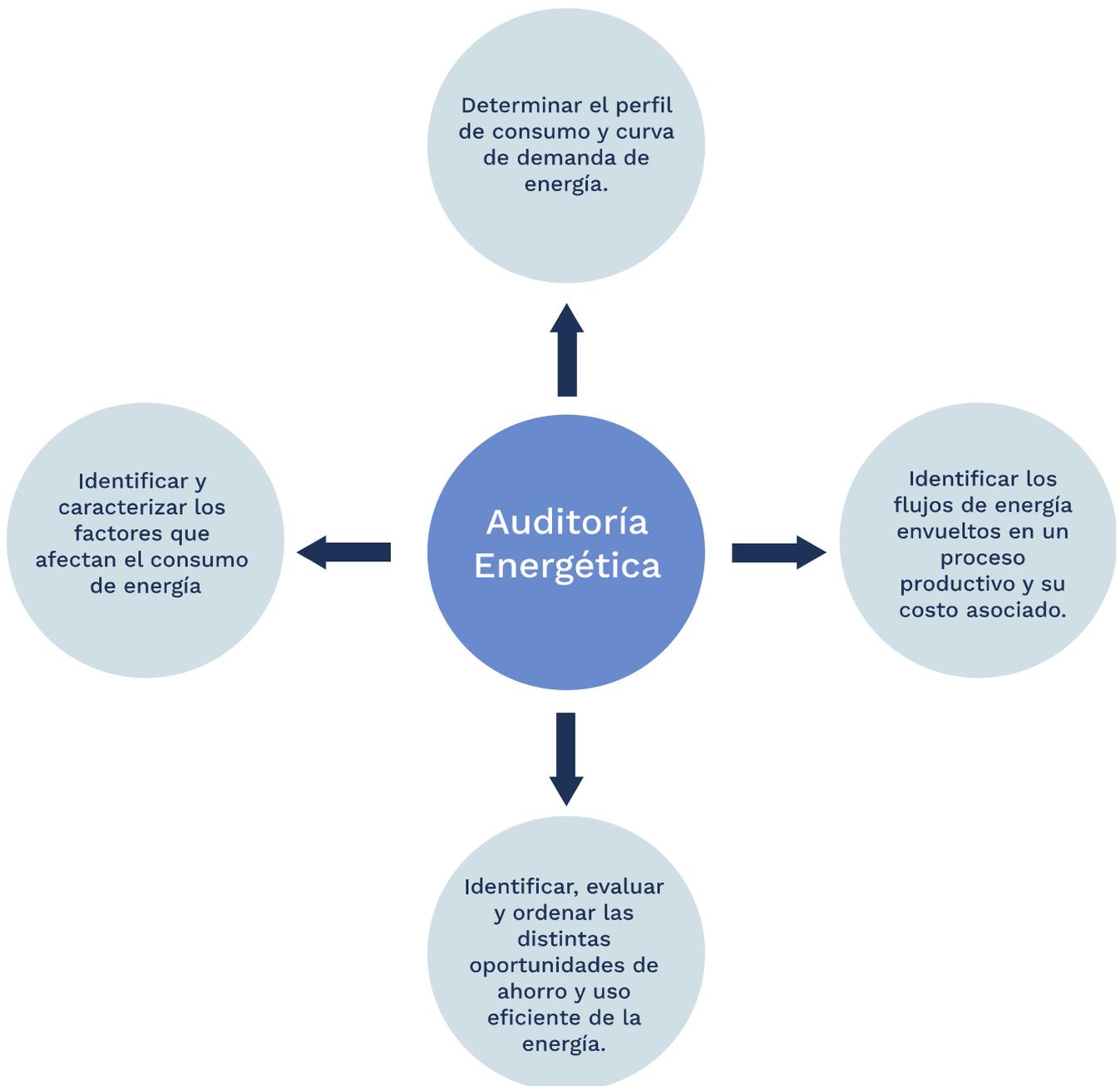
Una auditoría energética es “un análisis que refleja cómo y dónde se usa la energía de una instalación con el objetivo de utilizarla racional y eficientemente” (UPME, 2007). La auditoría energética permitirá evaluar con base en información de campo (parámetros eléctricos e hidráulicos) y de registros históricos (facturación de la energía, diagramas del sistema hidráulico, datos de los equipos de bombeo, condiciones de fábrica, edad y frecuencia de mantenimiento de los equipos, trazabilidad de archivos, registros de operación, listas de chequeo y verificación), los puntos críticos y consumo de energía en las diferentes etapas del proceso y permitirá identificar los potenciales ahorros de energía.

La ejecución de auditorías energéticas es esencial para el inicio de un programa de gestión de energía, pues permiten tener un diagnóstico para el planteamiento de objetivos, indicadores y políticas como para el seguimiento de sistemas de gestión ya establecidos. De igual manera permiten con base en datos y registros, hacer seguimiento a indicadores y evaluar la eficacia de la política y de las medidas implementadas.

2.2 Objetivos de una Auditoría Energética

Como resultado de una auditoría energética se generarán recomendaciones para hacer reducciones en la demanda, uso eficiente de la energía e incluso se podrán proponer medidas para evaluar el uso de energía residual (caso del biogás) e implementación de energías renovables no convencionales como la solar y eólica. (ver Figura 2)

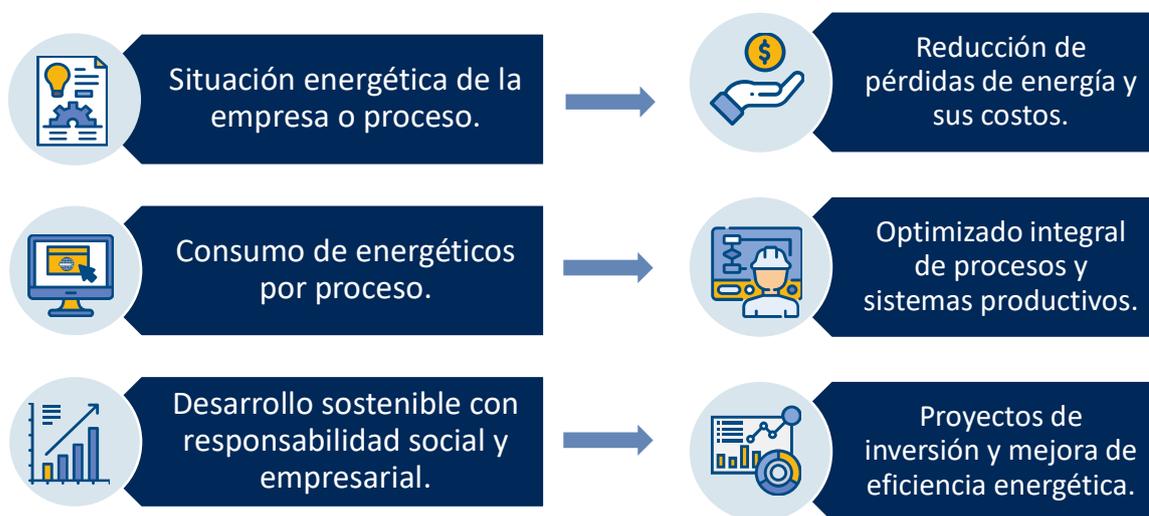
Figura 2. Objetivos de una auditoría energética



2.3 Resultados de una Auditoría Energética AE, lo que permite entender

La Figura 3 consolida los tres principales resultados de una auditoría para un operador de un sistema de tratamiento de agua y relaciona las acciones genéricas que éste puede tomar a partir de dichos resultados, con el objetivo de mejorar el desempeño energético de la empresa.

Figura 3. Resultados y acciones de una auditoría energética



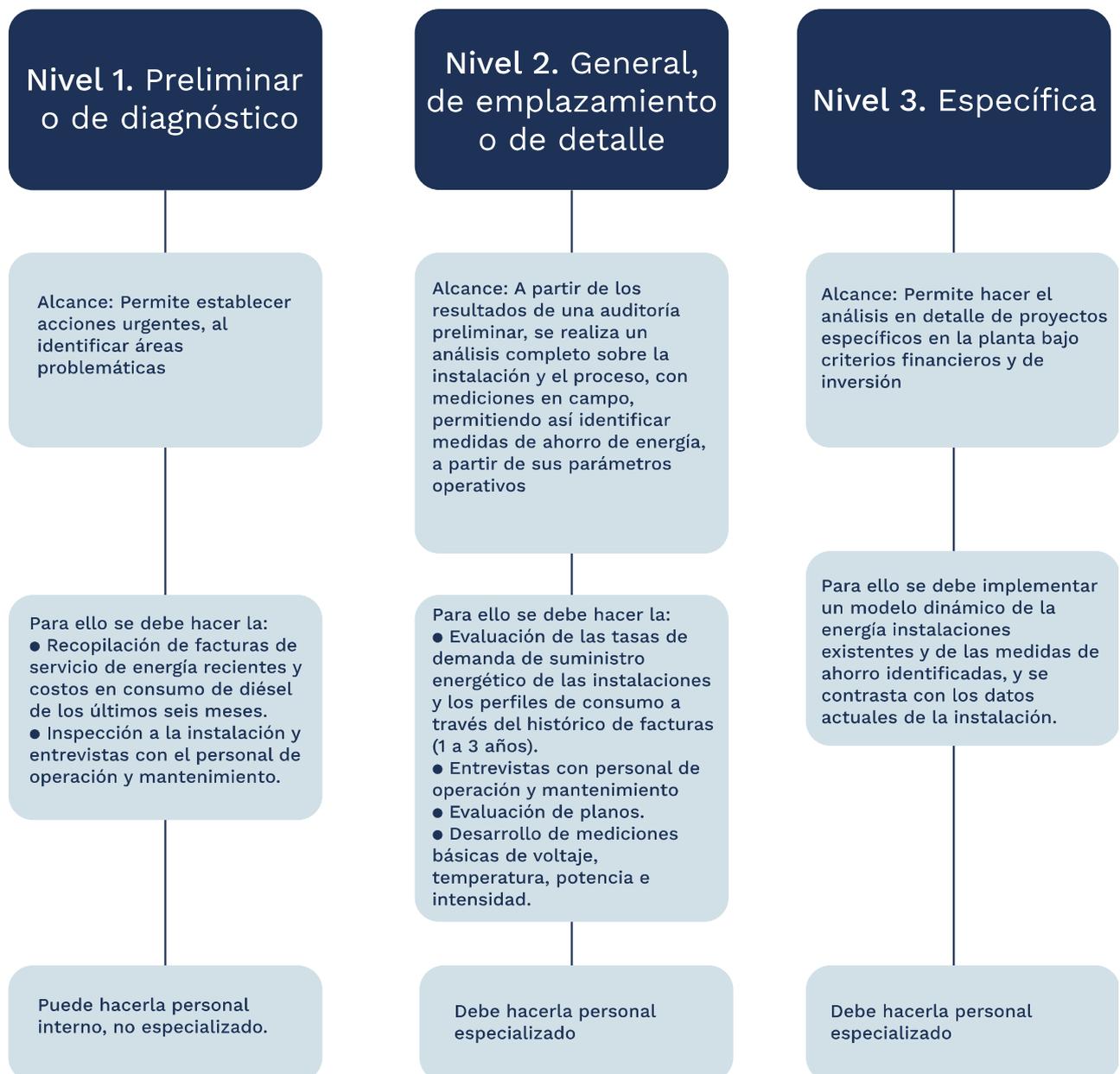
Diferentes resultados se pueden identificar en un proceso de Auditoría Energética, estos dependen de las expectativas del cliente, del grado de detalle de la auditoría y de las características mismas de la organización o proceso a auditar. Dentro de los principales resultados el prestador podrá reconocer en que estado se encuentra la situación energética de cada proceso y sus consumos, con el fin de detectar cuellos de botella que puedan ser mejorados. Asimismo, le permite analizar oportunidades de mejora que le apunten a generar equilibrio en aspectos económicos, sociales y ambientales, con el propósito de consolidar la responsabilidad social y empresarial de la empresa.

3. Planificación de la Auditoría Interna

3.1 Definición del alcance de la auditoría

Acorde con las necesidades de la planta de tratamiento, la cantidad de datos con los que se cuentan (nivel de registro y captura de datos), el nivel de profundidad de la auditoría y de acuerdo al presupuesto disponible, se define el alcance de la auditoría conforme se observa en la Figura 4.

Figura 4. Niveles de auditorías energéticas



Fuente: Adaptado de UPME, 2007 y Universidad de Córdoba, 2008

Uno de los mecanismos para determinar si se requiere una auditoría energética y el nivel de la misma, se asocia al indicador de consumo energético. Este indicador que permite relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población y/o el tratamiento del agua servida, según sea el caso (MVCT, 2015).

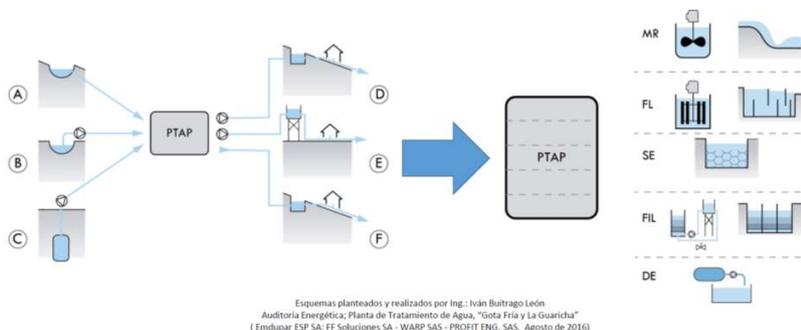
$$\text{Ecuación 1. } IE \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Energía total consumida por todos los equipos del sistema} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right)}{\text{Volumen total de agua generado o tratado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right)}$$

Información recopilada por la UPME del año 2016, indica que acueductos con un alto componente de bombeo, presentan indicadores cercanos a los 1,4 kWh/m³ mientras que los acueductos por gravedad presentan indicadores de 0,82 kWh/m³ en Colombia. Referentes internacionales muestran indicadores de 0,45 kWh/m³ lo cual evidencia el alto margen de reducción de consumos (UPME, 2016).

En este marco, acueductos con un IE > a 1 y una población a servir de más de 500.000 usuarios debern evaluar la necesidad de realizar una auditoria energética anual nivel 3 y pequeños prestadores y/o aquellos cuyo sistema tiene un IE > 0,5 deberían realizar una auditoría energética y operativa nivel 2 cada año. Acueductos con un IE < 0,5 deberían realizar una auditoría energética y operativa nivel 1. La frecuencia de las auditorías energéticas puede variar acorde con los lineamientos del sistema de gestión energética implementado por el prestador.

En la Figura 5 se observan diferentes configuraciones para plantas de tratamiento en relación a las alturas de captación y distribución, siendo la configuración AF la que menores requerimientos energéticos va a tener pues el bombeo en esta se va a hacer por gravedad y los consumos energéticos van a estar asociados principalmente al consumo de equipos dosificadores de reactivos químicos. Por el contrario, la configuración CD va a ser la configuración que tendrá una mayor demanda energética asociada a la demanda de bombeo tanto para la captación como para la distribución.

Figura 5. Configuración de mecanismos de captación tratamiento y distribución



Fuente: Ing. Iván Buitrago León

La energía total consumida puede determinarse a partir del historial de consumos energéticos registrados en la factura del servicio de energía, durante el periodo de tiempo dado, considerando que no más del 5% del valor facturado fue causado por los servicios administrativos. Si el sistema posee datos específicos referentes a este consumo promedio pueden descontarse del valor de energía total, En caso de que, los prestadores reporten adecuadamente al Sistema Único de Información (SUI) deberían reportar los consumos energéticos operativos y administrativos separadamente, convirtiéndose este en una fuente más de información para el auditor (MVCT, 2015).

Las auditorías energéticas ya sean nivel 1, 2 o 3, deben contemplar el análisis de los componentes presentados en la Figura 6.

Figura 6. Componentes de análisis durante una auditoría energética



Fuente: Adaptado de UPME, 2007

3.2 Identificación de actores, equipos y materiales, y documentos a revisar

Selección de auditores:

Una vez se ha determinado el alcance de la auditoría, se debe determinar si el personal de la planta tiene el conocimiento técnico para el desarrollo de la auditoría o si es necesario realizar la contratación de personal externo.

Se debe considerar que el Nivel 1 de la auditoría no requiere experiencia ni conocimientos específicos en temas energéticos, ya que es una auditoría de carácter sensorial y evidente.

Una auditoría de Nivel 2 requiere personal con conocimientos eléctricos básicos, usualmente sistemas de complejidad media alta y alta cuentan con este personal.

Una auditoría de Nivel 3 requiere auditores especializados, por ende, se recomienda la contratación de personal externo en todos los niveles de complejidad. Sin embargo, esta necesidad puede ser cubierta por personal especializado interno, para sistemas de alta complejidad.

Identificación del personal que debe atender la auditoría:

Es necesario identificar previamente a la auditoría, el personal que se contactará durante el desarrollo de la misma, siendo como mínimo y dependiendo del grado de complejidad del sistema los siguientes:

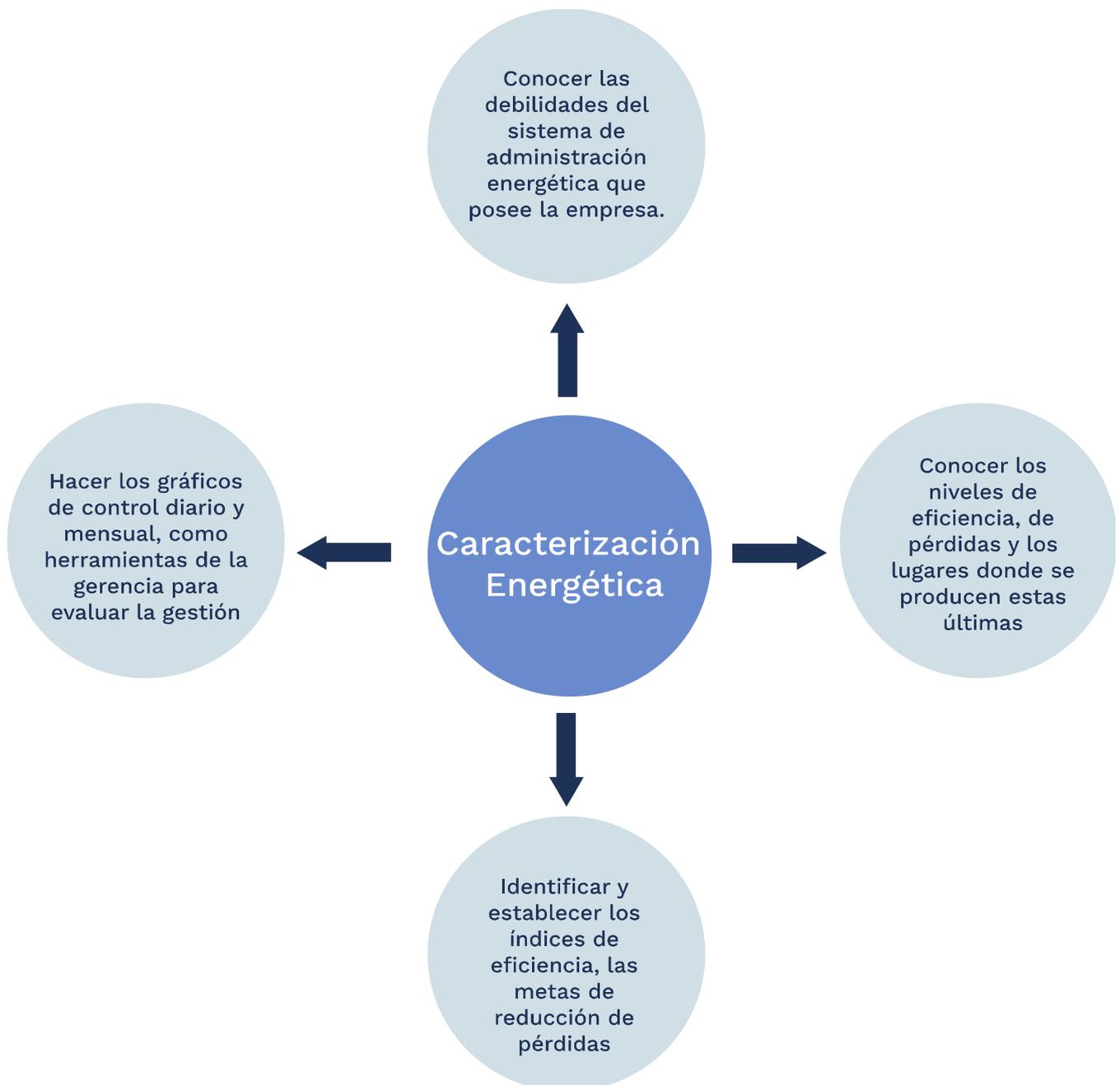
- Gerente general
- Jefe de mantenimiento y operación o quien haga sus veces
- Operarios por proceso
- Personal administrativo (planeación y calidad) y financiero.



1.1 Caracterización energética

Procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo. (Castrillón, 2014.). La Figura 7 resume los elementos macro de la caracterización energética.

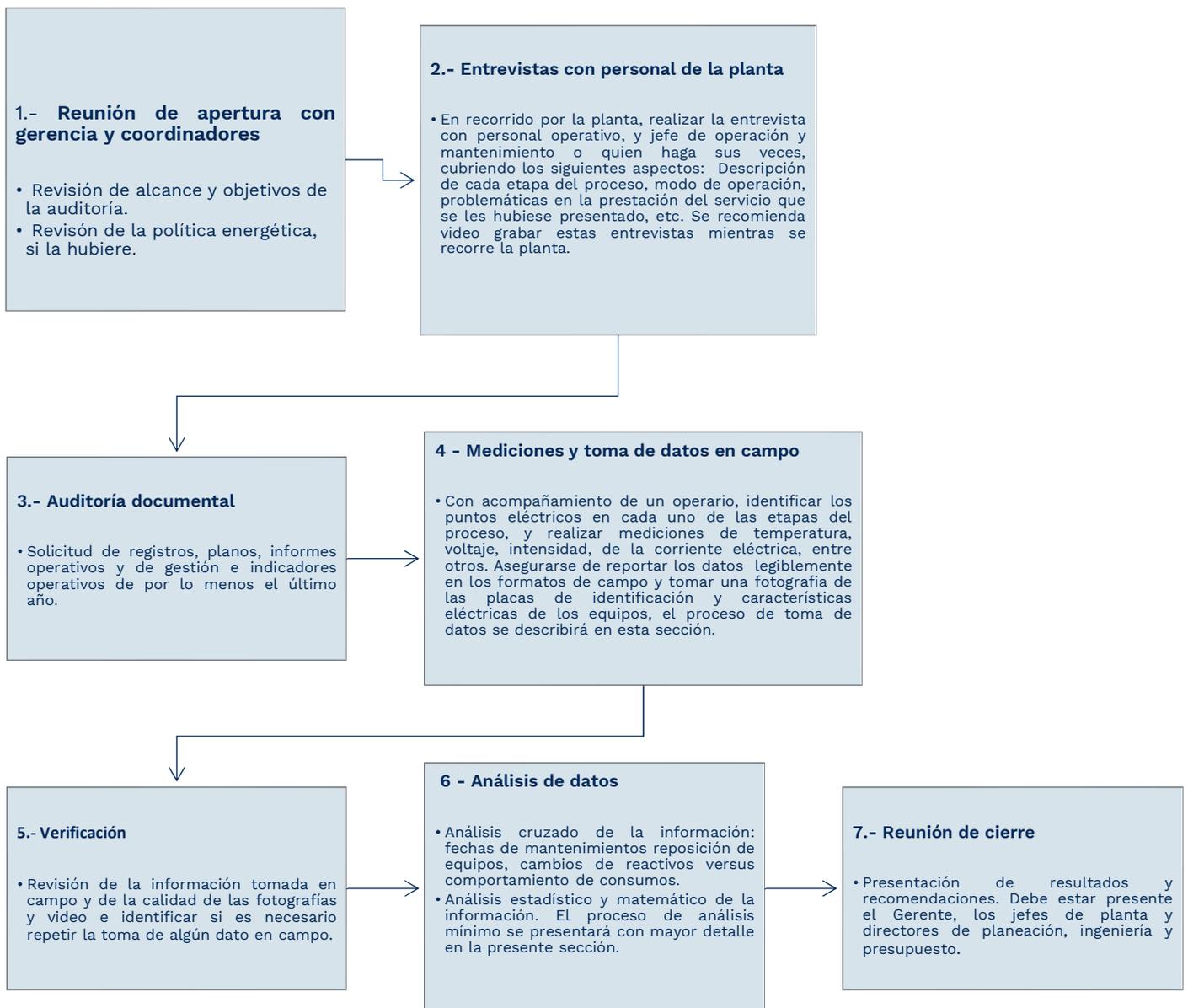
Figura 7. Elementos macro de la caracterización energética



2. Ejecución de la Auditoría Energética

En la Figura 8 se consolidan las etapas de la ejecución de la auditoría energética.

Figura 8. Etapas de la ejecución de una AE



Fuente: Elaboración de los autores

4.1 Documentos y registros a revisar:

El auditor deberá solicitar la siguiente información según el nivel de la auditoría.

| | |
|----------------|--|
| Nivel 1 | <ul style="list-style-type: none">✓ Facturación de energía, últimos 6 meses✓ Producción de agua, últimos 6 meses✓ Organigrama |
| Nivel 2 | <ul style="list-style-type: none">✓ Plan maestro de acueducto y alcantarillado vigente✓ Facturación de energía, último año como mínimo✓ Producción de agua, último año como mínimo✓ Registros de cantidad de m³ producidos en el último año como mínimo✓ Índice IRCA, último año como mínimo✓ Consumos y costos de reactivos químicos, último año como mínimo✓ Informes de gestión, como mínimo del último año✓ Catálogo de equipos✓ Fichas técnicas de cada equipo✓ Plan de mantenimiento y registros de mantenimiento efectuados, si los hubiere✓ Planos eléctricos e hidráulicos✓ Si la planta de tratamiento cuenta con una planta eléctrica de respaldo, debe suministrarse el consumo de combustible mensual✓ Inventario de luminarias✓ Inventario de equipos eléctricos |
| Nivel 3 | <p>Adicional a los registros y documentos solicitados para una auditoría de nivel 2, se debe revisar:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Política de eficiencia energética, si la hubiere e indicadores de cumplimiento✓ Hallazgos de auditorías previas✓ Plan de mantenimiento de equipos✓ Centros de costo✓ Proyección presupuestal anual (Plan de operación y de inversiones - POIR) |

2.1 Qué medir y cómo hacerlo?

2.1.1 Equipo a ser usado durante una auditoría nivel 2 y 3:

En la Tabla 2 se presenta el equipo básico requerido para el desarrollo de mediciones

Tabla 2. Material y equipo para el desarrollo de la etapa de campo

| Material y Equipo | |
|---|--|
| | Formatos, fichas técnicas y cuaderno de apuntes |
|  <p>Fuente: http://parentesis.co/resenas/camaras_de_video/Camara_de_video_Sony_Handycam_DCR_-_SR220</p> | Cámara fotográfica y/o de video |
|  <p>Fotografía: Jeisson Sebastián Pérez</p> | Pinza amperimétrica para medidas de corriente con un rango de 0 a 1000A utilizada en la verificación de los equipos de mayor consumo. Precisión de 3% de la escala seleccionada. |
| | Pinza amperimétrica para medidas de corriente eléctrica con un rango de 0 a 2A utilizada en la verificación de los equipos de bajo consumo. Precisión de 2.5% de la escala seleccionada. |

| Material y Equipo | |
|---|---|
|  <p>Fotografía: Jeisson Sebastián Pérez</p> | <p>Termómetro con luz infrarroja utilizado en el rango de -7 a 260°C, para verificar las temperaturas de los equipos.</p> |
|  <p>Fotografía: Jeisson Sebastián Pérez</p> | <p>Termómetro digital de contacto con un rango de -50 a 300°C para la verificación de la temperatura interna dentro de gabinetes, con una exactitud de 0.1% de la escala.</p> |
|  <p>Fuente: https://pixabay.com/es/calibrador-de-digitacesmetro-721737/</p> | <p>Medidor Vernier para la verificación del diámetro de los cables de alimentación eléctrica de los equipos de alto consumo.</p> |
| | <p>Medidor de caudal de agua con ultrasonido (optativo para uso es sistemas de complejidad alta)</p> |
| | <p>Analizador de redes eléctricas (optativo para uso es sistemas de complejidad alta)</p> |

En campo se debe hacer el levantamiento de medidas eléctricas y otras variables necesarias para el análisis de datos, tales como temperatura, caudal y dosificación de productos químicos, realizar claramente la identificación y localización de cada equipo en la planta incluyendo los que aparentemente se encuentren inutilizados y registrar la información de las placas con la información eléctrica de los mismos.

Así mismo, deben identificarse puntos calientes, conexiones ilegales, revisión de los polos a tierra, transformadores, luminarias y en general la limpieza del sistema eléctrico. Es común encontrar que cuando se hacen instalaciones eléctricas, se instala sobre lo instalado y no se retiran cables o conexiones que ya no van a prestar una función útil pero que sí generan consumos fantasmas. En la Figura 9 se presenta un compilado fotográfico que ilustran diversas acciones a efectuar durante el trabajo de campo.

3. Figura 9. Trabajo de campo



a. Identificación de puntos de pérdida energética v.g conexiones fraudulentas y conexiones poco prolijas



b. Puntos calientes, incumplimiento del RETIE



c. Mediciones de temperatura



d. Cuarto de bombas (Las fotografías e-h muestran mediciones en éstas)



e. Medición de revoluciones con el tacómetro



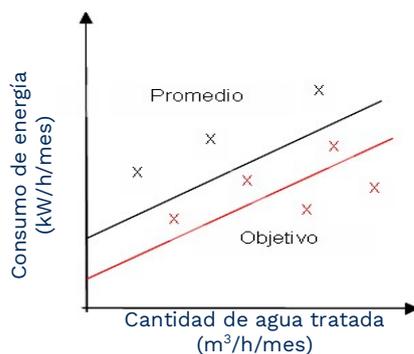
m. Identificación de otros equipos en áreas administrativas como hornos microondas, neveras, estufas, radios, televisores, registro de las etiquetas

Fotografías: Jeisson Sebastián Pérez

4. Análisis de la Información y Generación del Informe

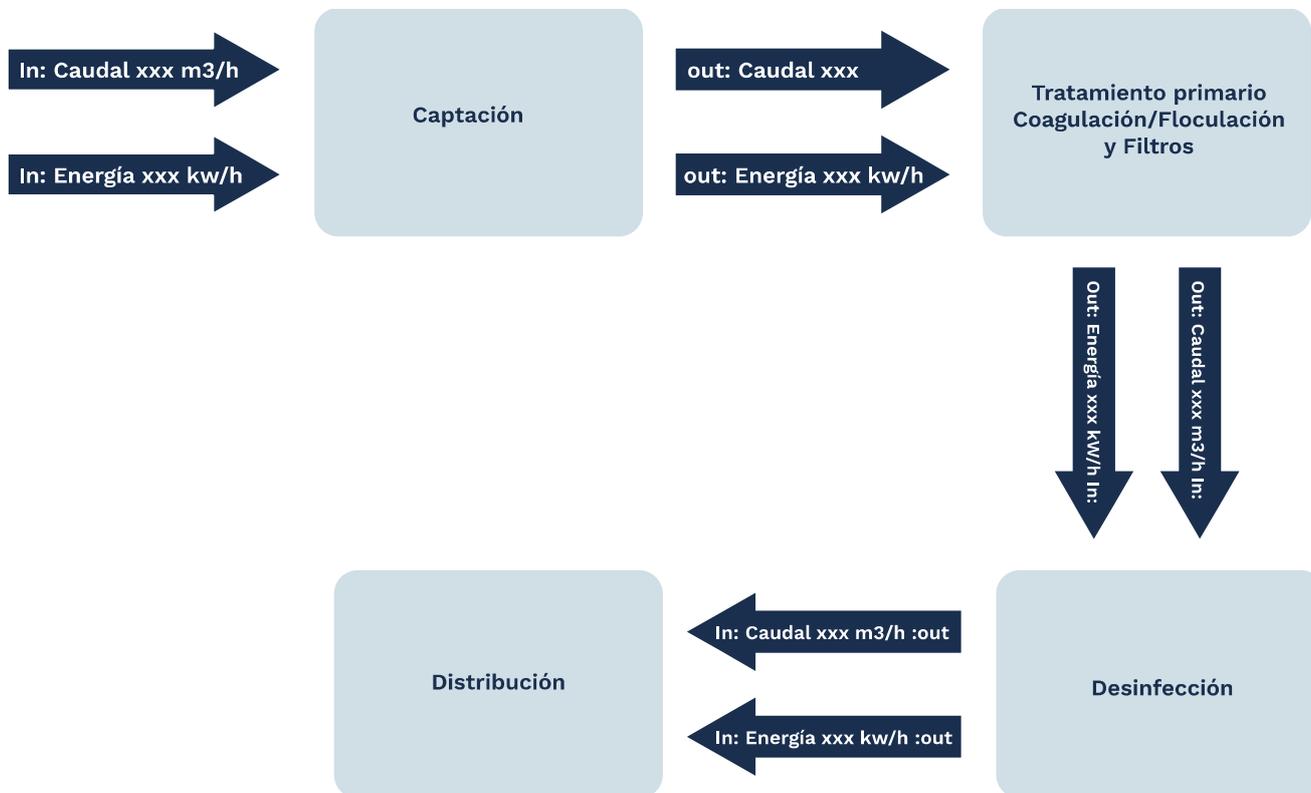
Si se está desarrollando una auditoría de primer nivel, con la información general de consumos y producción proveniente de registros históricos podrá verse cómo ha sido el comportamiento mes a mes de la relación consumo de energía vs producción, como se muestra en la Figura 10, esto permitirá identificar variaciones importantes de un mes a otro.

Figura 10. Análisis de Consumo de Energía vs Producción de m³



En el caso de una auditoría de segundo nivel, es importante hacer un diagrama de flujo de toda la planta indicando datos de entrada (*in*) y salida (*out*) de consumos energéticos y caudales de agua tratado, esto permitirá rápidamente identificar el proceso de mayor consumo, de ser posible colocar adicionalmente el consumo de reactivos (Figura 11).

Figura 11. Diagrama de flujo del sistema con sus corrientes principales de caudal y energía



Posteriormente, se recomienda realizar una matriz de descripción de los sistemas energéticos y los equipos asociados por áreas y procesos (Tabla 3).

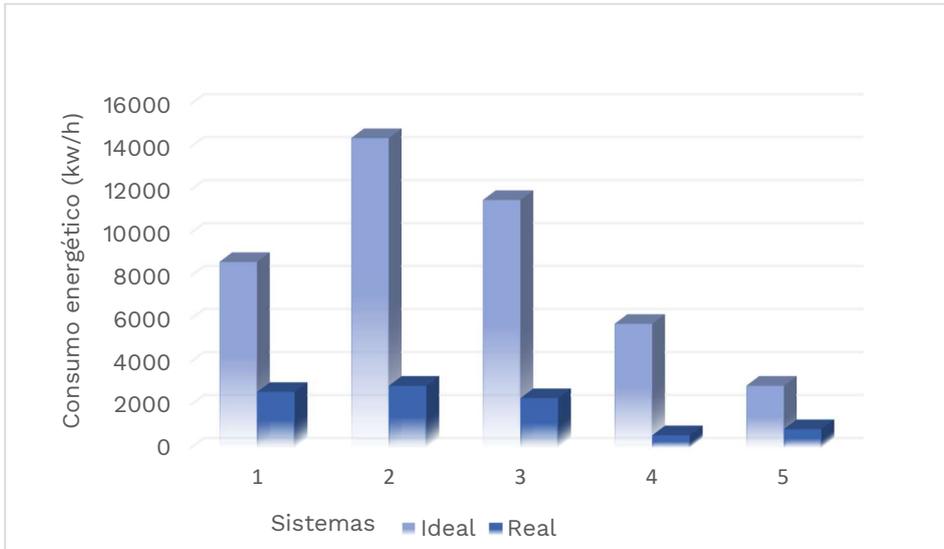
Tabla 3. Formatos de consolidación de datos

| Sistema energético Área/Proceso | Equipos | Potencia (kW) | Tiempo de trabajo (h/mes) | Capacidad de producción de agua (m³prod./mes) | Consumo eléctrico de diseño (kWh/mes/m³) | Consumo eléctrico real (kWh/mes/m³) |
|------------------------------------|--|---------------|---------------------------|---|--|-------------------------------------|
| Zona de captación | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |
| Pretratamiento | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | | | | | | |

| Sistema energético Área/Proceso | Equipos | Poten cia (kW) | Tiempo de trabajo (h/mes) | Capacidad de producción de agua (m³prod./mes) | Consumo eléctrico de diseño (kWh/mes/m³) | Consumo eléctrico real (kWh/mes/m³) |
|---|--|-------------------------------|--|--|---|--|
| Tratamiento primario Coagulación Floculación Filtración | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |
| Desinfección | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |
| Distribución | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |
| Iluminación | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |
| Áreas administrativa Talleres Laboratorios Oficinas Zonas de descanso | Equipo 1 | | | | | |
| | Equipo 2... | | | | | |
| | ... | | | | | |
| | Equipo n | | | | | |
| | Porcentaje consumo energético real vs diseño | | | | | |

Con base en esta matriz, se puede determinar cuáles son los sistemas energéticos y equipos con mayor consumo de energía; se recomienda un gráfico de barras comparativo para hacer más visual los resultados, similar a como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Ejemplo gráfica para análisis de consumos por sistemas

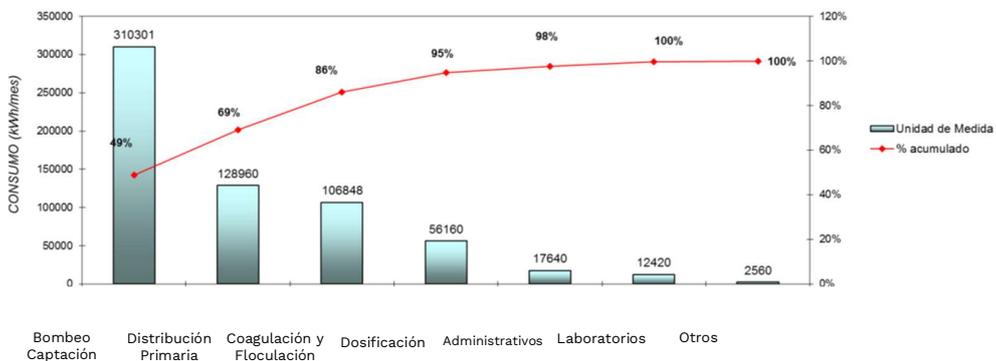


Fuente: Elaboración de los autores

Sin embargo, un análisis más juicioso a través de metodologías como la de Pareto (Figura 13), el auditor podrá enfocar sus recomendaciones en esos procesos vitales o críticos en cuanto a demanda energética, para lo cual debe:

- Seleccionar los datos que se van a analizar, y el periodo de tiempo de reporte.
- Agrupar los datos por categorías, acorde a las áreas o procesos identificados.
- Tabular los datos en orden descendente y calcular frecuencias: absoluta y absoluta acumulada; relativa unitaria y relativa acumulada.
- Graficar.

Figura 13. Ejemplo de un diagrama de Pareto para un sistema de tratamiento de agua



Fuente: Elaboración de los autores

Análisis de la variación temporal del consumo de energía

A partir de la información obtenida a lo largo del estudio, se parte a realizar el análisis de la variación temporal del consumo de energía en las plantas de tratamiento de agua considerando un histórico no inferior a tres (3) años ; se recomienda graficar para cada uno de los años el consumo promedio anual, y el consumo promedio mensual.

Teniendo en cuenta que, dejando de lado los consumos asociados a iluminación y equipos de uso administrativo, los principales gastos energéticos asociados al sistema de producción de agua potable se refieren a equipos de dosificación de productos químicos, donde se debe analizar la variación temporal de cuatro variables: i) Calidad del agua cruda, ii) Dosificación de coagulante, iii) Dosificación de desinfectante y iv) Volumen de agua producida, con el fin de buscar una correlación adecuada que permita comprender la variación del consumo de energía en las plantas de tratamiento.

4.1.1 Calidad del agua cruda

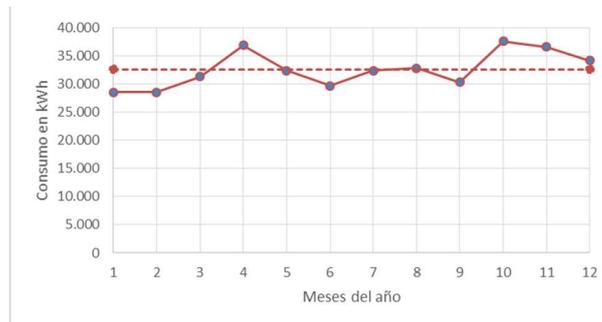
El agua cruda contiene partículas sólidas en suspensión y partículas sólidas disueltas, las cuales afectan su calidad en términos de turbidez y color, entre otros aspectos. Si bien parte de los sólidos presentes en el agua cruda pueden retirarse por efecto de la gravedad mediante predesarenadores o desarenadores. Otra parte de estas partículas permanece en el agua cruda y se hace necesario recurrir a la aplicación de coagulantes que desestabilicen sus cargas eléctricas y faciliten la formación de flocs o cúmulos que, al alcanzar un mayor tamaño y peso, se sedimentan y pueden ser retirados del agua.

Al existir una relación directa entre el régimen de lluvias y la calidad del agua, es necesario analizar de igual manera la correspondencia entre el comportamiento de la precipitación promedio mensual y el consumo de energía de la planta, medido en kWh. Bajas precipitaciones se relacionan con bajas concentraciones de sólidos suspendidos en el agua y consecuentemente valores menores de turbidez, implicando un menor consumo de coagulante. Por el contrario, épocas de marcadas lluvias implican un mayor arrastre de partículas en suspensión, las cuales aumentan los valores de turbidez, llevando, en ocasiones a que se deba pausar la operación de una planta de tratamiento de agua potable hasta tanto se restablezca la calidad del agua cruda.

En este marco, aguas con altos valores de turbidez requieren en general una mayor dosificación de coagulante, y en los casos en que la dosificación se realiza por bombeo, deben repercutir en un mayor consumo de energía.

La Figura 14 muestra un caso típico para plantas de agua en Colombia, en donde se presentan regímenes bimodales con lluvias en abril y octubre.

Figura 14. Consumo de energía mensual para un año dado en sistemas de tratamiento de agua

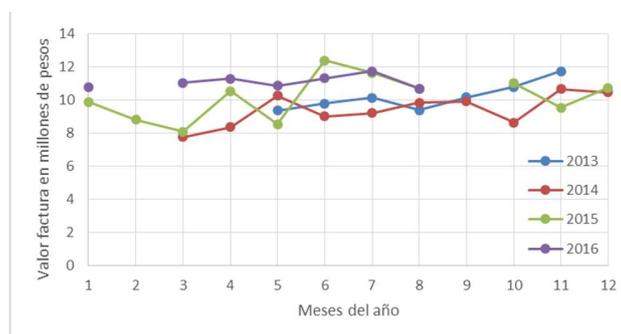


Fuente: Elaboración de los autores

Adicionalmente, se recomienda realizar un análisis del valor de la tarifa y el costo de kWh cobrado en la factura. Este análisis puede reflejar altas variabilidades en la facturación y dará argumentos para que la planta de tratamiento pueda hacer una solicitud de aclaración o corrección de tarifa, o evaluación del tipo de medición aplicado, en caso de ser necesario, al prestador del servicio de energía.

Una sencilla gráfica como la presentada en la Figura 15, permitirá rápidamente identificar tendencias o variabilidades en el caso que las hubiere, lo normal sería observar una tendencia creciente anualmente conforme los incrementos en el costo del kWh anual. Este análisis debe complementarse con la información sobre puesta en marcha de grandes equipos o salida de otros, lo cual podría influir en una afectación al consumo energético considerable repercutiendo en los costos de la facturación.

Figura 15. Valor de la factura eléctrica para una planta típica de tratamiento de agua



Fuente: Elaboración de los autores

En caso que la planta tenga algún consumo de un energético adicional como ACPM o diésel para la operación de sistemas de respaldo, la relación del consumo de combustible mensual debe calcularse.

4.1.2 Dosificación de coagulante y desinfectante

Se mencionó anteriormente que existe una relación directa entre los valores de parámetros de calidad del agua cruda, tales como turbidez, color, entre otros; con las dosis requeridas de insumos químicos para su tratamiento. Con el fin de realizar un análisis de sensibilidad², por ende, se deben estudiar las relaciones existentes entre el consumo energético mensual y las cantidades de coagulante y desinfectante utilizadas en la producción de agua potable, debe considerarse en el análisis si la dosificación de coagulante se hace manual o automatizada e identificar si hay cambios en la metodología del suministro durante el periodo de análisis.

4.1.3 Volumen de agua producida

El análisis del volumen de agua producida permite entender si la planta está trabajando bajo condiciones óptimas de diseño, en caso contrario un trabajo sobrecapacidad tendrá un impacto en el consumo energético: mayor agua a producir, mayor energía para producirla; por ende, correlacionar el volumen producido con el consumo energético (graficar consumos mensuales) podrá mostrar información interesante.

Adicionalmente, una sobreproducción podría tener impactos en la dosificación de reactivos químicos para el tratamiento y en los indicadores de calidad del agua y una producción por debajo de la capacidad en relación con las condiciones de operación de toda la planta podría mostrar posibilidades de ahorro tanto energéticas como en consumo de reactivos químicos si la planta produce menos agua, pero no se ajustan todos los procesos para este volumen.

Relacionar la cantidad de agua que se capta para el tratamiento en relación con la cantidad de agua producida por la planta, permitirá identificar pérdidas volumétricas dentro de la planta con un respectivo impacto en el consumo de energía y de productos químicos. Se recomienda que la planta tenga indicadores para realizar un seguimiento a estas pérdidas, el índice de pérdidas en la planta³ es un indicador que puede ser de utilidad (Ecuación 2).

$$IP_p = \frac{Vd - (Vm + Ve)}{Vd} * 100$$

Ecuación 2.

En donde:

IP_p = Índice de pérdidas (%)

Vd = Volumen de agua estimado o medido que ingresa la planta (m³)

Vm = Volumen de agua estimado o medido que sale de la planta (m³)

Ve = Volumen de agua estimado en procesos operativos como el lavado de filtros (m³)

² El análisis de sensibilidad es una técnica que estudia el impacto que tienen sobre una variable dependiente de un modelo las variaciones en una de las variables independientes que lo conforman.

³ Este índice se construyó a partir de la modificación del índice de pérdidas en las redes de distribución y fue modificado por los autores para el diseño de esta guía.

Es recomendable que dentro del análisis de datos se evalúe la tendencia de consumo anual para lo cual se debe considerar el consumo energético real, la producción de agua, el consumo teórico y se determine la diferencia entre uno y otro; diferencias importantes son indicativos entre lo real de lo teórico y son indicativos de problemáticas en los equipos. La Tabla 4 muestra un ejemplo típico de estos análisis.

Tabla 4. Tendencias de consumo anual

| Tendencia de consumo anual | | | | | |
|----------------------------|--------------------|--|--|---------------------------------------|---|
| Mes | Consumo real (kWh) | Producción (millones de m ³) | Consumo Teórico Et=mP+E ₀ (kWh) | Diferencia entre el Ereal vs Et (kWh) | Suma Acumulativa de la diferencia (kWh) |
| Enero | 26.880 | 8,32 | 30.231 | -3351,13 | -3351,13 |
| Febrero | 23.120 | 8,71 | 27.450 | -4329,97 | -7681,10 |
| Marzo | 25.280 | 8,58 | 28.358 | -3078,48 | -10759,58 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Diciembre | 37.490 | 7,67 | 34.866 | 2623,59 | -3,00 |

4.1.4 Otros Análisis

Adicionalmente, se recomienda realizar diagramas de consumo por grupos de equipo y por equipo, como se muestra en las Figuras 16 y 17.

Figura 16. Diagrama por consumos de grupo

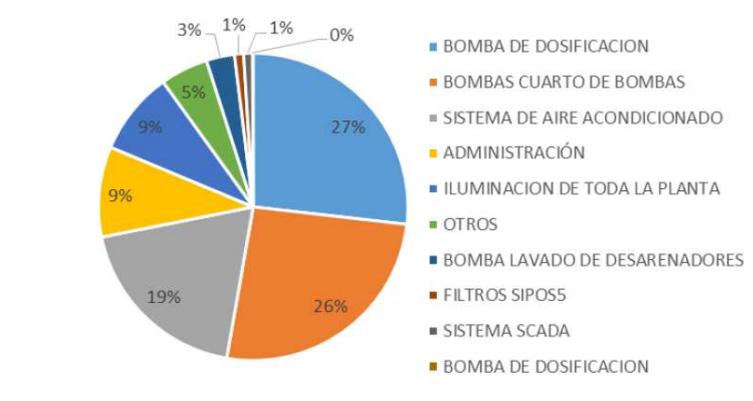
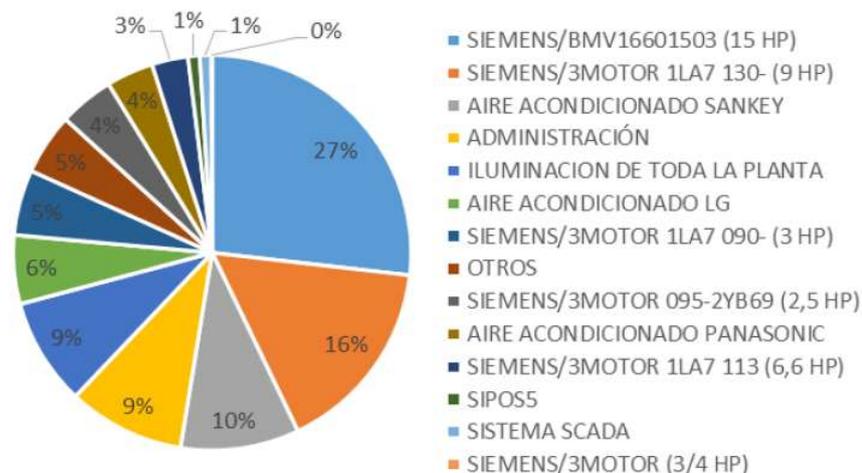


Figura 17. Diagrama por consumos de equipo



4.2 Hallazgos y propuestas de mejora

Es necesario que se consoliden los hallazgos y propuestas de mejora en un capítulo específico, de manera clara y concreta, puede ser útil dividir la información en al menos tres componentes, a continuación se muestran algunos ejemplos:

- Eléctrico. Por ejemplo: No se aprovecha la energía reactiva que se induce al sistema. Se observó en el recibo de energía eléctrica una cantidad de consumo de Activas y Reactivas las cuales son energías que no son reutilizadas en la planta de tratamiento, pero si generan un costo a la hora de la facturación.
- Hidráulico. Por ejemplo: La bomba instalada en la actualidad para el sistema de desinfección esta sobre dimensionada. Se observó que la bomba es el elemento de mayor consumo de energía eléctrica en la planta de tratamiento, con un valor superior al 35% del consumo de energía, derivado esto de su operación 24 horas al día con una potencia de 25 HP.
- Operativo. Por ejemplo: No es posible medir el agua tratada que sale de la planta y se distribuye a la ciudad. Se observa que los equipos no se encuentran en funcionamiento por un daño eléctrico, por otra parte, las sondas instaladas en la tubería no presentan una medida acertada dado que las tuberías de salida de la planta, la mayor parte del tiempo, no están totalmente llenos.

Como se ve en los ejemplos, se sugiere ser contundente en la presentación del problema, se limita a la observación, sin ningún tipo de calificativo de la misma o de especulación.

Una vez se han presentado todas las observaciones se debe proceder a dar las recomendaciones para dar solución a los problemas encontrados, se sugiere que estas recomendaciones se presenten en bloque para cada uno de los componentes y no por cada uno de los problemas, pues una solución puede subsanar más de un problema a la vez.

Un análisis DOFA puede ser útil en la planificación, su uso es completamente optativo, dependiendo de la experticia que posea la empresa en su desarrollo y uso eficaz.

5. Contenido del informe energético y operacional

El informe debe contener los siguientes capítulos:

- I. Introducción: breve contexto de la situación de la planta, incluyendo datos generales de localización y capacidad de la misma.
- II. Organigrama.
- III. Antecedentes de la planta de tratamiento: en este capítulo se sugiere, especialmente en el contexto colombiano, entender e indagar sobre la historia de la planta, cuándo se hicieron grandes inversiones, con qué proveedores, qué problemas se tuvieron, entre otras, el cual es fundamental para darle un contexto al análisis de datos histórico.
- IV. Descripción de proceso de producción de agua potable.
- V. Caracterización energética: Debe incluir los objetivos, alcance y metodología y esa a su vez la información inicial que se solicita al operador, la descripción de la visita y trabajo de campo en la planta.
- VI. Descripción de las herramientas y equipos utilizados durante la auditoría.
- VII. Capítulo de análisis de datos que incluya la revisión de la documentación recibida, documento hallazgos importantes durante el trabajo de campo, el análisis energético, especificando las herramientas estadísticas, análisis de la variación temporal del consumo de energía, la dosificación de coagulante y desinfectante y las características del agua cruda durante el periodo analizado versus el consumo esperado de coagulante⁴, así mismo debe incluir el análisis del volumen de agua captado, tratado y distribuido, la capacidad de trabajo de la planta versus el análisis de la producción de agua histórica.
- VIII. Hallazgos y propuestas de mejora.
- IX. Análisis DOFA (optativo).
- X. Conclusiones y Recomendaciones.
- XI. Anexos de toma de datos, formatos de campo diligenciados, fotografía y registro audiovisual; y bases de datos.

⁴ El análisis conjunto del consumo de energía del anual, con el consumo de coagulante correspondiente al mismo periodo, permitirá evidenciar (dependiendo de la configuración de la planta) la relación entre ambas variables, puede ser factible detectar que los picos de dosificación y los picos de consumo energético tienen una tendencia similar.

6. Contenido del informe energético y operacional

El informe debe contener los siguientes capítulos:

- XII. Introducción: breve contexto de la situación de la planta, incluyendo datos generales de localización y capacidad de la misma.
- XIII. Organigrama.
- XIV. Antecedentes de la planta de tratamiento: en este capítulo se sugiere, especialmente en el contexto colombiano, entender e indagar sobre la historia de la planta, cuándo se hicieron grandes inversiones, con qué proveedores, qué problemas se tuvieron, entre otras, el cual es fundamental para darle un contexto al análisis de datos histórico.
- XV. Descripción de proceso de producción de agua potable.
- XVI. Caracterización energética: Debe incluir los objetivos, alcance y metodología y esa a su vez la información inicial que se solicita al operador, la descripción de la visita y trabajo de campo en la planta.
- XVII. Descripción de las herramientas y equipos utilizados durante la auditoría.
- XVIII. Capítulo de análisis de datos que incluya la revisión de la documentación recibida, documento hallazgos importantes durante el trabajo de campo, el análisis energético, especificando las herramientas estadísticas, análisis de la variación temporal del consumo de energía, la dosificación de coagulante y desinfectante y las características del agua cruda durante el periodo analizado versus el consumo esperado de coagulante⁵, así mismo debe incluir el análisis del volumen de agua captado, tratado y distribuido, la capacidad de trabajo de la planta versus el análisis de la producción de agua histórica.
- XIX. Hallazgos y propuestas de mejora.
- XX. Análisis DOFA (optativo).
- XXI. Conclusiones y Recomendaciones.
- XXII. Anexos de toma de datos, formatos de campo diligenciados, fotografía y registro audiovisual; y bases de datos.

⁵ El análisis conjunto del consumo de energía del anual, con el consumo de coagulante correspondiente al mismo periodo, permitirá evidenciar (dependiendo de la configuración de la planta) la relación entre ambas variables, puede ser factible detectar que los picos de dosificación y los picos de consumo energético tienen una tendencia similar.

7. Recomendaciones generales

- Las auditorías energéticas deben no solo considerar los aspectos energéticos, sino además los aspectos operacionales.
- Es relevante que, al reporte o presentación de los resultados de la auditoría, asista el gerente de la empresa e incluso el Alcalde o su delegado quien en empresas públicas encabeza la junta directiva de la empresa, debido a que los resultados de la auditoría pueden tener recomendaciones necesarias para mejorar la operación que requieran inversiones. Es importante que la priorización e implementación tengan el visto bueno de la alta gerencia.
- Los resultados de la auditoría deben reflejarse en un plan de implementación e incluir el seguimiento de las acciones implementadas, por lo cual el director de planeación y su equipo debe estar al tanto de los resultados de la auditoría e incorporar las acciones en el plan de gestión energética y de calidad de la empresa.
- En caso de ser necesario realizar inversiones, se debe llevar a cabo un análisis financiero de los proyectos a implementar, previa priorización, permitirá ejecutar de una forma planificada cada actividad. El operador debe evaluar qué de las nuevas inversiones pueden cubrirse vía tarifa por inversión o bajo costo medio de operación de manera consistente con el marco tarifario vigente.
- Se recomienda adicionalmente revisar otras fuentes de financiación para cubrir la diferencia, inicialmente las fuentes nacionales, ya que es más probable que los recursos puedan ser desembolsados a corto o mediano plazo. También, considerar los incentivos tributarios que se implementaron bajo el marco de la Ley 1715 de 2014. Así mismo se pueden considerar fuentes internacionales las cuales pueden aportar tanto recursos como apoyo técnico valioso para las proyecciones de inversión que se espera concretar, es usual que estos recursos fluyan en trabajo de la mano con las entidades gubernamentales como los Ministerios de Minas y Energía, Vivienda, Ciudad y Territorio, Ambiente y Desarrollo Sostenible, o quien haga sus veces, o instituciones como la UPME y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE), por lo cual puede ser útil acercarse a estas instituciones y exponer las necesidades de inversión. Se sugiere trabajar con bancos de primer y segundo piso, en lo posible se recomienda usar la ayuda de las tasas compensadas que ofrece la banca de segundo piso o bancos de desarrollo.
- Es recomendable que se desarrolle una auditoría energética al menos una vez al año.
- La continuidad de los procesos y personal clave, debe asegurarse después de la implementación de acciones de mejora.
- En la auditoría se pueden identificar necesidades de capacitación específicas que deben ser informadas al personal de planeación de la empresa para su respectiva programación.

Referencias Bibliográficas

- ANDESCO- BID. Base para la formulación de un Plan de Ahorro y Eficiencia Energética para las Empresas de Acueducto y Alcantarillado (2010).
- Castrillón, Rosaura. Sistema de Gestión Integral de la Energía. Presentación en Power Point. Universidad Autónoma de Occidente Cali (2014).
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Guía para la optimización energética en sistemas de tratamiento de agua (2015).
- Normas ISO 50000. Sistemas de Gestión de la Calidad de la Energía.
- Universidad de Córdoba. Curso Gestor Energético en el Medio Rural (2008).
- Universidad Pontificia Bolivariana, Colciencias, EEPP de Medellín. Gestión Energética. Herramientas para el control de variables por proceso. Medellín (2001).
- Universidad Pontificia Bolivariana, EEPP de Medellín. Software de Gestión Energética GenWEB.
- UPME. Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas (2007).
- UPME. Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2016 - 2021 una realidad y oportunidad para Colombia (2016).