

# AUDITORÍA ENERGÉTICA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Silvino Díaz Álvarez, María Belén Folgueras Díaz

UO54168@uniovi.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

## RESUMEN

En el panorama energético actual, con las recientes incertidumbres asociadas a los precios de la energía y las inestabilidades políticas en algunos países exportadores de hidrocarburos, reducir el consumo energético mediante tecnologías más eficientes es fundamental en la definición de nuevos usos de la energía en nuestra sociedad. Dada la actual coyuntura medioambiental, económica y social, hemos de encontrar un nuevo modelo de desarrollo sostenible, incrementando la productividad de nuestra economía y el uso eficiente de los recursos.

Este reto de encontrar un modelo de desarrollo sostenible, entendido éste como el conjunto de recursos económicos, materiales y humanos que intervienen en el abastecimiento energético, obliga a una reflexión profunda y a un cambio de paradigma en nuestro modelo energético. Son estas ineludibles responsabilidades en la definición de este modelo de futuro, las que han de situar al ahorro y la eficiencia energética entre las prioridades de actuación de nuestra sociedad en su conjunto, permitiendo que la eficiencia energética se erija como un nuevo factor de desarrollo fundamental para la sostenibilidad de nuestro planeta.

En España y dentro de esta estrategia de ahorro y eficiencia energética, tres han sido los Planes de Acción aprobados hasta la fecha: El Plan de Acción PAEE 2005-2007, el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética PAEE 2008-2012, como sustituto del primero y el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética PAEE 2011-2020, que da continuidad a los planes anteriores.

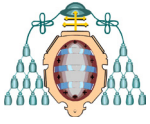
En la línea de actuación por el ahorro y la eficiencia energética, se debe realizar una incidencia especial en la potenciación de las auditorías energéticas, como una de las herramientas de diagnóstico para conocer y mejorar el estado energético de un centro de trabajo o de una empresa. Para las personas interesadas en desarrollar su actividad profesional en este campo es preciso que conozcan de las auditorías energéticas sus objetivos, sus beneficios, cual es la formación adecuada del personal que tiene que realizarlas, los tipos de auditorías que se pueden

llevar a cabo, su normativa, su planificación y desarrollo, y los materiales y herramientas que es necesario disponer para realizarlas.

Como intento de aproximación a este campo y experiencia previa en el mismo se ha desarrollado una auditoría energética en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), de manera que las propuestas de mejora que se plantean en la misma darían como resultado tras su implantación futura un ahorro energético estimado para la instalación de 611.506 kWh al año, con un ahorro económico de 67.680 € anuales en los costes energéticos, a la vez que ligadamente a los anteriores se provocaría un beneficio medioambiental debido a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas que se ha estimado en un 53,51% respecto a la situación de la ETAP para el año 2011. De esta forma se ha constatado que el ahorro y la eficiencia energética debe ser uno de los objetivos prioritarios dentro del funcionamiento futuro de la instalación lo que conllevará no sólo el aumento de la productividad en la misma sino que contribuirá también al objetivo común que debe ser la evolución del modelo económico global hacia uno más sostenible, más competitivo y basado en bajas emisiones de carbono; un modelo que asegure el respeto al medio ambiente, mantenga la competitividad de las empresas y la seguridad del suministro energético.

## ABSTRACT

In the current energy landscape, with the recent uncertainties associated with energy prices and political instability in some oil exporting countries, reduce energy consumption through more efficient technologies is crucial in defining new uses of energy in our society. Given current environmental, economic and social, we must find a new model of sustainable development, increasing the productivity of our economy and efficient use of resources. The challenge of finding a model of sustainable development, understood as the set of economic, human and material involved in energy supply, requires deep reflection and a paradigm shift in our energy model. These are inescapable responsibility in shaping the future of this



model, which have to place the savings and energy efficiency among the priorities for action in our society as a whole, allowing that energy efficiency is erected as a new key development factor for the sustainability of our planet. In Spain and in this strategy of , three have been approved Action Plans to date: PAEE Action Plan 2005-2007, the Action Plan and Energy Efficiency PAEE 2008-2012, substituting the first and the Plan of Action Savings and Energy Efficiency PAAEE 2011-2020, which follows on from previous plans. In the course of action for saving and energy efficiency, you should make a special impact on the enhancement of energy audits, as one of the diagnostic tools to understand and improve the energy status of a workplace or company. For people interested in developing their career in this field need to know the energy audits its objectives, its benefits, what is the proper training of personnel who must perform them, the types of audits that can be carried out, their policy, planning and development, and the materials and tools is required to perform them. As I try to approach this field and previous experience in itself has developed an energy audit at a station of Potable Water Treatment (ETAP), so that the improvement proposals raised in the same would result after implantation future estimated energy savings for the installation of 611.506 kWh per year, with a cost savings of 67.680 € per year in energy costs, while the previous unitedly would cause an environmental benefit due to reduced emissions associated CO<sub>2</sub> has been estimated at 53.51% compared to the situation of the ETAP for 2011. Thus it was found that saving and energy efficiency should be one of the priorities in the future operation of the facility which will involve not only increased productivity in the same but will also contribute to the common goal to be the evolution of the global economic model to a more sustainable, competitive and based on low carbon, a model that ensures respect for the environment, keep the competitiveness of enterprises and security of energy supply.

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 El problema medioambiental.

El consumo de energía procedente de combustibles fósiles durante el último siglo ha experimentado un espectacular ascenso. Esto ha permitido elevar el nivel de vida de las personas con base al enorme crecimiento industrial, pero como contrapartida nos hemos encontrado con nuevos problemas, como el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación del medio ambiente y el cambio climático inducido por la actividad humana.

Según las conclusiones a las que llegó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el año 2001 y que han sido de nuevo señaladas en su publicación de 2005 y 2007, las concentraciones globales de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico se han

incrementado significativamente como resultado de las actividades humanas desde el año 1750 y actualmente exceden ampliamente los valores pre-industriales.

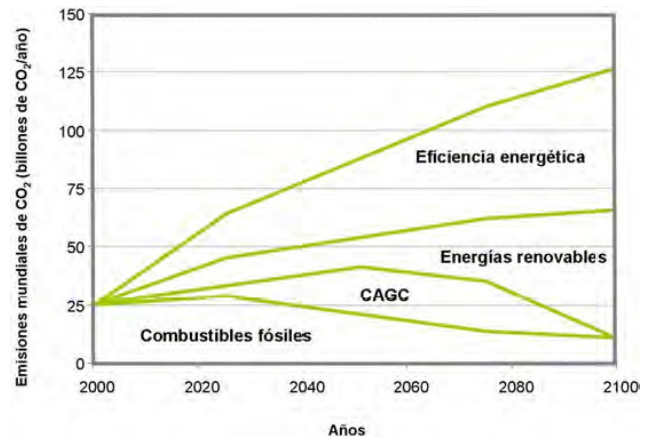


Figura 1. Estimación del potencial de la eficiencia energética en la estrategia de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas.

Puede alcanzarse una significativa reducción de las emisiones globales debidas a las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> a través de una aplicación profunda de una serie de medidas que incluyan (figura 1):

- El incremento de la eficiencia energética a través de una mejora tecnológica de los procesos.
- El uso de los combustibles de generen menos CO<sub>2</sub> y de fuentes de energía renovables, solares y nucleares.
- El incremento artificial del ratio entre captura y capacidad de emisión de las fuentes de CO<sub>2</sub> [1].

La Agencia Internacional de la Energía (AIE), basándose en el análisis del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), plantea como escenario energético alternativo BLUE (figura 2) aquel que contempla una reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del 50% para limitar el calentamiento global hasta 2-4 °C a finales de siglo. Así, según el último informe sobre Prospectiva de Tecnologías Energéticas 2008-2050 de la AIE, dentro del escenario BLUE, la eficiencia energética contribuirá a la reducción global de emisiones en casi un 50% [2].

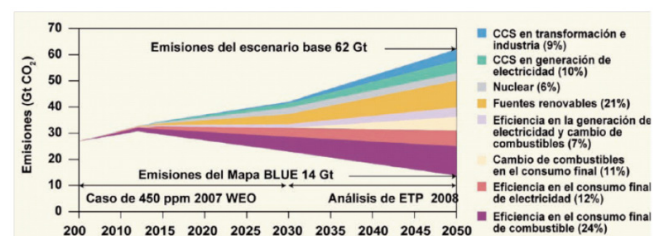
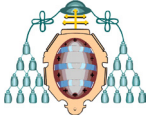


Figura 2. Contribución de cada opción tecnológica a la reducción de emisiones del escenario BLUE en el periodo 2005-2050.

Si no se actúa de alguna manera, el desarrollo industrial en todo el mundo se traducirá en un aumento en el uso de



la energía y dará lugar a una mayor concentración de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otras emisiones, tales como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), que tienen consecuencias desastrosas para el clima de la Tierra como el aumento de la temperatura, la sequía, las inundaciones, el hambre y el caos económico.

### 1.2 Eficiencia energética en la industria.

En la industria, la eficiencia energética puede ser mejorada por diferentes enfoques, de los que se puede destacar:

- Ahorro de energía mediante una buena gestión energética.
- Ahorro de energía mediante tecnologías más eficientes.
- Ahorro de energía mediante políticas energéticas.

La gravedad del impacto ambiental del uso energético ha provocado fuertes movimientos sociales que han resultado en respuestas políticas del más alto nivel. El compromiso de la Unión Europea en temas de medio ambiente y desarrollo sostenible se ha demostrado marcando unos objetivos concretos: reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  en un mínimo del 20%, aumentar la eficiencia energética en un 20% y aumentar la fracción de energías renovables al 20% respecto a los niveles del año 1990, todo esto hasta el año 2020.

Por otro lado, los precios crecientes de los combustibles fósiles y sus repentinas fluctuaciones hacen impredecible el coste energético de las empresas y pone en dificultades, especialmente las PYMES.

Aunque la eficiencia energética ha aumentado en la industria europea a lo largo de las últimas décadas, todavía hay un gran potencial por explotar en lo que respecta a la reducción de la demanda energética, que podría materializarse mediante la combinación inteligente de soluciones y tecnologías que ya existen. La mejora de la eficiencia energética no sólo genera unos beneficios ambientales evidentes, sino que también resulta interesante para las empresas del sector industrial desde el punto de vista económico, en muchos casos, la inversión se puede recuperar en cuestión de meses o unos pocos años. En una empresa mediana o pequeña típica, la energía puede representar entre el 3 y el 12 % de los costes de explotación, pero existiendo normalmente un potencial de ahorro de energía de entre el 15 al 30 %. Por lo tanto en las empresas, la energía, es esencial en el desarrollo de su actividad, siendo necesaria tanto en los principales procesos industriales como en la más pequeña actividad auxiliar, y participando directamente en los costes de producción. Esa relación directa con los costes implica que sea tan necesario profundizar en su conocimiento y control. Desde la gestión de la empresa se debe trabajar para optimizar el uso y coste de la energía empleada en los procesos y gestionar de una

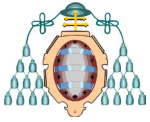
forma activa las necesidades de energía. Esa gestión de la energía ha de enfocarse hacia el objetivo sistemático de la mejora de la eficiencia energética [3].

La gestión de la energía es la estrategia de satisfacer la demanda de energía cuando y donde se necesita. Esto puede lograrse mediante el ajuste y optimización de la energía mediante el uso de sistemas y procedimientos para reducir los requerimientos de energía por unidad de producción mientras se mantienen constantes o se reducen los costes totales de producción de la salida de estos sistemas. La gestión de la energía comenzó a ser considerada como una de las funciones principales de la gestión industrial como el resultado del aumento del precio de la energía y de los informes que alertaban sobre la posibilidad cada vez más cercana del agotamiento de los recursos mundiales de energía. Hoy en día, el papel de la gestión de la energía se ha extendido ampliamente en las industrias. La alta dirección de la empresa participa en la planificación de los proyectos de gestión de la energía de una forma regular. Los informes anuales de muchas empresas suelen hablar de los detalles de las actividades de conservación de la energía y de los diversos logros de la empresa en relación con proyectos para la conservación de la energía. Para ser eficaces, los programas de gestión de la energía deben incluir cuatro secciones principales: (1) análisis de los datos históricos; (2) auditorías energéticas y contabilidad; (3) análisis de ingeniería y propuestas de inversiones sobre la base de estudios de viabilidad; (4) formación del personal e información [4].

El objetivo último de la gestión de la energía en las empresas es alcanzar mayor productividad, mayor calidad en la producción, para lograr mejorar la competitividad. Por tanto el conocimiento de cómo la empresa contrata su energía, cómo la consume en sus procesos, cuánto repercute en sus costes, su situación relativa en relación a otras empresas similares y las posibles mejoras para reducir el coste energético, es el origen del desarrollo de los estudios energéticos. Estos estudios permiten a la empresa radiografiar su situación energética y detectar las operaciones dentro de los procesos que pueden contribuir al ahorro y la eficiencia de la energía primaria consumida, así como optimizar la demanda energética de las instalaciones.

Las ventajas que ofrecen los estudios energéticos a las empresas, se pueden resumir como:

- Conocimiento del gasto energético e inicio de su control.
- Información sobre las posibles medidas, que permiten reducir los costes energéticos.
- Implantación de las medidas diagnosticadas, permitiendo la reducción de costes energéticos, con una mejora de la eficiencia energética, competitividad y resultados empresariales.
- Minimización del impacto ambiental, por la disminución de las emisiones de gases de efecto



invernadero, consecuencia de la reducción o diversificación de los consumos energéticos [5].

La gestión de la energía ha madurado hasta el punto de que ofrece excelentes oportunidades para aquellos que estén dispuestos a invertir tiempo y esfuerzo para aprender los fundamentos para la misma. Ello requiere de habilidades técnicas y de gestión que cubran las necesidades educativas tanto para el técnico como del personal de gestión que deseen entrar en este campo. Debido al retorno económico que produce la gestión de la energía, es atractivo para los gestores de la alta dirección, de modo que su exposición a este nivel por parte de los gestores energéticos ofrece la oportunidad adicional para el reconocimiento y el avance profesional. La gestión de la energía es un proceso continuo y necesario, por lo que las personas con esta habilidad tienen una cierta seguridad en el trabajo, incluso en los momentos actuales, en los cuales nos encontramos atrapados en una tendencia a la reducción de personal que impregna nuestra sociedad [4].

### 1.3 Situación española respecto a la eficiencia energética.

Nuestro país tiene una elevada dependencia energética exterior cuyo nivel es superior al 80 %, frente al 50 % medio de la UE, lo que supone riesgos inflacionistas y desequilibrios macroeconómicos en escenarios de precios al alza del crudo. Además existen altas tasas anuales de crecimiento de la demanda energética.

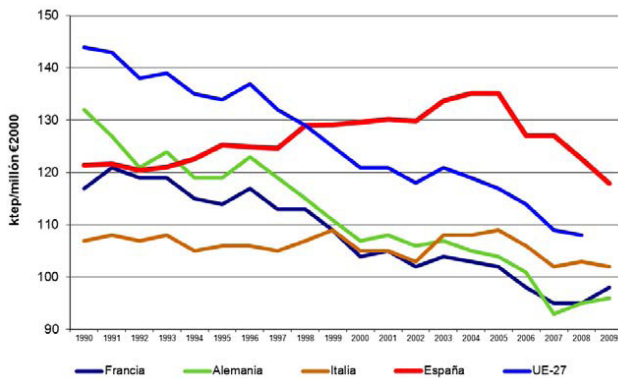


Figura 3. Evolución de la intensidad energética final en países de la UE.

Para analizar la eficiencia energética en España y su evolución frente a la Unión Europea se suele utilizar como indicador la intensidad energética (IE), calculada como el cociente entre el consumo energético y el producto interior bruto (PIB). Entre 1990 y 2005, la intensidad energética, se ha mantenido sin apreciarse reducciones que indiquen mejoras sustanciales en eficiencia, aun cuando a partir de 2006 comenzó una reducción que se ha mantenido hasta la actualidad (figura 3). Por su parte, la UE ha venido registrando una reducción continuada en su intensidad energética en el periodo considerado.

La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, ya que mejora la

competitividad de sus procesos productivos y reduce tanto las emisiones como la factura energética. Los objetivos estratégicos definidos entorno al ahorro y la eficiencia energética podrían resumirse en los puntos siguientes:

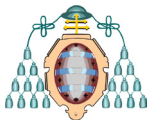
- Reconocer en el ahorro y la eficiencia energética un instrumento básico del crecimiento económico y del bienestar social.
- Conformar las condiciones adecuadas para que se extienda y se desarrolle, en la sociedad, el conocimiento sobre el ahorro y la eficiencia energética en todas las estrategias nacionales y, especialmente, en la Estrategia Española del Cambio Climático.
- Fomentar la competencia en el mercado.
- Consolidar la posición de España en la vanguardia del ahorro y la eficiencia energética.

En España, el 28 de noviembre de 2003 fue aprobada por el Gobierno, la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2010 (E4), la cual sustituía al Plan de Ahorro y Eficiencia Energética, anexo al PEN 1991-2000, aprobado por Consejo de Ministros del 26 de Mayo de 1991. Esta estrategia servía de unión a dos normativas en el ámbito de la sostenibilidad, como son la Estrategia Española del Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCL) y el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, identificando los objetivos de carácter estratégico y la senda que la política energética debería recorrer para alcanzar los objetivos de la misma. Dentro de esta estrategia, tres han sido los Planes de Acción aprobados hasta la fecha: El Plan de Acción PAAEE 2005-2007, el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética PAEE 2008-2012, como sustituto del primero y el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética PAEE 2011-2020, que da continuidad a los planes anteriores.

La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos fija un objetivo mínimo orientativo de ahorro energético del 9% en 2016 y establece la obligatoriedad para los Estados miembros de presentar a la Comisión Europea un segundo Plan de Acción nacional (National Energy Efficiency Action Plan, NEEAP) donde se fijan las actuaciones y mecanismos para conseguir los objetivos fijados. Por otra parte, el Consejo Europeo de 17 de junio de 2010 ha fijado como objetivo para 2020 ahorrar un 20% de su consumo de energía primaria.

Este Plan se ha diseñado con un enfoque integral, incluyendo ahorros de energía final y primaria, en la medida en que pretende configurarse como una herramienta central de la política energética del Estado español. La mejora de la eficiencia energética —por su carácter horizontal— ha de vertebrar todas las políticas públicas, de manera que pueda asegurarse el cumplimiento de los objetivos en materia de seguridad del suministro, mejora de la competitividad y respeto al medio ambiente y, en particular, de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.





La segunda parte del Plan está centrada en el análisis sectorial, para cada uno de los siguientes sectores: Industria, Transporte, Edificación y Equipamiento, Servicios Públicos, Agricultura y Pesca y Transformación de la Energía.

El Sector Servicios Públicos agrupa, en este Plan de Acción 2011-2020, las instalaciones de alumbrado exterior en vías y espacios públicos, y las de suministro de agua a la población, entendiéndose por alumbrado exterior las instalaciones de iluminación funcional, ambiental y ornamental de viales y espacios abiertos; y por suministro de agua, las instalaciones de potabilización, abastecimiento y depuración en municipios, así como las de desalación de agua de mar.

El subsector de las instalaciones de suministro de agua a la población ha experimentado un incremento del consumo de energía no sólo por el crecimiento poblacional sino también por el derivado de las exigencias sobre calidad y depuración de las aguas residuales contenidas en la Directiva 91/271 y el consiguiente Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, que se ha traducido en la entrada en servicio de numerosas EDAR (Estaciones de Depuración de Aguas Residuales) a lo largo de la geografía española.

En abastecimiento de agua la reducción del consumo de energía vendrá motivada por la reducción de las pérdidas de agua en las redes de suministro no solamente por la mejora de las redes existentes, sino también por la implantación de sistemas de telecontrol para la detección sistemática de fugas ocultas; por la reutilización de aguas depuradas en consumos municipales (riego de jardines y limpieza de calles) y por la optimización de los sistemas de bombeo en su adecuación a la variación de la presión y las demandas del suministro de agua.

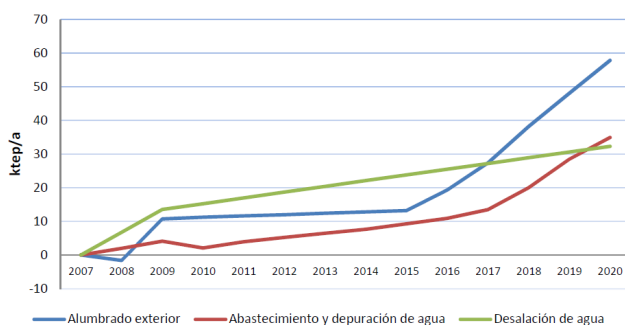


Figura 4. Evolución de los ahorros de energía en el Sector Servicios Públicos.

La evolución de los ahorros de energía para estos subsectores se representa en la gráfica de la figura 4, en abastecimiento y depuración se espera que junto a la innovación tecnológica para el control de presiones y fugas de agua, a lo largo de la década vayan entrando en servicio la reutilización de aguas depuradas para usos no sanitarios que aportarán un ahorro añadido.

Para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones actuales de potabilización, abastecimiento, depuración de aguas residuales y desalación, el objetivo es fomentar la sustitución de tecnologías existentes en las instalaciones de potabilización, abastecimiento, depuración y desalación de agua por otras tecnologías más eficientes.

De esta forma una iniciativa sería la introducción de criterios de eficiencia energética y bajo consumo energético en los pliegos de los concursos para la reforma de las instalaciones existentes referentes a proyectos de potabilización, abastecimiento y depuración de aguas residuales y desalación, en las instalaciones que son de titularidad pública.

Los mecanismos de actuación comprendidos dentro de las medidas serán:

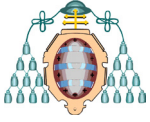
- **Regulatorios:** con la elaboración de especificaciones técnicas para la mejora de la eficiencia energética a incorporar en los pliegos de concursos públicos de ejecución de nuevas plantas de potabilización, depuración o desalación de agua.
- **Incentivos económicos:** con la subvención de los costes elegibles en la ejecución de proyectos de introducción de nuevos equipos con tecnología más moderna que posibiliten un mayor ahorro y eficiencia energética en las instalaciones existentes.

En el marco temporal 2011-2020 el grupo objetivo de la medida serían los Titulares públicos de instalaciones de potabilización, abastecimiento, depuración y desalación de agua o empresas públicas o privadas concesionarias del servicio, asumiendo la responsabilidad el Ministerio de Industria, Energía y Turismo/IDAE, y teniendo como colaboradores a las comunidades autónomas, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Administraciones Locales y FEMP.

El apoyo a gestionar por el sector público estimado para el impulso y promoción de esta medida se ha obtenido como un porcentaje de la inversión total requerida para la modernización de las instalaciones de potabilización, abastecimiento, depuración y desalación, aplicando criterios de ahorro y eficiencia energética, poniendo a disposición de los Ayuntamientos e instituciones públicas un porcentaje de los medios económicos necesarios para la realización de estas actuaciones. El apoyo a gestionar por el sector público total en el periodo 2011-2020 será de 15 millones de euros [6].

#### 1.4 La auditoría energética.

Las políticas de ahorro y eficiencia energética se configuran como un instrumento de progreso de la sociedad, pues contribuyen al bienestar social, representan un elemento de responsabilidad social, proyectan las actividades humanas hacia el desarrollo sostenible y establecen un marco para el desarrollo de la competitividad empresarial. En la línea de actuación por el ahorro y la



eficiencia energética, se debe realizar una incidencia especial en la potenciación de las auditorías energéticas, como herramienta de diagnóstico para conocer y mejorar el estado energético de un centro de trabajo o de una empresa.

La eficiencia energética parece un objetivo evidente. Pero cuando nos ponemos a analizar las múltiples formas en que la energía forma parte de nuestros procesos, y consideramos el costo frente al beneficio de obtener más productividad de cada euro gastado en energía, nos damos cuenta de lo complicada que llega a ser la búsqueda de la eficiencia.

No existe un método que por sí solo pueda lograr la eficiencia energética. Se logra gracias a una combinación de medidas correctoras, preventivas, programas educativos y de concienciación, maquinaria eficiente, procesos bien diseñados y medidas para evitar pérdidas. Es una combinación inteligente de estos elementos lo que finalmente conduce a algo que al final es más eficiente [6].

La auditoría energética se define como un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico. Dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales. El objetivo general de las auditorías se resume en analizar las necesidades energéticas de la empresa auditada, integrando a todos los equipos y sistemas que forman parte de ella, y proponer soluciones de mejora en materia de ahorro de energía y de incorporación de nuevas energías que sean viables técnica y económicamente.

Dentro de esta idea general, los objetivos a plantearse serían:

- Conocer la situación energética de la empresa, determinar con la mayor exactitud posible los consumos reales de la planta. Averiguar cómo se compra y utiliza la energía, dónde se usa y con qué eficacia.
- Obtener el balance energético global de los equipos e instalaciones en consumos de energía para su cuantificación.
- Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- Analizar las relaciones entre los costos y los beneficios de las diferentes oportunidades dentro del contexto financiero y gerencial, para poder priorizar su implementación.
- Usar la energía de forma racional, lo cual conducirá a ahorros de energía sin apenas inversión.

- Analizar la posibilidad de integrar instalaciones de energías renovables o alternativas en las instalaciones.

Prioritariamente se buscan aquellas mejoras que, con un plazo de amortización razonable, puedan ser ejecutadas por la propia empresa. Por tanto no sólo se tienen en cuenta las tecnologías y equipos suficientemente desarrollados que puedan utilizarse en cada caso, sino también aquellos comportamientos que impliquen un mejor uso de las instalaciones y equipos, involucrando activamente al personal de la empresa o planta de producción.

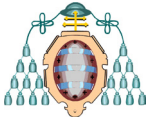
El hecho de que las auditorías se hayan realizado de manera diferente según el sector, la empresa o la comunidad autónoma, hace que los resultados obtenidos no sean comparables entre ellos y se pierda una fuente potencial de benchmarking. Para abordar la difícil tarea de optimización energética se necesita el conocimiento detallado de consumo de cada proceso y subproceso, tanto en cantidad, como por niveles de calidad de la misma. Esto es estrictamente necesario para la explotación de los potenciales existentes de recuperación o posibilidad de evitar pérdidas de energía. Por otro lado la enorme diversidad de procesos dificulta si cabe aún más el proceso de auditoría. Lo expresado anteriormente pone de manifiesto la necesidad de una metodología estandarizada que permita agilizar el proceso de auditoría, reducir los costes y marcar unas prioridades claras en la aplicación de las medidas de ahorro, para conseguir resultados óptimos desde el punto de vista energético y económico [7].

### *1.5 Normativa y documentación sobre auditorías energéticas.*

Actualmente, se están desarrollando un gran número de leyes y de normativas de carácter energético, tanto por lo que se refiere a la eficiencia energética como a la diversificación energética. La única norma referida a la realización de auditorías energéticas es la: "Norma UNE 216.501. Auditorías energéticas. Requisitos", aprobada en octubre de 2009, que define la metodología que se debe seguir para realizar una auditoría energética.

En la actualidad existen otras normas generalistas internacionales sobre auditorías energéticas tanto ISO (familia 31 todas las partes) como IEC (familia 60027 todas las partes) y normas específicas en ámbitos concretos como Edificios, Industria, Transporte. En España el IDAE y las distintas agencias de la Energía de las CCAA han publicado multitud de guías para la realización de auditorías energéticas de diferentes alcances, normalmente con algunos nexos en común. La UNE 216.501 intenta servir de marco para unificar unos requisitos suficientes que aseguren la calidad y profundidad del trabajo realizado.

Asimismo, el CEN (Comité Europeo de Normalización), formó a final del año 2009 un grupo de trabajo para



desarrollar una norma común para la Unión Europea sobre las auditorías energéticas.

Las guías de mejores técnicas disponibles (MTD) se han elaborado a raíz de la obligación de la Administración general del Estado, según el artículo 8 de la Ley 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, de suministrar la información ambiental disponible y, si procede, de elaborar las guías sectoriales sobre mejores técnicas disponibles.

En el mes de febrero del año 2009 se aprobó el Documento (BREF) Reference Document Best Available Techniques for Energy Efficiency, en el que se dan herramientas al auditor energético para realizar auditorías energéticas, así como valores de referencia [12].

### 1.6 Responsabilidad de la empresa auditora.

Las auditorías energéticas han de ser realizadas por una entidad solvente e independiente. Para acreditar estos extremos dicha entidad deberá cumplir con los siguientes aspectos que se citan a continuación:

- Solvencia técnica, con referencias demostrables de los trabajos de auditorías realizados, y con equipos o instrumentos para la medida y registro de los datos energéticos.
- Independencia y ética, con un compromiso de confidencialidad con la documentación y la información a la que se tenga acceso, obligándose a mantener en secreto cuanta información conozca en el ejercicio de su actividad. Además es conveniente que no existan cruces accionariales significativos entre la empresa auditora y la empresa auditada.

El auditor energético es el profesional que realiza la auditoría, usualmente coordinando a un grupo de especialistas, por la amplitud o complejidad de la instalación analizada. La diversidad de tipos de empresas, pertenecientes a sectores con procesos muy diferentes, distintos tipos de equipos consumidores y tecnologías energéticas horizontales específicas hacen aconsejable que el auditor, o el coordinador al menos, posea una formación muy amplia, con conocimientos de las técnicas energéticas en profundidad y capacidad para relacionar los procesos productivos con el consumo de energía. Además el auditor energético deberá poseer los conocimientos necesarios para la realización de cálculos técnicos y económicos, la capacidad de realizar y dirigir las mediciones y una amplia experiencia profesional de trabajo en plantas. Por otro lado, el gestor energético es la persona que baraja una serie de experiencias y conocimientos amplios, es el responsable de la gestión energética de la empresa, cuyo objetivo es la mejora de la eficiencia en sus consumos energéticos de forma sistemática [5].

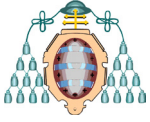
### 1.7 Tipos de auditorías energéticas y contratos empresariales.

Una empresa puede realizar diferentes tipos de auditoría según los objetivos que quiera conseguir y los medios de que disponga. El estudio energético básico es una fase previa a la auditoría. Su objetivo principal es verificar la conveniencia de hacer una auditoría energética, su alcance y profundización.

La auditoría tiene como objetivo conocer la relación entre las fuentes energéticas, los usos energéticos y los productos o servicios generados mediante el uso de la energía. Se aconseja obtener el mapa energético del centro. El objetivo del mapa energético es definir cuáles son los usos a que se destina la energía final, que es la que se compra a las empresas suministradoras de energía o de servicios energéticos.

A partir del mapa energético y del análisis de los equipos se identifican las propuestas de mejora para conseguir una mejor eficiencia energética y ahorrar en costes de la energía. Una vez identificadas las propuestas de mejora, se evalúan técnicamente y se analizan las inversiones asociadas. La auditoría energética incluye la evaluación energética de estas propuestas de mejora, así como la evaluación económica, de manera que se pueden analizar los parámetros financieros que definen la viabilidad de la propuesta de mejora. La auditoría energética es un instrumento para los responsables energéticos del centro, para definir qué inversiones hay que acometer en mejoras energéticas. El alcance de la auditoría definirá el detalle al que se quiere llegar: cuando mayor sea el alcance, las propuestas se referirán más a equipos principales o serán más generalistas, mientras que si el alcance se va reduciendo, las propuestas de mejora irán bajando más al detalle. A continuación se hace una breve descripción de diferentes denominaciones o clasificaciones de auditorías energéticas según su alcance o su objetivo.

- Auditoría energética global. La auditoría energética global hace un análisis energético de la totalidad del centro, haciendo especial atención a los usos y orígenes de la energía. El objetivo principal es analizar la energía y su relación con el proceso productivo.
- Auditoría energética parcial. Se conoce como auditoría energética parcial la que sólo trata el consumo energético de una parte del centro, de un tipo de energía en particular o un tipo de producto determinado. Es habitual que este tipo de auditoría se haga como continuación de una auditoría global previa, a partir de la cual se han determinado los principales puntos de consumo energético de la empresa. El objetivo de las auditorías parciales es profundizar más en detalle en aspectos que no se pueden considerar en una auditoría global, aprovechando que el alcance es más reducido y más concreto. Los técnicos que realizan este tipo de auditorías energéticas, están más especializados en las tecnologías horizontales (aire comprimido,



climatización, iluminación, vapor, motores y accionamientos eléctricos, ...), o en tecnologías específicas (máquinas de papel, spa, servicios informáticos, ...), que se analizan y permite estudiar medidas que en una auditoría energética global no se valorarían.

- Auditoría energética de mantenimiento. La auditoría energética de mantenimiento tiene como objetivo analizar las tareas de mantenimiento sólo desde la vertiente energética. Se evalúa cómo afectan las tareas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo sobre el rendimiento energético de los equipos. Tiene como objetivo definir puntos de mejora en las funciones de mantenimiento de los equipos para tratar de mejorar la eficiencia energética de las instalaciones.
- Auditoría energética de seguimiento. Una vez finalizada una auditoría energética, se habrán obtenido un conjunto de propuestas de mejora y sus rentabilidades energéticas y económicas. Con estos parámetros, y dado que la metodología empleada para analizar las diferentes opciones ha sido la misma, se habrá definido los puntos en los que una inversión es más rentable. Una vez hecha la inversión, la auditoría energética de seguimiento es una herramienta para determinar en qué grado las previsiones hechas en la auditoría se han cumplido. Mediante la auditoría de seguimiento se pueden analizar las causas de las desviaciones y proponer o hacer las propuestas necesarias para alcanzar los objetivos. Se puede plantear para sólo un proyecto o varios, pudiendo realizarse un trabajo de apoyo energético de la empresa consumidora durante un período largo de tiempo.
- Auditoría energética de nuevo proyecto. La auditoría energética de proyecto tiene como objetivo analizar, únicamente bajo la vertiente energética, un proyecto antes de que se lleve a cabo. El objetivo principal de esta auditoría es evaluar si los equipos, instalaciones y sistemas de control proyectados aplican las mejores tecnologías disponibles o se pueden aplicar medidas que permitan mejorar el proyecto.
- Auditoría de sistema de gestión energética. Esta auditoría tiene como objetivo analizar y proponer mejoras al sistema de gestión energética de la empresa. Entendemos como sistema de gestión energética el conjunto de elementos que establecen la política energética, los objetivos energéticos y los procedimientos para alcanzar estos objetivos. Esta auditoría puede ir dirigida a la implantación de la Norma EN-16001 o la ISO 50001 y, por tanto, determinar si el centro puede ser certificado. Esta gestión, posteriormente puede ir dirigida a certificar el buen funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo.

- Auditoría energética del ciclo de vida. Esta tipología de auditoría energética conlleva la evaluación energética de un producto o servicio al largo de todo su ciclo de vida, incluyendo todos los procesos, materiales y energías implicadas. Este tipo de auditoría se realiza cuando se quiere comparar dos tecnologías o dos productos de manera global [7].

Actualmente las organizaciones están llevando a cabo un gran número de auditorías energéticas, con una gran diversidad de tipos de contratos con las empresas que las realizan, por ejemplo:

- Contratos a éxito: en esta modalidad, la ingeniería recibe los honorarios en función del ahorro económico que se defina en las medidas finalmente analizadas y propuestas.
- Contratos a precio fijo: la ingeniería recibe sus honorarios en función del tiempo y los recursos que dedica a realizar la auditoría.
- Contratos a ahorros compartidos: la ingeniería recibe unos honorarios en función del tiempo y los recursos dedicados y un porcentaje adicional en función de los resultados obtenidos de la auditoría.

La tipología de contrato no debe afectar a la metodología utilizada, ni a los resultados obtenidos en la auditoría [7].

## 2. MÉTODO DE TRABAJO.

### 2.1 Planificación y desarrollo de la auditoría energética.

La planificación del esquema de realización de la auditoría energética es sumamente importante, ya que determinará qué sistemas energéticos se analizan y con qué profundidad, además de seleccionar las mejoras a analizar y aplicar.

A continuación, se describen las etapas de un proceso de auditoría energética, y en la figura 5 se muestra un cronograma indicativo para su desarrollo.

1. SOLICITUD DE DATOS. La fase de solicitud de datos tiene como objetivo recoger información suficiente para conocer el proceso energético del que se debe realizar la auditoría energética. Los datos a solicitar se refieren principalmente a usos de la energía, los equipos, las instalaciones y las variables que pueden dar lugar a importantes variaciones en los consumos o producciones energéticas.
2. REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA. Esta fase de revisión tiene como objetivo conocer desde la vertiente energética: el centro, el proceso productivo, las instalaciones y/o los sistemas que deben ser objeto de auditoría. Normalmente, con la información facilitada por los responsables del centro no hay suficiente y hay que complementarla con información adicional obtenida



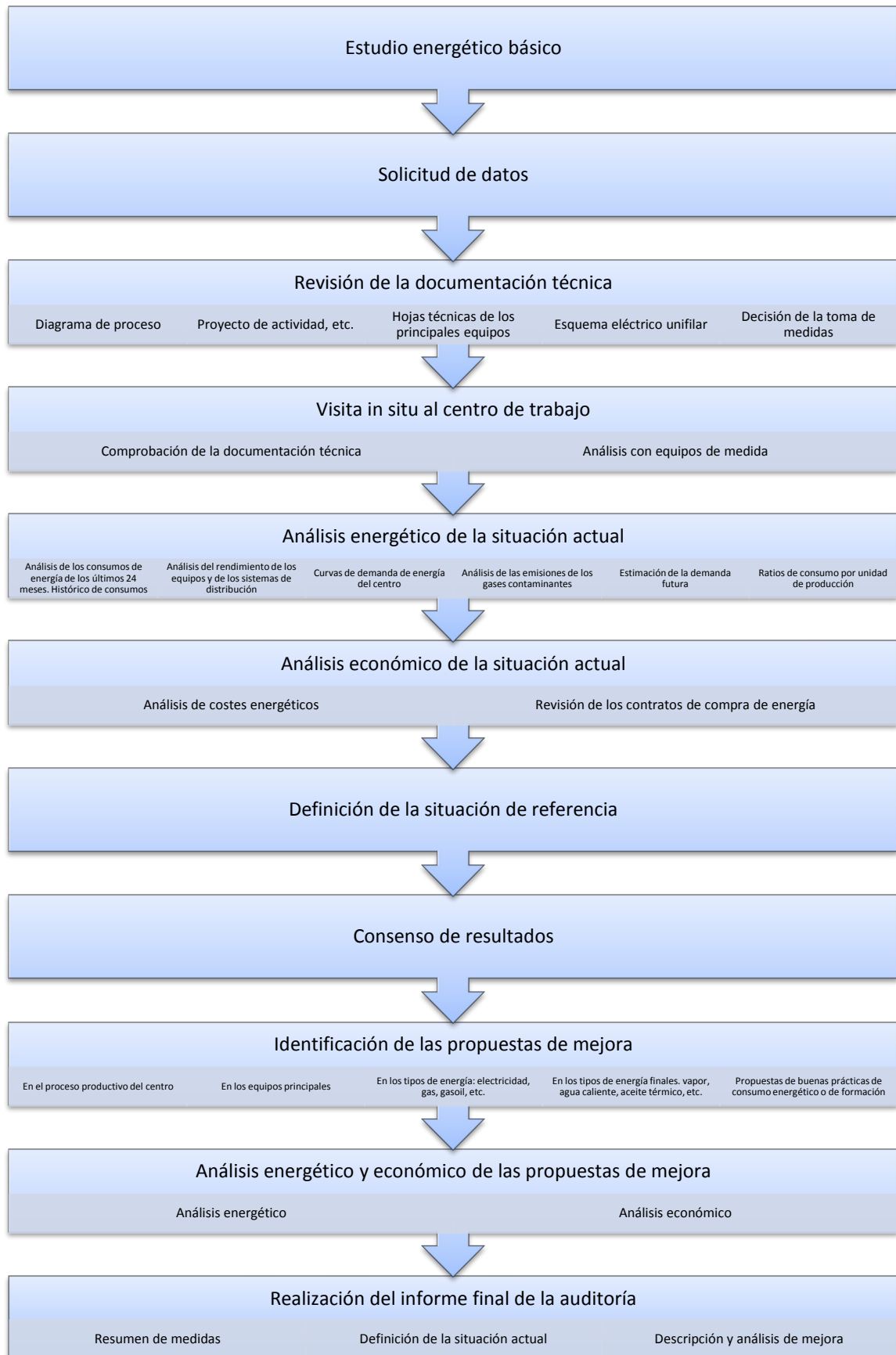
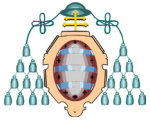
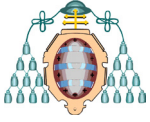


Figura 5. Cronograma de un proceso de auditoría energética.



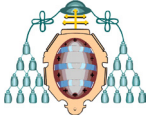
de fuentes bibliográficas especializadas o de fabricantes de equipos.

3. **VISITA IN SITU EN EL CENTRO.** Esta fase tiene como objetivo verificar la información obtenida mediante la información aportada, resolver las dudas surgidas durante el análisis previo y obtener las lecturas de consumo energético u otros parámetros necesarios a partir de la instalación de equipos de medición.
4. **ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.** El análisis energético de la situación actual tiene como objetivo definir el mapa energético del centro, evaluar la eficiencia energética y el rendimiento energético de los equipos o procesos. La comparación de estos valores con parámetros obtenidos de benchmarking o de la experiencia permitirá al auditor energético definir la situación energética de la empresa en comparación con otras empresas y hacer las propuestas de mejora que considere adecuadas.
5. **ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.** Una vez realizado el análisis energético, ya se tiene un conocimiento en profundidad de los consumos energéticos, de los equipos y los sistemas implicados y los costes a considerar. El análisis económico tiene como objetivo conocer con profundidad los costes energéticos asociados, los precios medios obtenidos, el coste por unidad de producto (o variable asociada), el porcentaje que el coste energético representa sobre los costes totales de la organización y los factores que influyen en la formación de estos costes energéticos.
6. **DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN DE REFERENCIA.** Una vez realizado el análisis de la situación actual, hay que definir la situación de referencia que se tomará con el fin de evaluar los resultados de las propuestas de mejora. Esta situación de referencia debe tener en cuenta todos los parámetros que pueden afectar al consumo y el coste energético, como pueden ser aumentos o variaciones de producción, climatología, precios energéticos, cambios de programas de trabajo o de productos. Hay que consensuar esta situación con los responsables energéticos del centro, ya que será la base de trabajo desde este momento.
7. **IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.** A partir de la evaluación energética, de las emisiones y de la evaluación económica, el auditor energético estará en disposición de definir las propuestas de mejora a analizar. Las propuestas de mejora se definen en función de los objetivos de la auditoría, así como de la tipología de auditoría que se esté realizando.
8. **ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.** Una vez definidas las propuestas de mejora, la siguiente fase es la del análisis de su viabilidad técnica y económica. El análisis energético consiste en valorar los consumos energéticos del centro una vez implantada la propuesta

de mejora. Se basa en hacer una simulación energética, de manera que se evalúan las compras o los consumos de energía una vez instalados los nuevos equipos o sistemas y dan como resultado la energía de proceso o servicios definida en la situación de referencia. En función de la tipología de auditoría, la simulación se hará con más o menos detalle. Si se trata de una auditoría global, se puede trabajar con rendimientos medios mientras que si se está haciendo una auditoría de detalle, la simulación tendrá cuenta rendimientos instantáneos, estacionales y cargas parciales. El análisis económico evalúa los costes energéticos una vez implantada la propuesta de mejora. Se debe considerar básicamente costes energéticos, operacionales y de mantenimiento. Hay que considerar también los efectos de los costes medioambientales que, a veces se derivan de la implantación de la propuesta de mejora, como pueden ser las emisiones de gases. En el caso de auditorías parciales o de seguimiento, el análisis económico incluirá siempre los costes totales de energía de un año (electricidad, combustibles, biomasa, otras energías) que servirán como valores de referencia al auditor y a los responsables energéticos para situar la parte auditada en el marco energético global de la empresa.

9. **REALIZACIÓN DEL INFORME FINAL DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.** El informe final de la auditoría debe permitir al responsable de la empresa hacerse una idea bastante exacta de:
  - Los consumos energéticos actuales del centro.
  - Los costes energéticos actuales del centro.
  - La situación energética actual del centro: eficiencia energética y rendimiento de equipos.
  - Principales actuaciones que permitan mejorar la situación energética.
  - Puntos en los que es mejor invertir en función del resultado deseado: mejora de eficiencia energética, mejora de emisiones, mejora de costes energéticos.
  - Ahorros económicos que se pueden conseguir.
  - Inversiones a realizar con el fin de conseguir los ahorros económicos.

Una vez finalizada la auditoría energética la presentación del informe a la empresa se realizará a ser posible personalmente, de forma que así es posible explicar las propuestas de mejora y subrayar sus ventajas ante quienes finalmente toman las decisiones y son responsables de la empresa. El objetivo general es lógicamente convencer a la empresa de que realice la inversión que se le propone e instale los sistemas más eficientes. En este punto se debería de instaurar una auditoría de seguimiento durante varios años tras la implantación de los nuevos sistemas, porque es posible que los problemas de algunas



tecnologías no se manifiesten hasta pasado un tiempo. La mejor forma de hacerlo es mediante un seguimiento sistemático:

- Intentar conseguir un contrato de mantenimiento y mantener un contacto directo con la planta durante los primeros años de funcionamiento del sistema.
- Visitar la empresa a intervalos periódicos para averiguar si el funcionamiento es correcto.
- Conseguir mediciones sobre el rendimiento del sistema instalado para comparar estos datos del comportamiento real con las predicciones realizadas.
- Llevar un registro de los problemas que hayan surgido, dando la opinión de cómo se podrían haber evitado.

## 2.2 Material y herramientas para la auditoría energética.

Las empresas o personas que se propongan efectuar una auditoría energética deben disponer de diferentes equipos y herramientas de medición y verificación. Algunos de estos equipos de medida son fundamentales y otros simplemente son secundarios pero útiles para la realización de una auditoría energética fiable. Un listado completo de los equipos de medida y verificación necesarios sería el siguiente:

1. Analizador de redes eléctricas.
2. Analizador de gases de combustión.
3. Luxómetro.
4. Caudalímetro ultrasónico portátil.
5. Cámara termográfica.
6. Cámara de Fotos.
7. Equipos portátiles de medida (data logger).
8. Anemómetro - Termohigrómetro.
9. Medidas de infiltraciones.
10. Ordenador portátil.
11. Equipo completo de herramientas.
12. Material de seguridad.

De todos ellos los de más relevancia para la auditoría a realizar en la ETAP son los relacionados con las mediciones eléctricas y de luminosidad. Los análisis y estudios que nos permiten realizar los analizadores de redes son fundamentales en la realización de las auditorías energéticas, de cara a poder tomar medidas concretas y adecuadas que permitan obtener ahorros sobre el consumo eléctrico. Con el analizador de redes podremos descubrir las averías, los fallos y defectos más habituales de la red eléctrica:

- La calidad de energía eléctrica consumida: transitorios, armónicos, interarmónicos, fluctuaciones de tensión, interrupciones, y desequilibrios.
- Perfil de consumo eléctrico de las distintas partes de una instalación.

En todo edificio en el que vayamos a realizar una auditoría energética es muy importante tener en cuenta el

estudio lumínico y su consumo, ya que se estima en un 30% de la energía consumida en locales y oficinas. Para realizar un correcto estudio lumínico debemos contar con un luxómetro.

La medición de caudales de tuberías y conductos es de gran interés para la realización de análisis energéticos. Un caudalímetro es un equipo cuyo objetivo es medir el caudal de fluido circulante por un conducto o tubería, que dentro de la ETAP será aire, agua, reactivos y lodos. En una auditoría energética se utilizará con mayor frecuencia el caudalímetro ultrasónico portátil, ya que permite medir caudal sin entrar en contacto con el fluido y en cualquier punto de la instalación.

Probablemente una de las herramientas más atractiva de todas las que integran el conjunto de equipos de medida necesario para la realización de una auditoría energética sea la cámara termográfica, pero no por ello debe ser considerada una herramienta secundaria, más bien todo lo contrario, ya que además de ser atractiva de cara a la elaboración del informe y presentación al cliente, es un equipo de grandísima utilidad en la detección de múltiples fallos y errores en las instalaciones que llevarán a producir pérdidas de energía en las mismas. Podríamos definir una cámara termográfica, como el equipo de medición que hace visible la radiación del calor de objetos o cuerpos que son fotografiados, dicha radiación de calor (luz infrarroja) no es visible por el ojo humano. Como ejemplo de las aplicaciones de una cámara termográfica en una auditoría energética tendremos:

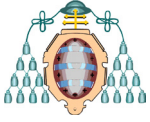
- Verificar el estado de aislamientos.
- Fugas de calor.
- Infiltraciones de aire.
- Supervisar sistemas de calefacción y/o refrigeración.
- Supervisar el estado de instalaciones eléctricas.

Es deseable que la cámara termográfica que se emplee en la realización de auditorías energéticas disponga de un software de análisis de los datos obtenidos en las termografías, para proceder a una valoración de los mismos.

Resaltar que no todas las mediciones tienen que realizarse en todos los casos, cada empresa es diferente y sus necesidades también lo son. Las mediciones han de ejecutarse sobre las partidas en las que hay indicios que algo no está correcto, o para verificar un dato concreto. Estas mediciones se han de realizar por personal especializado, que aporte los datos de referencia que permitan evaluar la eficiencia de los datos de partida [8].

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Toda esta metodología de trabajo para la realización de auditorías energéticas se ha desarrollado como aplicación práctica en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP). La auditoría energética realizada en este centro de trabajo ha sido del tipo global, donde se ha hecho un



análisis energético de la totalidad del centro, prestando especial atención a los usos y orígenes de la energía. El objetivo principal es analizar la energía y su relación con el proceso productivo. En concreto se definió que el alcance de la auditoría energética a realizar se centraría en el estudio energético de los procesos implicados en el funcionamiento de la ETAP que mayor consumo energético requieren, así como un análisis energético elemental de los edificios integrantes de la misma.

### 3.1 *Solicitud de datos.*

En un primer paso para realizar la auditoría energética se solicitó al Jefe de Planta responsable de la ETAP los datos más relevantes que permitieran conocer y analizar la situación energética de la estación de tratamiento, previamente a la visita de las instalaciones. El análisis de esta documentación permitió crear una idea previa de las características del centro y de sus instalaciones y planificar en consecuencia el trabajo de campo, así como concretar los datos a confirmar o ampliar durante la visita. Se analizó la documentación del proceso productivo, los equipos, así como la experiencia propia en el funcionamiento del centro.

#### 3.1.1 *Datos generales de la ETAP.*

La Estación de Tratamiento de Agua Potable auditada es de titularidad pública y su gestión recae en un ente público creado para la prestación en la CCAA del servicio de abastecimiento de agua y saneamiento, delegando actualmente la prestación del servicio de la misma mediante contrato de modalidad de gestión interesada a una empresa privada.

#### 3.1.2 *Esquema del proceso productivo y del proceso energético de la ETAP.*

El proceso productivo se centra en el tratamiento del agua natural procedente de un embalse, transformándola en agua potable generando de forma secundaria un cierto volumen de lodos o fangos, debido a ello, los lodos sufren distintos procesos de acondicionamiento y tratamiento antes de ser evacuados de la planta en forma de residuo sólido de lodo deshidratado hacia vertedero controlado.

La Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) forma parte del dispositivo hidráulico del citado ente público junto a las demás infraestructuras. Se encuentra situada aguas abajo, a pie de presa de un embalse, recibiendo aporte de agua para su tratamiento posterior en la misma. El proceso de tratamiento consta de varias fases, la potabilización se inicia con la entrada de agua en al ETAP, una válvula reguladora es la encargada de ajustar el nivel de agua en la obra de toma, donde mediante una batería de compuertas se controla el caudal del flujo entrante de agua bruta en la planta, parámetro sobre el que se basarán muchos de los procesos que se desarrollan en la estación depuradora. A continuación el agua es sometida a una

preoxidación en la que gracias a la acción de un agente químico oxidante, en este caso el cloro, se consigue una oxidación inicial de la materia orgánica y de elementos tales como el hierro, manganeso y amonio, así como una desinfección inicial. Durante este proceso se añaden productos coagulantes y floculantes que motivan gracias a la agitación lenta provocada mecánicamente la formación de flóculos o agrupación de materias en suspensión de macro-tamaño responsables de la eliminación de la materia coloidal. El agua así tratada comienza a circular a baja velocidad hacia los decantadores donde por acción de la gravedad se depositan en el fondo los flóculos creados en la etapa anterior, creando un manto de sedimentos que regularmente son retirados por el proceso de purgas de los decantadores, o bombeados hacia la línea de tratamiento de lodos, en concreto hacia el espesador nº 2, mediante el proceso de bombeo de vaciado de los decantadores. El agua ya decantada y recogida en superficie es conducida hacia los filtros atravesando para ello un lecho de arena donde quedan retenidas las partículas que no han sido eliminadas en el proceso de decantación. La última fase consiste en la eliminación de microorganismos que hayan podido sobrevivir a los procesos anteriores. Por este motivo el agua filtrada se somete a una desinfección final mediante cloro que además constituye la garantía sanitaria dentro de la red de conducciones.

Asimismo, es importante señalar que durante todo el proceso de tratamiento del agua se genera un importante volumen de lodos que es necesario acondicionar y tratar de forma adecuada.

Podemos distinguir por tanto dentro del proceso general de tratamiento en la ETAP (figura 6) dos procesos bien diferenciados:

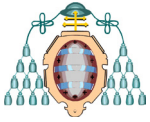
- el proceso principal de tratamiento del agua bruta que garantiza las correcciones físico-químicas y bacteriológicas necesarias para hacer potable el agua de entrada a la planta (LÍNEA DE AGUA), y
- el proceso secundario de tratamiento adicional de los lodos generados en el proceso anterior (LÍNEA DE LODOS).

Ambas líneas se encuentran interconectadas para el correcto funcionamiento de la planta, consiguiéndose el objetivo de ser una estación de tratamiento de vertido nulo.

Como elementos de LA LÍNEA DE AGUA podemos citar:

- Tubería de alimentación de obra de toma.
- Válvula general de entrada de agua bruta a planta (motorizada).
- Válvula en derivación o by-pass general (motorizada).
- Chimenea de equilibrio.
- Válvula reguladora de nivel.
- Módulos de regulación caudal agua bruta.
- Mezclador rápido.
- Canal de reparto agua bruta a floculadores.
- 6 floculadores.





- 6 decantadores.
- Canal de reparto de agua decantada a filtros de arena.
- 12 filtros de arena o unidades de filtración.
- Galería de agua filtrada.
- Depósito de agua tratada.
- Conducción de la red del sistema de abastecimiento.

Hay que notar que la circulación del agua bruta a través de los equipos de la LÍNEA DE AGUA desde su entrada en la ETAP hasta su salida por la conducción de la red del sistema de abastecimiento se realiza totalmente por gravedad, sin necesidad de bombeo alguno. Sin embargo, como veremos para alguno de los procesos implicados sí es necesaria la agitación mecánica.

En cuanto a la LÍNEA DE LODOS (figura 7) de la ETAP podemos decir que es la que se ocupa de las materias o

lodos procedentes de las purgas, vaciado de los decantadores y del agua de lavado de los filtros de arena, y que mediante su tratamiento y acondicionamiento a través de la misma mediante bombeos o trasvases junto con las dosificaciones de reactivos apropiadas, trata de obtener un residuo o una torta con un contenido de humedad que permita su transporte y eliminación.

Incluiría los siguientes elementos:

- Depósito de recuperación.
- Depósito de purgas de lodos.
- Cubas tampón y de homogeneización.
- Espesadores 1 y 2.
- Filtros prensa.
- Dispensadores de reactivos.

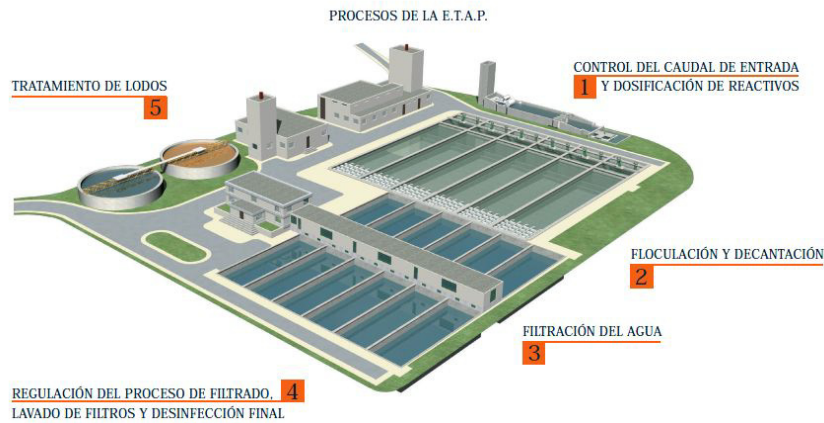


Figura 6. Procesos generales de tratamiento en la ETAP.

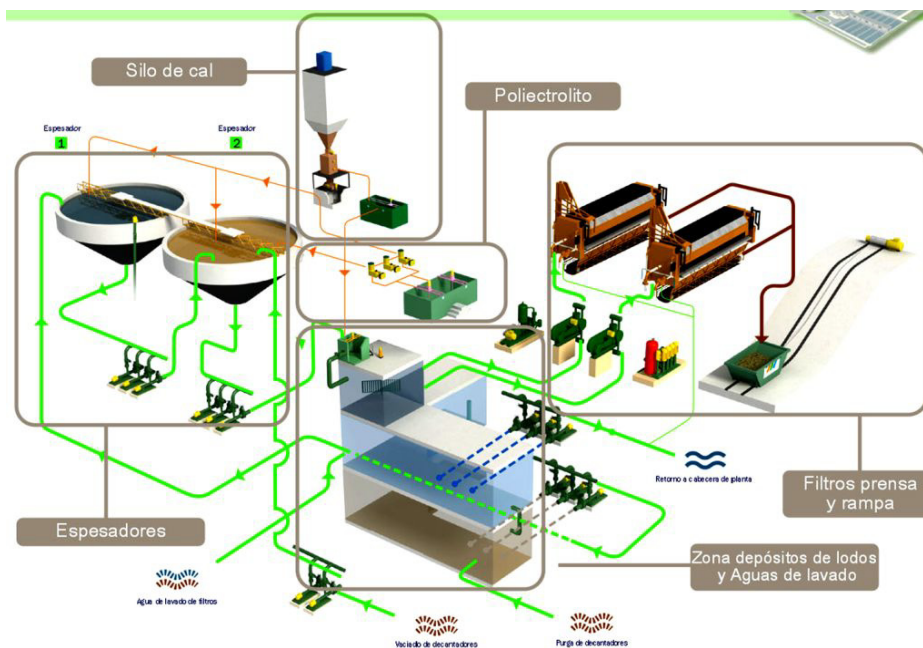
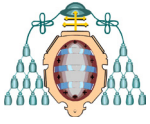


Figura 7. Esquema de funcionamiento Línea de Lodos de la ETAP.



En cuanto a la descripción del proceso energético (figura 8), hay que indicar que la energía de entrada que interviene en la totalidad de cada una de las etapas del proceso productivo de la ETAP es la energía eléctrica, aprovechándose la misma para crear energía mecánica en su mayoría a través de accionamientos eléctricos basados en motores eléctricos trifásicos de inducción, utilizándose también para producir energía térmica a través de resistencias eléctricas para los evaporadores de cloro, calefacción de los edificios, iluminación exterior e interior de los edificios, etc. La falta de este suministro eléctrico a

través de la red eléctrica exterior se cubre con la entrada automatizada en servicio de un generador de energía eléctrica en la propia planta accionado por un motor diesel. Para analizar el proceso energético de la ETAP se ha realizado una clasificación de los distintos subprocesos implicados en el proceso general de tratamiento de la misma, y que debido a sus sistemas o equipos asociados con algunos de ellos incidiendo en el consumo energético global de la planta, y que pueden resumirse de forma sintetizada en:

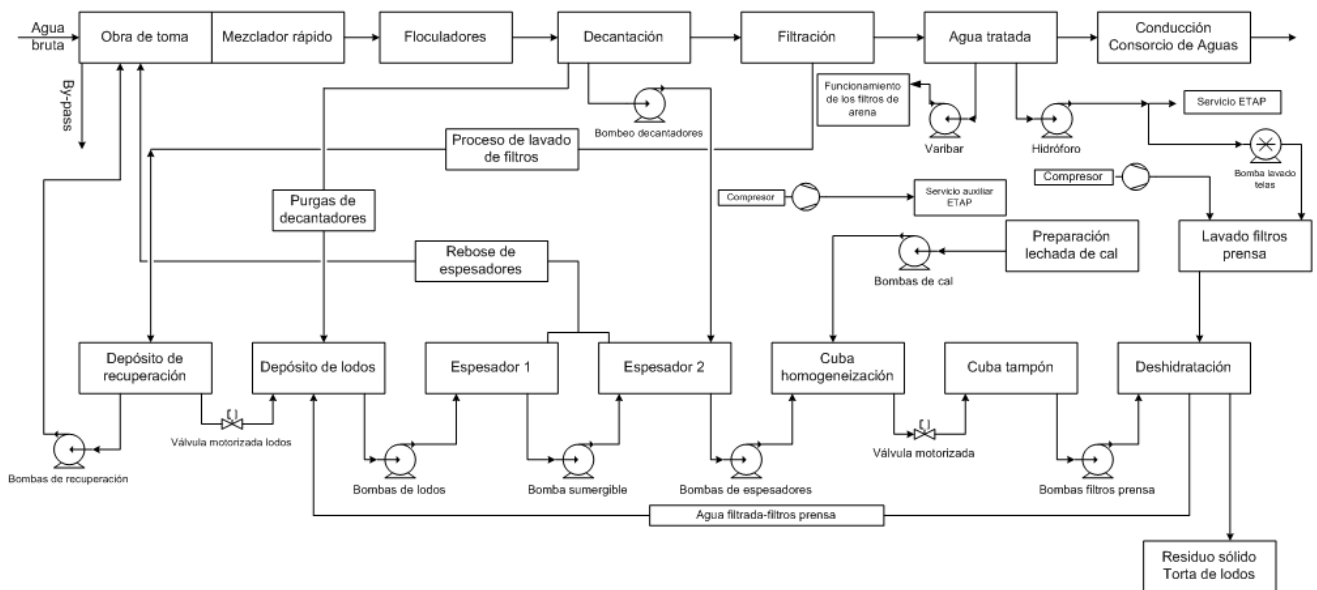


Figura 8. Esquema del proceso productivo y energético de la ETAP.

1. Procesos de la Línea de Agua.
2. Procesos de la Línea de Lodos.
3. Procesos de otros sistemas o servicios auxiliares.

Procesos de la Línea de Agua.

- I. Entrada de agua bruta y regulación de caudal.
- II. Proceso de mezcla de reactivos.
- III. Proceso de coalescencia, coagulación y floculación.
- IV. Proceso de decantación.
- V. Proceso de filtración.
- VI. Proceso de limpieza de los filtros de arena.
- VII. Proceso de dosificación de reactivos al agua bruta y al agua tratada.

Procesos de la Línea de Lodos.

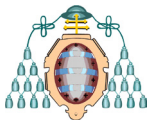
- I. Proceso de bombeo del agua de recuperación del lavado de filtros de arena.
- II. Proceso de eliminación de lodos predecantados del depósito de recuperación al depósito de purgas de lodos.
- III. Proceso de purgas de lodos de los decantadores.
- IV. Proceso de bombeo de lodos del depósito de purgas de lodos al espesador nº 1.

- V. Proceso de trasvase de lodos del espesador nº 1 al espesador nº 2.
- VI. Proceso de bombeo de lodos procedentes de vaciado de decantador.
- VII. Proceso de acondicionamiento de los lodos para deshidratación.
- VIII. Proceso de deshidratación de los lodos.
- IX. Proceso de evacuación de los lodos como residuo sólido.
- X. Proceso de limpieza de los filtros prensa.

Procesos de otros sistemas o servicios auxiliares.

También se emplean en la ETAP otra serie de tecnologías energéticas para la generación (solamente el generador eléctrico) y transformación de la energía eléctrica en la forma y cantidad requerida por los procesos y los servicios en la estación de tratamiento, y que para su análisis distinguiremos en:

- I. Sistema eléctrico en media-baja tensión.
- II. Red de aire comprimido.
- III. Grupo de presión hidróforo de agua tratada.
- IV. Grupo de presión "varibar" de agua tratada.
- V. Grupo electrógeno.



- VI. Línea de aguas para laboratorio.
- VII. Sistema de neutralización para las fugas de cloro.
- VIII. Sistemas de instrumentación y control.

Además para el análisis energético de los edificios que componen la estación de tratamiento podemos distinguir:

1. Edificio de Administración y Control.
2. Edificio de Lodos.
3. Edificio de reactivos.
4. Caseta de purgas de decantadores.
5. Caseta de bombas de espesadores.
6. Viales e infraestructuras exteriores.

En ellos se analizará la eficiencia energética de sus equipos de iluminación, sus equipos de climatización o el requerimiento de los mismos, y el sistema de ventilación instalada en alguno de ellos.

### 3.1.3 Características y cualidades de los materiales y productos finales.

Durante el proceso de tratamiento del agua bruta procedente del embalse se le añaden una serie de reactivos necesitándose por tanto toda una serie de sistemas de preparación y dosificación adecuada de los mismos. Según las necesidades de tratamiento del agua bruta en base a su calidad distinguimos estos reactivos y sus sistemas asociados:

- Cloro – Sistema de precloración y postcloración.
- Coagulante y floculante – Sistema de dosificación de coagulante y/o floculante.
- Permanganato – Sistema de preparación y dosificación del permanganato.
- Ácido clorhídrico – Sistema de preparación y dosificación del HCl.
- Clorito sódico – Sistema de preparación y dosificación del clorito sódico.
- Carbón activo – Sistema de preparación y dosificación del carbón activo.

Todos estos reactivos se añaden al agua bruta al inicio de la instalación en la zona de la obra de toma, en concreto en la cubeta del mezclador rápido, paso previo a su circulación posterior por las instalaciones de floculación, decantación y filtrado final. Para la desinfección final se utiliza parte del sistema de cloración citado con la adición de algún componente más (postcloración) para añadir la cantidad de cloro final necesaria.

En cuanto al tratamiento secundario de los lodos generados tanto por la decantación como por la limpieza del sistema de filtración también es necesario para su acondicionamiento de la adición a los mismos de reactivos que también llevan asociados sus sistemas de preparación y dosificación y que son:

- Polielectrolito – Sistema de preparación y dosificación del polielectrolito.
- Cal – Sistema de preparación y dosificación de la cal.

### 3.1.4 Producción anual y/o ocupación de la ETAP.

Como se recoge en la tabla 1, durante el año 2011 el volumen total de agua tratada en la instalación fue de 57.732.489 m<sup>3</sup> para un volumen captado de agua bruta de 57.781.989 m<sup>3</sup>, lo que significa que se han perdido por reboses y en el propio tratamiento un volumen anual de 49.500 m<sup>3</sup>. El importe total de los costes de explotación fue de 1.109.389,16 €, incluyendo el beneficio ligado a la calidad del agua tratada.

Tabla 1. Producción anual de agua tratada año 2011.

2011	VOLUMENES (m <sup>3</sup> )			
	CAPTADOS (AGUA BRUTA)	AGUA TRATADA ENTREGADA RED	ALIVIOS ETAP	(*) OTRAS PERDIDAS ETAP
TOTALES	57.781.989	57.732.489**	3.400	46.100

(\*) Escorridos de línea de fangos no reciclados a cabecera, errores de equipos medida, fugas, etc.  
(Se calcula como (Bruta – Alivios)-Agua Tratada  
\*\*Según el caudal de Agua Tratada según caudalímetro de AT de la ETAP

El coste por metro cúbico del agua tratada fue de 0,019751 €/m<sup>3</sup>, un 2,46 % superior al del año anterior, que se reparte como sigue:

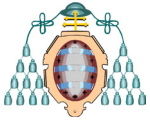
- Personal y mantenimiento: 0,010797 €/m<sup>3</sup>
- Beneficio: 0,000912 €/m<sup>3</sup>
- Energía eléctrica: 0,002390 €/m<sup>3</sup>
- Reactivos: 0,004536 €/m<sup>3</sup>
- Retirada de lodos: 0,001116 €/m<sup>3</sup>

Tabla 2. Producción agua tratada, consumo de reactivos, energía y producción de fango deshidratado durante el año 2011.

	TOTAL ANUAL	ESPECIFICO
VOLUMEN DE AGUA TRATADA (m <sup>3</sup> )	57.732.489	
CONSUMO DE REACTIVOS	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
Cloro	89.720	0,001554
Policlorosulfato básico de aluminio	954.880	0,016540
Hidróxido de Calcio	72.520	0,001256
Polielectrolito (aniónico)	3.440	0,000060
Acido clorhídrico	990	0,000017
ENERGIA ELECTRICA	kWh	kWh/m <sup>3</sup>
CONSUMO	1.143.146	0,019801
RETIRADA RESIDUOS	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
Fango deshidratado	1.627.480	0,028190

Las 1.627,48 t de lodos generados en el proceso de depuración en la E.T.A.P. se trasladaron en su totalidad al vertedero de COGERSA.

En la tabla 2 se adjunta la producción para el año 2011 de agua tratada en m<sup>3</sup>, los consumos de los reactivos utilizados, residuos de lodos retirados y el consumo energético de la planta anual así como el índice o ratio energético específico por m<sup>3</sup> de agua tratada.



En el gráfico de la figura 9 se muestra la evolución mensual de los volúmenes tratados de agua bruta, y los producidos de agua tratada para el año 2011.

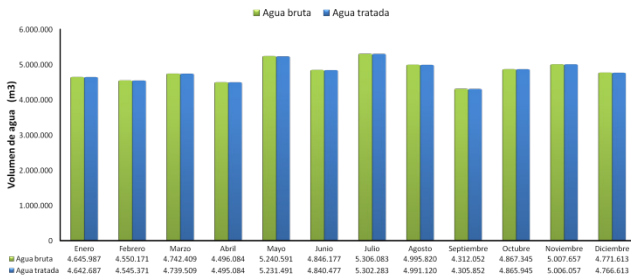


Figura 9. Evolución mensual de volúmenes de agua bruta y tratada en la ETAP en la situación actual AÑO 2011.

Si analizamos detenidamente la información contenida en él observamos que las pérdidas de agua respecto al agua bruta de entrada a la planta son muy pequeñas y que por tanto el volumen producido de agua tratada y su caudal son prácticamente del mismo valor que para el agua bruta, con un caudal perdido promedio de 5,65 m<sup>3</sup>/h.

También se ha analizado la evolución mensual de los caudales de tratamiento en la ETAP que se presentan en el gráfico de la figura 10, del que también se extrae como conclusión que ambos caudales, agua bruta y tratada son prácticamente iguales, resultando un caudal medio de tratamiento de 1.825 l/s. También se observa una variación importante en el caudal de tratamiento con un aumento entre los meses de Abril a finales de Julio al que le sigue un descenso del caudal hasta su recuperación a partir del mes de Octubre. Este efecto es debido a la mayor demanda de agua durante los meses de verano y el descenso a partir del mes de Agosto del nivel de agua en el embalse, de forma que como se comprueba en este caso y ya se preveía en el futuro se deba de realizar una regulación de caudal en esta captación aportando el resto de agua demandada por otras vías de suministro de las que dispone el sistema de abastecimiento de agua. Por lo tanto se aprecian estacionalidades que influyen en el consumo energético de la ETAP puesto que el caudal de tratamiento es el principal parámetro de operación de la misma.

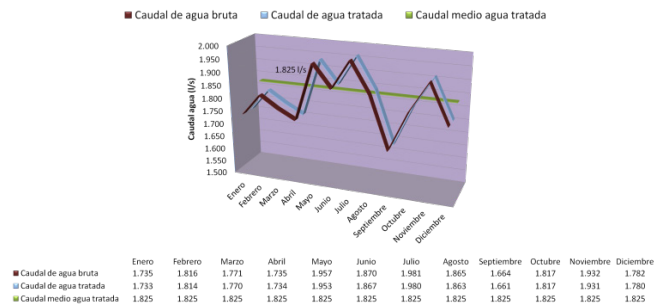


Figura 10. Evolución mensual de los caudales de tratamiento de la ETAP durante el año 2011.

En cuanto a la ocupación de la ETAP podemos decir que, es un centro de trabajo que, por el carácter esencial de servicio público que presta al formar parte del sistema de abastecimiento de agua potable del ente público encargado de su gestión, funciona por tanto de manera continua e ininterrumpida durante todo el año, paralizándose el servicio solamente por paradas programadas para la ejecución de tareas de mantenimiento en la red de conducciones del sistema de abastecimiento, que además son de duración muy corta (1 o 2 días) y con frecuencia anual muy baja (2/año).

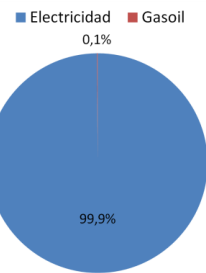


Figura 11. Distribución de consumos de energía situación actual ETAP 2011.

### 3.1.5 Facturas eléctricas y de combustible.

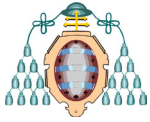
El análisis de las compras de energía, tanto eléctrica como de combustibles, es un punto imprescindible en la hora de realizar una auditoría energética.

La fuente de suministro energético que se puede considerar en la ETAP es la electricidad como se muestra en el gráfico de la figura 11, teniendo como suministro auxiliar a la misma en el caso de corte del suministro, a la electricidad aportada mediante generador eléctrico movido por un motor diesel, siendo su consumo anual totalmente despreciable y su funcionamiento inferior a las 100 h/año. Por tanto podemos considerar como única fuente de suministro energético la electricidad que se compra a la compañía comercializadora, mediante aplicación de tarifa de acceso 3.1A. A esta tarifa le es de aplicación la facturación por energía reactiva, sobre todos los periodos tarifarios excepto en el periodo 3. Se facturará siempre que la demanda de energía reactiva exceda el 33% del consumo de activa (es decir  $\cos\psi$  inferior a 0,95) y únicamente afectará a dichos excesos.

Con el objetivo de la optimización de la facturación eléctrica, se solicitaron y fueron remitidas las facturas eléctricas del año 2011 para el análisis de su evolución mensual en dicho periodo de tiempo. También se aportaron las facturas eléctricas del año 2010 pero se corroboró que la evolución mensual era parecida sin grandes desajustes que pudiesen ser debidos a factores ajenos a las condiciones habituales de funcionamiento.

### 3.1.6 Programa de trabajo para la ETAP.





La ETAP se encuentra operativa las 24 horas del día durante los 365 días al año, con presencia del personal operario de control de la planta en régimen de trabajo a tres turnos. Dentro del programa de funcionamiento de la planta se distinguen, por un lado el desarrollo en modo continuo de los procesos relacionados con la LÍNEA DE AGUA, y por otro lado, un funcionamiento más discontinuo de aquellos procesos relacionados con el tratamiento en la LÍNEA DE LODOS.

Algunos de estos procesos como se detallará más adelante necesitan aporte de energía para su desarrollo, y dentro de ellos algunos tienen funcionamiento automatizado independiente de los periodos horarios de facturación y otros sí tienen en cuenta este factor y se desarrollan normalmente durante el periodo tarifario P3 de facturación donde la energía es más económica.

Muchos de los procesos de la ETAP se desarrollan bajo el criterio del operario de control, a veces sin tener en cuenta el condicionante del coste de la energía.

### 3.1.7 Características técnicas de los principales equipos y puntos de consumo.

Como único equipo productor de energía para la ETAP se tiene el generador eléctrico de emergencia, pero como su funcionamiento anual es muy bajo no lo tendremos en cuenta.

Durante esta fase de la auditoría se realizó una base de datos para tener un inventario claro de todos los accionamientos eléctricos de la planta, normalmente basados en motores trifásicos de inducción, detallando los parámetros importantes que afectan al comportamiento energético del equipo y anotando todas las posibles variables que afecten a este apartado. Se elaboró una breve relación de las características principales de cada equipo teniendo en cuenta en qué línea de tratamiento se encuentra y para qué proceso opera, incidiendo solamente en los equipos energéticamente más interesantes para la auditoría.

En la tabla 3 se resumen las principales características necesarias para el análisis energético de los equipos que forman parte de la Línea de Agua y tienen un consumo energético relevante. También existen otros equipos como los de preparación y dosificación del HCl o permanganato, preparación y dosificación de clorito sódico, preparación y dosificación del carbón activo que se encuentran en perfecto estado de utilización pero no se utilizan actualmente por la buena calidad del agua procedente del embalse, y por tanto tienen incidencia prácticamente nula en el consumo energético global.

En la tabla 4 se resumen las principales características necesarias para el análisis energético de los equipos que se han descrito para la Línea de Lodos. Solamente se han descrito los equipos que tienen un consumo anual relevante, aunque también existen otros equipos que no funcionan normalmente o lo hacen con incidencia anual muy baja como el caso de la soplante de fluidización para el silo de cal, el equipo que acciona el filtro de mangas, y por tanto tienen incidencia prácticamente nula en el consumo energético global.

En cuanto a las características técnicas de los equipos de los sistemas auxiliares de consumo energético más importante se recogen en la tabla 5. No se ha tenido en cuenta el transformador de potencia trifásico cuya renovación era muy reciente, ni el generador eléctrico de emergencia. Además para el consumo energético de cada uno de los edificios se debe considerar que para la iluminación de los mismos el sistema empleado es mediante luminarias estancas de lámparas de descarga fluorescente 2 x 36 W con arranque por balasto electromagnético más cebador. El sistema de iluminación empleado en el exterior podemos dividirlo por un lado en las zonas de viales con alumbrado mediante farolas con sistema de lámparas de descarga de vapor de mercurio a alta presión de 250 W con arranque mediante balasto electromagnético y condensador para la corrección del

Tabla 3. Características técnicas de los equipos de la Línea de Agua.

Equipo	Unidades	Descripción del equipo	Potencia útil	Tensión	Intensidad nominal	Factor de potencia	$\eta$	$\eta$ equipo asociado	Velocidad nominal	t	Energía final eléctrica	Energía útil
			kW	V	A		%	%	rpm	h	kWh	kWh
LA1	1	Agitador rápido	11	400/660	22,5	0,85	87	87	1500	8760	116072	83833
LA2	6	Floculadores	1,1	230/400	2,6	0,82	79	87	1450	52560	77636	50300
LA3	3	Bomba de agua de lavado	75	400/660	142	0,87	91	66	980	460	39372	22770
LA4	3	Ventilador aire de lavado	75	400/660	142	0,87	90	100	980	490	41940	36750
LA5	2	Evaporadores	12	400	18	1		100		1200	14965	14400
LA6	2	Bomba de trasvase floculante	0,75	230/400	1,8	0,8	78	90	1450	800	798	540
LA7	2	Bomba de membrana	0,75	230/400	1,8	0,8	78	90	1450	8760	8740	5913

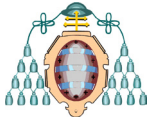


Tabla 4. Características técnicas de los equipos de la Línea de Lodos.

Equipo	Unidades	Descripción del equipo	Potencia útil	Tensión	Intensidad nominal	Factor de potencia	$\eta$	$\eta$ equipo asociado	Velocidad nominal	t	Energía final eléctrica	Energía útil
			kW	V	A		%	%	rpm	h	kWh	kWh
LL1	2	Bombas de recuperación	22	400/660	43	0,89	86	55	2900	5840	116132	70664
LL2	1	Válvula motorizada lodos	0,25	230/400	0,9	0,7	72	89	1500	30	13	7
LL3	24	Purgas decantadores	0,2	230	0,04	1	100	100	0	146	32	29
LL4	3	Bomba de lodos	22	400/660	43	0,89	85	54	1450	3280	86967	38966
LL5	1	Bomba polielectrolito 1	0,75	230/400	1,8	0,8	78	88	1450	3280	3272	2165
LL6	1	Bomba sumergible	3,5	230/400	7,9	0,84	82	54	1500	365	1678	690
LL7	1	Bomba de polielectrolito 2	0,75	230/400	1,8	0,8	78	88	1450	365	364	241
LL8	2	Bomba vaciado decantador	11	400/660	22,5	0,86	86	55	1450	240	3217	1452
LL9	2	Bomba polielectrolito 3	0,75	230/400	1,8	0,8	78	88	1450	480	479	317
LL10	3	Bomba cuba homogeneización	2,2	230/400	5	0,83	81	52	1450	2700	7763	3089
LL11	1	Agitador homogeneización	1,1	230/400	2,6	0,78	78	89	1450	640	899	627
LL12	1	Extractor alveolar	0,55	230/400	1,6	0,74	75	88	1450	200	164	97
LL13	1	Dosificador volumétrico cal	0,75	230/400	2	0,8	78	88	1450	550	610	363
LL14	2	Bomba de cal	1,1	230/400	2,6	0,78	78	52	1450	1000	1405	572
LL15	1	Agitador cuba cal	1,5	230/400	3,5	0,8	80	100	1500	1100	2134	1650
LL16	1	Agitador cuba tampón	1,5	230/400	3,5	0,8	80	87	1500	8760	16993	11432
LL17	1	Válvula motorizada homogeneización	0,25	230/400	0,8	0,67	70	88	1500	190	71	42
LL18	1	Espesador 1	1,1	230/400	2,6	0,78	78	86	1500	365	513	345
LL19	1	Espesador 2	1,1	230/400	2,6	0,78	78	86	1500	365	513	345
LL20	2	Bomba alimentación filtro prensa	15	400/660	30	0,87	86	50	1500	5110	92402	38325
LL21	2	Bomba hidráulica filtro prensa	3	230/400	6,5	0,84	82	90	1500	35	132	95
LL22	2	Embrague variador filtro prensa	1,1	230/400	2,6	0,78	78	75	1500	520	731	429
LL23	2	Carro lavado	0,25	230/400	0,9	0,7	72	82	1500	146	64	30
LL24	3	Cintas transportadoras	2,2	230/400	5	0,83	81	90	1500	550	1581	1089
LL25	1	Bomba lavado telas	37	400/660	72	0,9	91	54	1500	150	6734	2997
LL26	2	Agitador polielectrolito	1,1	230/400	2,6	0,78	78	87	1500	90	126	86

Tabla 5. Características técnicas de los equipos auxiliares de la ETAP.

Equipo	Unidades	Descripción del equipo	Potencia útil	Tensión	Intensidad nominal	Factor de potencia	$\eta$	$\eta$ equipo asociado	Velocidad nominal	t	Energía final eléctrica	Energía útil
			kW	V	A		%	%	rpm	h	kWh	kWh
AUX1	5	Grupo de presión hidróforo	11	400/660	22,5	0,85	87	58	2900	17520	197322	111778
AUX2	2	Compresores sala máquinas	4	230/400	9	0,87	86	90	2900	1460	5544	5256
AUX3	2	Grupo presión varibar	4	230/400	9	0,87	86	56	2900	17520	66530	39245
AUX4	4	Bomba agua laboratorio	0,75	230	6	0,95	60	81	2800	17520	22969	13140
AUX5	2	Compresor lodos	3	230/400	6,4	0,84	83	90	2900	20	74	60
AUX6	1	Ventilador neutralización	11	400/660	22,5	0,85	87	90	1500	10	133	99
AUX7	2	Agitador neutralización	1,5	230/400	3,5	0,83	81	0,87	1500	400	805	5
AUX8	3	Bomba neutralización	0,75	230/400	2	0,76	80	66	2800	20	21	10

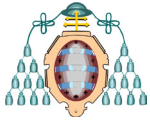
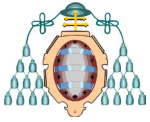


Tabla 6. Características técnicas de los equipos para iluminación de la ETAP

Ubicación	Tipo de lámpara	Tipo encendido	Lámparas/luminaria	Potencia unitaria	Potencia reactancia	Número lámparas	Potencia total	t	Energía final eléctrica
				kW	kW		kW		
Viales exteriores	Vapor de mercurio alta presión	reactancia	1	250	26	25	6,90	3800	26220
Exterior filtros	Lámpara halógena	directo	1	500	0	12	6,00	460	2760
Exterior decantadores	Lámpara halógena	directo	1	500	0	14	7,00	1086	7600
Exteriores obra toma	Lámpara halógena	directo	1	500	0	2	1,00	1086	1086
Sala control	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	17520	3189
Servicios	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	8	0,36	8760	3189
Comedor	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	20	4
Sala de pupitres	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	30	1,37	1825	2491
Agua filtrada	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	20	0,91	400	364
Sala máquinas	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	28	1,27	521	664
Oficinas	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	24	1,09	1825	1993
Sala cloración	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	12	0,55	1825	996
Sala neutralización	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	100	18
Almacén de cloro	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	8	0,36	520	189
Taller mecánico	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	10	0,46	3650	1661
Almacén	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	18	0,82	1000	819
Almacén repuestos	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	100	18
Taller eléctrico	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	1460	266
Pasillos-reactivos	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	28	1,27	1043	1329
Sala floculante	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	100	18
Almacén pinturas	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	2	0,09	100	9
Taller electrónico	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	100	18
Entrada	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	4	0,18	3650	664
Planta I	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	34	1,55	3650	5647
Planta II	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	34	1,55	2190	3388
Planta III	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	10	0,46	100	46
Planta IV	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	10	0,46	100	46
Purgas	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	32	1,46	100	146
Caseta bombas espesadores	Fluorescente	reactancia+cebador	2	36	9,5	8	0,36	100	36

Tabla 7. Características técnicas de los equipos de ventilación para la ETAP.

Equipo	Unidades	Descripción del equipo	Potencia útil	Tensión	Intensidad nominal	Factor de potencia	$\eta$	$\eta$ equipo asociado	Velocidad nominal	t	Energía final eléctrica	Energía útil
			kW	V	A	%	%	rpm	h		kWh	kWh
VEN1	1	Ventilador galería purgas	1,1	230/400	2,6	0,78	78	100	1500	3285	4616	3614
VEN2	1	Ventilador agua filtrada	1,1	230/400	2,6	0,78	78	100	1500	3285	4616	3614
VEN3	1	Ventilador sala cloración	0,55	230/400	1,45	0,73	74	100	1500	100	73	55



factor de potencia, y por otro lado la zona de los decantadores y obra de toma con iluminación mediante focos proyectores de lámparas halógenas de 500 W, la calefacción en algunas zonas de la ETAP se basa en radiadores eléctricos de 2000 W, y la ventilación de algunas zonas se realiza mediante ventiladores acoplados directamente a motores eléctricos trifásicos de inducción. Las características principales de estos equipos se resumen en las tablas 6 - 8.

Tabla 8. Características técnicas de los equipos para calefacción.

Equipo	Unidades	Descripción del equipo	Ubicación	Potencia	t	Energía final eléctrica
				kW	h	kWh
CALEF1	3	Radiador eléctrico	Servicios	2	4380	26280
CALEF2	2	Radiador eléctrico	Sala de control	2	4380	17520
CALEF3	1	Radiador eléctrico	Oficinas	2	3000	6000
CALEF4	3	Radiador eléctrico	Sala de cloración	2	4380	26280
CALEF5	1	Radiador eléctrico	Sala neutralización	2	4380	8760

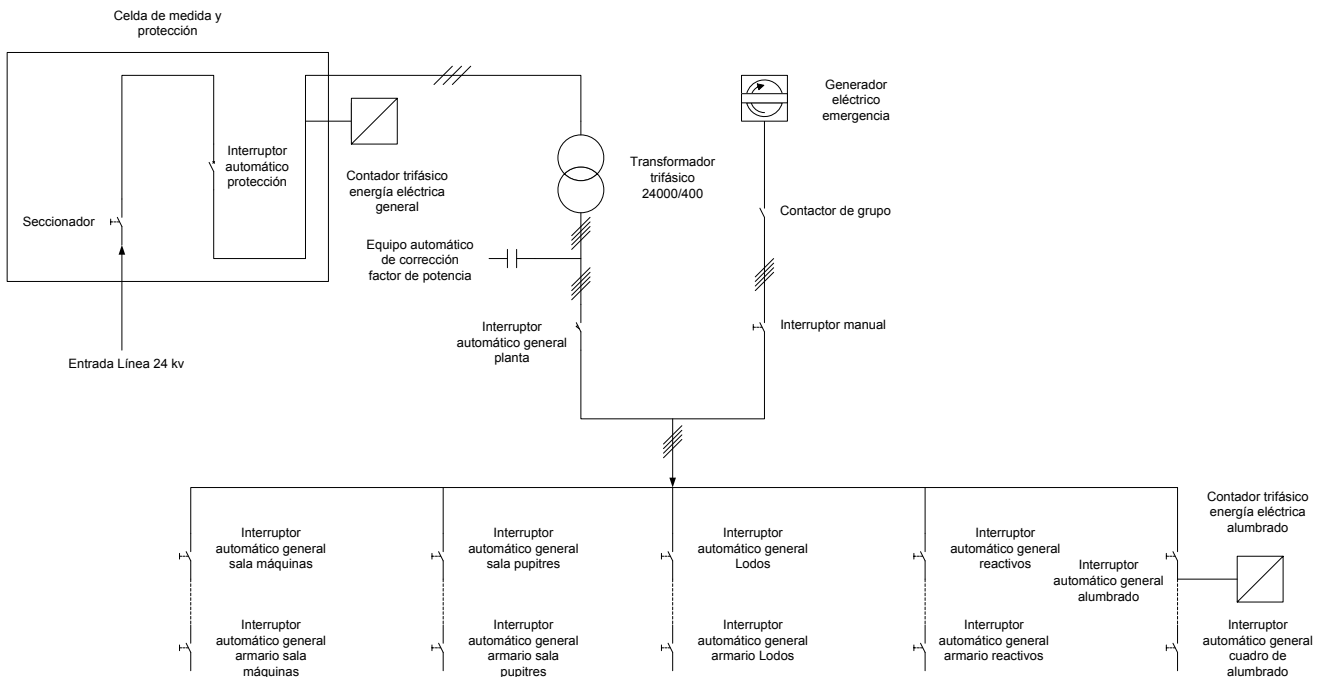


Figura 12. Esquema unifilar de distribución eléctrica media-baja tensión para la ETAP.

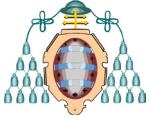
### 3.1.8 Esquema unifilar de media y baja tensión.

Mediante el análisis del esquema unifilar (figura 12) de la distribución de energía eléctrica de la ETAP se consigue definir las distintas vías en el consumo eléctrico y los puntos en los que es posible realizar mediciones eléctricas. En el centro de transformación, mediante acometida subterránea y tras atravesar las celdas de seccionamiento y protección la energía eléctrica en forma de media tensión (24.000 V) llega a un transformador trifásico de potencia reductor (24.000/400 V) de 1000 kVA que será el que alimente en baja tensión al sistema eléctrico general de la planta depuradora. A continuación y en paralelo a este transformador, se encuentra instalado un equipo para la corrección automática del factor de potencia de la instalación eléctrica de 280 kVAR de potencia con nueve escalones de manera que se pueden compensar las

fluctuaciones de potencia reactiva alcanzando el factor de potencia de consigna ajustado en el regulador. De modo paralelo y ante la falta de suministro eléctrico a través de esta vía se tiene automatizada la alimentación eléctrica a través de un generador de energía eléctrica movido por un motor diesel. Ambos sistemas de alimentación tienen como dispositivo de corte y protección a sendos interruptores automáticos enclavados eléctricamente. A partir de ellos se reparte mediante interruptores automáticos el suministro eléctrico hacia los armarios eléctricos repartidos por los edificios de la planta depuradora diferenciando la energía suministrada para iluminación exterior y suministro de electricidad a los diversos edificios para iluminación y para la conexión de equipos en baja tensión, y que son:

- Armario de la sala de pupitres.
- Armario de la sala de máquinas.
- Armario del edificio de lodos.





- Armario del edificio de reactivos.

De estos armarios toman la energía eléctrica cada uno de los equipos situados en el edificio correspondiente mediante la instalación eléctrica adecuada. Por otro lado en el centro de transformación se sitúa también la caja repartidora de distribución de energía eléctrica para el alumbrado exterior, los cuadros de distribución eléctrica para iluminación y tomas de corriente para cada edificio con sus correspondientes dispositivos de protección, de manera que también podemos distinguir los siguientes cuadros generales de distribución eléctrica para estos fines:

- Cuadro para el alumbrado exterior, en el centro de transformación.
- Cuadro del edificio administración y control.
- Cuadro del edificio de lodos.
- Cuadro del edificio de reactivos.
- Cuadro del edificio de purgas.
- Cuadro del taller mecánico.
- Cuadro del edificio de bombas de espesadores.

De acuerdo con estas dos disposiciones se les asocia un contador de energía eléctrica a cada una, de forma que se tiene un contador electrónico para la energía eléctrica de potencia distribuida a través de los armarios eléctricos, y de otros dos contadores (uno para potencia activa y otro para reactiva) para el caso de las instalaciones de alumbrado y tomas de corriente en los edificios. De este modo se tienen separados y contabilizados ambos consumos.

### 3.1.9 Sistema de gestión energética en la ETAP.

Hay que tener en cuenta que la ETAP no dispone de sistema de gestión energética, ni hay implantadas mejores prácticas, ni concienciación energética de los trabajadores u otras medidas de seguimiento y mejora de la eficiencia energética del centro.

### 3.1.10 Propuestas realizadas anteriormente de mejora de la eficiencia energética.

Las propuestas planteadas por el personal de la planta se referían sobre todo a sistemas de mejora de la eficiencia energética en iluminación, mediante la propuesta de cambios de las lámparas fluorescentes con encendido por cebador y reactancia por otras más eficientes.

## 3.2 Visita in situ a la ETAP.

A partir del análisis previo de los datos y la comprobación de su coherencia, se planificó la visita a la ETAP para hacer un seguimiento de todos los puntos y de las áreas más críticas, con más potencial o interés energético. Durante la visita al centro se hizo una verificación de los valores y las características de los equipos obtenidos a partir de la revisión de la documentación.

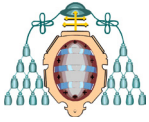
### 3.2.1 Mediciones.

En base al estudio previo se planteó la necesidad de realizar mediciones sobre todo de tipo eléctrico con analizadores de redes eléctricas para contrastar los datos facilitados y obtener algún parámetro como el factor de potencia de alguno de los equipos que no había sido aportado, para lo cual se requirió la colaboración del personal de la ETAP que se encontraba cualificado para las tareas de mantenimiento eléctrico. Además se realizaron medidas de la iluminancia de las distintas zonas de trabajo de los edificios de la ETAP como talleres, oficinas, etc., a modo de comprobar que se cumplía la legislación correspondiente en esta materia y de esta forma poder adecuar las medidas de mejoras en iluminación para que se propusiesen de forma correcta. También se verificaron que las presiones aportadas de los distintos equipos fuesen las correctas, realizando sobre todo un estudio exhaustivo de los dos sistemas de aporte de aire comprimido de la planta, situados uno en el edificio de lodos y otro en el edificio de administración y control.

Se analizó el nuevo sistema de control que se basa en tecnología PC-PLC con computador industrial y autómatas programables independientes, enlazados mediante canal de comunicaciones, con ejecución en el PC de un programa SCADA, y que sólo es parcialmente aprovechado, es decir, sólo se utiliza para controlar alguno de los procesos existentes en la planta, en realidad sólo se ocupa del proceso de lavado de filtros, del proceso de purgas de los decantadores y de la gestión de las alarmas del sistema de cloración. De esta forma, el sistema de control de la planta depuradora se realiza de modo que en la mayoría de operaciones el control está sujeto a la decisión adoptada por el operador de la planta. La señal básica de control general de la planta es la generada por el sensor de caudal ultrasónico instalado en la tubería de obra de toma, la cual se utiliza para controlar la dosificación de cloro en la precloración. Aparte de ello, mediante analizador de cloro en el agua tratada se genera una señal de control que es regulada mediante controlador PID, que en base a un punto de consigna genera una señal o variable de control que controla una válvula que es la encargada de realizar la dosificación de cloro para la postcloración, lazo de control que sí es cerrado. Todos los demás procesos de la planta son controlados por el operario de control o se realizan de forma automática en base a unos parámetros muy escasos, con muy poca instrumentación y basándose en señales que provienen de dispositivos como boyas, finales de carrera, etc. Se tomó en cuenta por tanto la capacidad de ampliación que tenía este nuevo sistema de control para evaluar las posibles mejoras en este apartado.

### 3.2.2 Identificación de equipos de mayor consumo energético.

El inventario de equipos que fue enviado para el estudio energético inicial era prácticamente correcto en su totalidad, y de él ya se había extraído una conclusión sobre



los equipos de mayor consumo energético, y que coincidieron con la opinión del personal de la planta y recaen en los siguientes equipos:

- Agitador rápido.
- Bombas de agua de lavado de filtros de arena.
- Ventiladores de agua de lavado de filtros de arena.
- Bombas de recuperación del agua de lavado.
- Bombas de lodos a espesador 1.
- Bombas de alimentación a los filtros prensa.

- Bomba de lavado de telas de los filtros prensa.
- Compresores del edificio de lodos y de sala de máquinas.
- Grupo de presión hidróforo.
- Grupo de presión para la regulación “varibar”.

En cuanto al consumo energético de los edificios ya se sabía en base a los datos aportados la poca eficiencia de la instalación existente tanto en el apartado de calefacción como en el de iluminación.

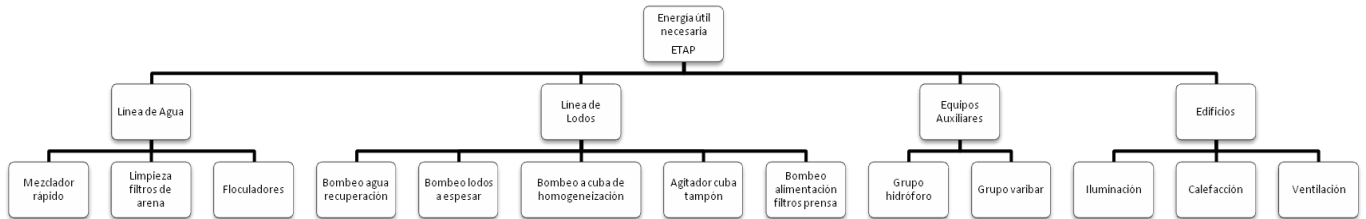


Figura 13. Distribución de energía útil requerida para la ETAP.

### 3.3 Análisis energético para la situación actual de la ETAP.

#### 3.3.1 Evaluación energética para la situación actual de la ETAP.

La evaluación energética, tiene como objetivo definir el mapa energético de la ETAP, las compras de energía final en electricidad, los usos de la energía útil, y las pérdidas que se producen durante los procesos de transformación energética.

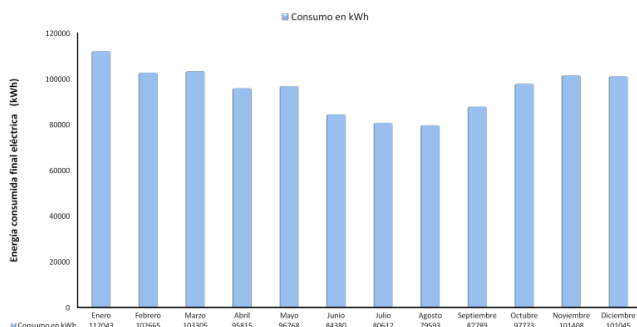


Figura 14. Consumo mensual energía final eléctrica en la situación actual para la ETAP 2011.

A partir de la evaluación energética de la ETAP, se pudo relacionar el consumo energético con la producción, y fue posible definir los consumos energéticos fijos y los variables, y la influencia en los mismos del nivel de tratamiento de la planta sobre todo en relación con la Línea de Lodos. Se disponía de las medidas de los contadores de energía de entrada a la planta y de los contadores de medida de la energía de alumbrado, además de las medidas realizadas con los analizadores de redes dispuestos para tal fin durante la auditoría energética, de modo que se pudo hacer la estimación que permitió evaluar la demanda energética de la ETAP para el año 2011. Esta estimación se

contrastó con los valores de compra de energía eléctrica, ya que se disponía de las facturas eléctricas del año 2011.

El mapa energético para la ETAP en el cual solamente se aportaría energía eléctrica final y en el que se muestra la distribución de energías útiles se visualiza en la figura 13.

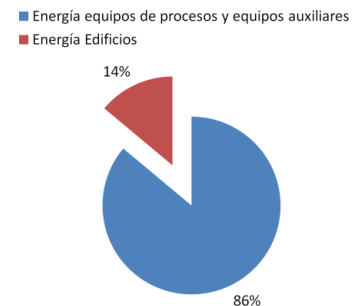
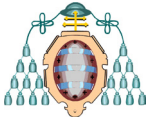


Figura 15. Distribución del consumo de la energía final eléctrica en la situación actual para la ETAP AÑO 2011.

Los datos obtenidos a partir de las estimaciones energéticas se verificaron y consensuaron con los responsables energéticos de la ETAP. Las compras de electricidad durante el año 2011 para la ETAP fueron de 1.143.146 kWh, cuya distribución mensual se muestra mediante el gráfico de la figura 14 donde se pone en evidencia un claro descenso del consumo energético durante los meses de verano que es debido a la bajada del nivel de producción de la Línea de Lodos, ya que durante estos meses no se lava ningún decantador, influyendo también claramente el descenso del consumo energético de los equipos de iluminación de la planta y calefacción de los edificios de la ETAP, manteniéndose el consumo de energía básico para el tratamiento del agua a pesar del aumento del caudal de tratamiento en los meses de verano.

En el gráfico de la figura 15 se puede observar la distribución o uso de la energía comprada en la ETAP. Se distinguen los usos en dos conceptos, por una parte para el



consumo de los equipos de los procesos de la Línea de Agua y de la Línea de Lodos junto con los equipos auxiliares con un porcentaje del 86% del total, y por otra parte el consumo energético de los edificios que servirá para la iluminación de todos ellos, así como la calefacción y ventilación de alguno de ellos con un porcentaje del 14% del total. En este último apartado se englobaría también el consumo de las máquinas herramientas de los talleres y los equipos informáticos de las oficinas.

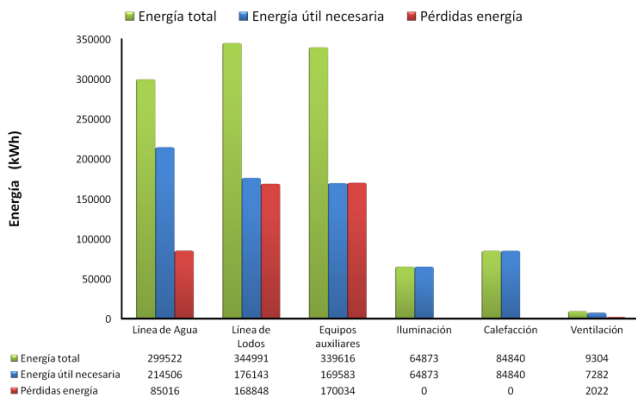


Figura 16. Distribución por equipos de las energías final eléctrica, útil y de pérdidas para la ETAP en la situación actual 2011.

En la transformación mediante los equipos de la ETAP de esta energía eléctrica final comprada mediante los equipos de la planta en la energía útil necesaria para los accionamientos se produce una pérdida de energía. En el gráfico de la figura 16 se pueden visualizar las cantidades de energía utilizada y perdida respecto de la energía final eléctrica suministrada para la situación actual de la ETAP en el año 2011.

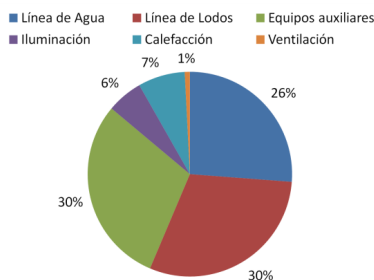


Figura 17. Distribución de los consumos de energía final eléctrica por líneas de proceso y equipos de los edificios para la situación actual ETAP 2011.

De un modo también general se puede observar mediante el gráfico de la figura 17 la distribución de estos consumos de energía final eléctrica en la ETAP según los usos generales a los que se destine y en forma de porcentaje.

Como se ha expuesto el 86% de la energía final eléctrica comprada en la ETAP se destina al consumo de los equipos de procesos y auxiliares, de modo que en la situación para el año 2011 a los equipos de la Línea de

Agua, como se muestra en el gráfico de la figura 18, se destinó el 30% de esta energía, a los equipos de la Línea de Lodos un 35%, y a los equipos auxiliares otro 35%.

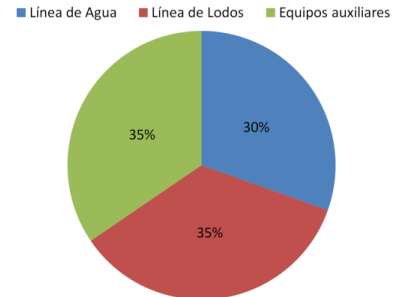


Figura 18. Distribución del consumo de energía eléctrica para las líneas de tratamiento y equipos auxiliares en la situación actual ETAP 2011.

De la misma forma como se muestra en el gráfico de la figura 19, el 14% de la energía final eléctrica se utiliza para la alimentación de los equipos consumidores de energía de los edificios, de forma que los equipos de la instalación para la Iluminación consumen un 41% de esta energía, el 53% lo consumen los equipos dedicados a calefactar las diferentes zonas y el 6% lo consumen los equipos de ventilación de la galería de purgas y de la galería de agua filtrada.

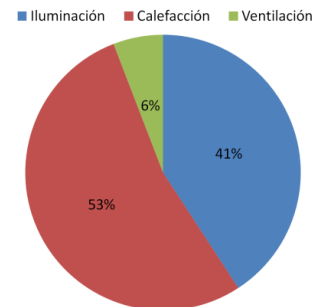


Figura 19. Distribución del consumo energético en los edificios para la situación actual ETAP 2011.

Realizando un balance energético global de la planta de toda la energía final eléctrica consumida para el año 2011 solamente un 63% se traduce en energía útil con unas pérdidas globales del 37%. La distribución de estas energías para la ETAP durante el año 2011, útil o de proceso, y de pérdidas puede visualizarse en el gráfico de la figura 20.

### 3.3.1 Ratios energéticos de la ETAP.

Un ratio es una relación o proporción que se establece entre dos variables. Los ratios energéticos nos permiten prever el consumo energético en función de la variable que tomamos como referencia. Los ratios son una herramienta muy útil a la hora de analizar evoluciones de consumos energéticos, comparar diferentes centros, diferentes líneas de producción o procesos productivos.

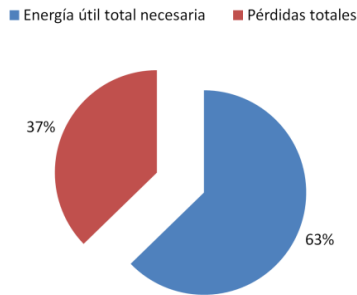
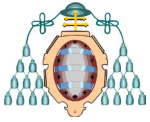


Figura 20. Balance energético global para la situación actual ETAP 2011.

También en este caso son una buena herramienta para evaluar la eficiencia energética de la ETAP, establecer objetivos energéticos y ver la evolución del sistema de gestión energética que se podría implantar a lo largo del tiempo. Para la ETAP se ha analizado el consumo específico de energía final eléctrica relacionando el consumo energético en electricidad con la producción de agua tratada obtenida en  $m^3$ , que como se apunta en la tabla 2 resultó ser para el año 2011 de  $0,001980 \text{ kWh}/m^3$ . También se podría utilizar como parámetro de referencia la producción específica por unidad de energía que sería la relación entre la producción y el consumo energético en un período de tiempo dado normalmente anual, siendo por tanto el inverso del ratio anterior, resultando un valor de  $50,50 \text{ m}^3/\text{kWh}$ .

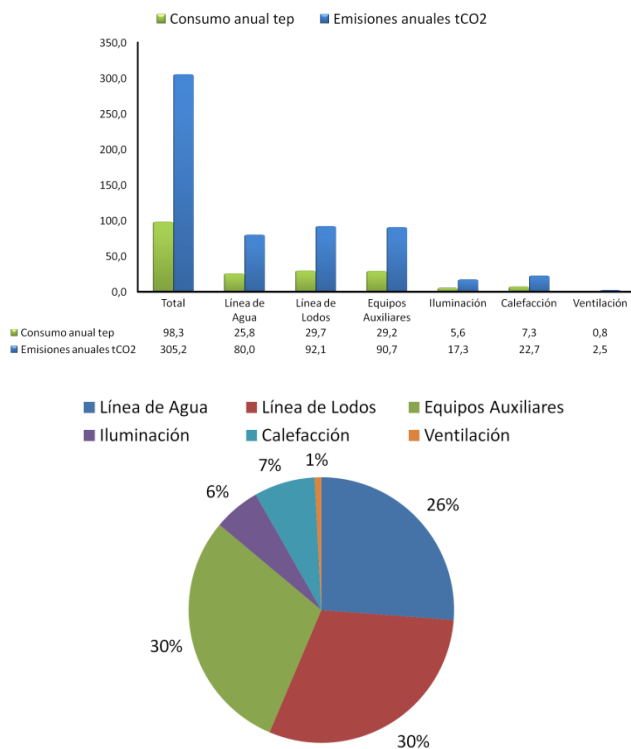


Figura 21. Consumo eléctrico en tep y emisiones asociadas con su distribución por equipos para la situación actual ETAP 2011.

### 3.3.2 Balance de emisiones de la ETAP.

El consumo de combustibles fósiles provoca la emisión de gases que contienen, entre otros componentes el  $\text{CO}_2$ , provocando el efecto invernadero. Cada combustible tiene un factor de emisión asociado: una relación de la cantidad de  $\text{CO}_2$  que se emite por unidad de masa que es resultado de su composición química. Los factores de emisión están basados en el contenido de carbono de los combustibles y se expresan en  $\text{tCO}_2/\text{TJ}$  o en  $\text{gCO}_2/\text{kWh}$ .

La biomasa, los combustibles residuales o hidrógeno, tienen un factor de emisión cero, unos por ser renovables y otros porque se considera que en el análisis de su ciclo de vida el balance de emisiones de  $\text{CO}_2$  es nulo. El mix eléctrico expresa las emisiones de  $\text{CO}_2$  asociadas a la generación de la electricidad que se consume, y se convierte así en un indicador de las fuentes de energía que utilizamos para producir la electricidad. Los datos de emisiones de  $\text{CO}_2$  de la electricidad dependen de la estructura de generación del mix español y cambian cada año, para el año 2011 el factor de emisión fue de  $267 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ . Este factor permite comparar los efectos medioambientales de las diferentes propuestas de mejora y ver su influencia en el ámbito medioambiental y económico.

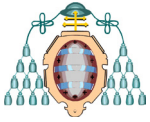
El consumo energético anual en tep y las emisiones asociadas de  $\text{CO}_2$  totales, y para cada proceso y equipos de la planta, junto con su distribución, se pueden visualizar en el gráfico de la figura 21. Las emisiones totales anuales asociadas al consumo energético eléctrico total para la ETAP durante el año 2011 se han evaluado en  $305,2 \text{ t}$  de  $\text{CO}_2$ .

### 3.4 Análisis económico para la situación actual de la ETAP.

#### 3.4.1 Escenario económico.

Es el instrumento base con el fin de evaluar económicamente todas las propuestas con un mismo modelo y poder compararlas. Los precios energéticos son variables a lo largo del tiempo, y no tienen un modelo fijo de evolución ya que el mercado energético está liberalizado. El escenario económico define los parámetros económicos que se utilizarán para realizar los cálculos económicos. Dado que el análisis económico para la ETAP se hace durante el año 2011 es necesario definir claramente sobre qué bases se realizan los análisis. Se han tomado como precios energéticos los más recientes, es decir, los correspondientes al último mes del que se tiene factura de la compañía, en este caso del mes de Diciembre del 2011. Los costes energéticos se han calculado sobre una misma base tanto para la situación actual como para la situación de referencia y para las propuestas de mejora. El escenario económico definido para la ETAP está vinculado a los precios de energía eléctrica adquirida y su estructura que son los siguientes teniendo en cuenta que la facturación es en función del precio contratado con la comercializadora que suele incluir los componentes del coste de la energía en el mercado liberalizado:





- Adquisición de la electricidad en el mercado eléctrico.
- Tarifas de acceso o peajes por el uso de las redes de transporte y distribución, que constan de un término de potencia, un término de energía y un complemento de energía reactiva (tabla 9).
- Alquiler del equipo de medida e impuestos.

Tabla 9. Tarifas de acceso para el año 2011.

TARIFAS DE ACCESO DE ALTA TENSIÓN				COMPLEMENTO DE ENERGÍA REACTIVA	
TARIFA	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	COS $\phi$	TF
3.1A	TP	24,012760	14,808024	0,80 ≤ COS $\phi$ < 0,95	0,041554
	TE	0,040720	0,036230	COS $\phi$ < 0,80	0,062332

REFERENCIAS

TE: €/kWh. TP: €/kW y año. TF: €/kVAh. S/R: Sin restricción

Por tanto los precios finales a aplicar para la facturación eléctrica en la ETAP, en los cuales se incluye el Impuesto Eléctrico en el precio conjunto de la energía adquirida, son los que se muestran en la tabla 10, y que por lo tanto son los que marcarán el escenario económico a considerar en la auditoría energética realizada en la ETAP.

Tabla 10. Precios finales del escenario económico a aplicar en la auditoría.

TARIFA 3.1A (ETAP)	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
PRECIO ENERGÍA (TERMINO DE POTENCIA (kW/día))	0,069152	0,042644	0,009779
PRECIO ENERGÍA (TERMINO DE ENERGIA (€/kWh))	0,042802	0,038082	0,023306
PRECIO ADQUISICIÓN ENERGÍA (€/kWh)	0,091504	0,081791	0,061605

**3.4.2 Costes energéticos para la situación actual de la ETAP.**

Los costes energéticos son los asociados a las energías compradas y los medios necesarios para disponer de ellos en las condiciones esperadas. En general, estos medios se refieren a operación y mantenimiento de los equipos.

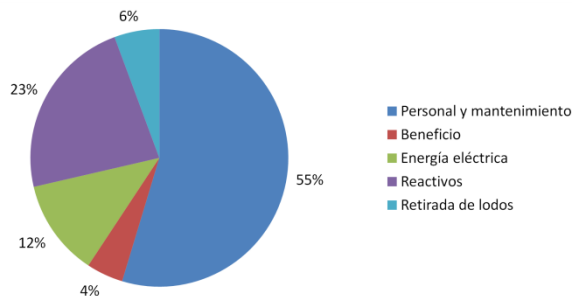


Figura 22. Balance económico para la situación actual ETAP 2011.

En la ETAP, los costes energéticos van asociados a la energía final eléctrica, que se adquiere a la compañía comercializadora. Los costes energéticos se obtienen de la energía consumida según la estructura y los valores establecidos en el mapa energético de la ETAP y los precios

definidos en el escenario económico de referencia, de modo que el coste energético de la electricidad para la ETAP durante el año 2011 ha ascendido a un total de 137.983,04 € con una incidencia del 12% en el balance económico global para el citado ejercicio como podemos observar en el gráfico de la figura 22.

También se ha analizado la distribución mensual de los costes energéticos de la ETAP que se muestra en el gráfico de la figura 23 en los que se aprecia el descenso del coste energético durante los meses de verano, debido a las causas ya comentadas.

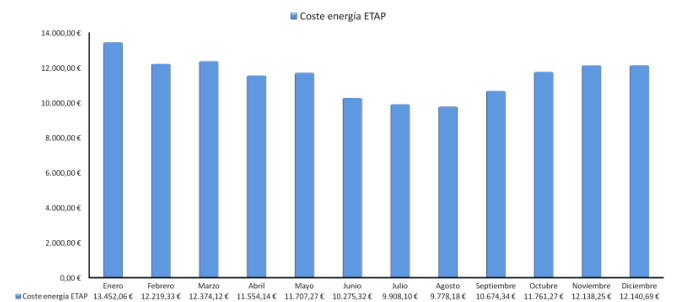
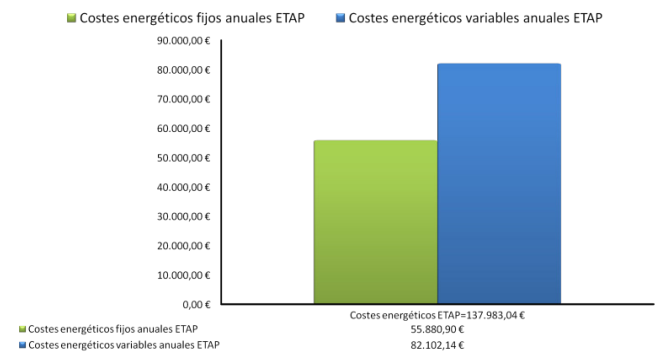


Figura 23. Distribución mensual de los costes de energía eléctrica para la situación actual ETAP 2011.

**3.4.3 Distribución de la electricidad por conceptos de facturación.**

Los costes de la electricidad se pueden desglosar en costes fijos y variables. Los costes fijos corresponden a la potencia contratada y se facturan mensualmente. Están regulados a través de las tarifas de acceso, en la ETAP a través de la modalidad 3.1A.



■ Costes energéticos fijos electricidad  
 ■ Costes energéticos variables electricidad

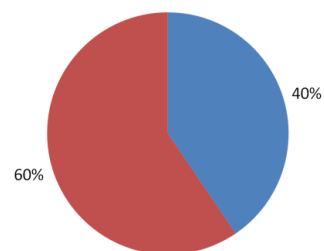
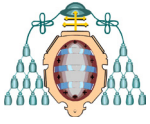


Figura 24. Distribución de los costes fijos y variables para la situación actual ETAP 2011.



Hay que tener en cuenta que estos costes fijos no dependen del consumo, pero que pueden variar en el caso de instalar o variar los equipos de la ETAP, ya que se puede tener que ampliar o reducir la potencia contratada. Los costes variables son directamente atribuibles a la energía consumida en cada uno de los tres periodos horarios, e incluyen los costes de generación y las tarifas de acceso, y hay que tener en cuenta las posibles variaciones en su distribución, ya que el precio de la electricidad depende de la hora del día y del mes en que se consuma.

El gráfico de la figura 24 nos muestra la distribución de los costes energéticos anuales distinguiendo los costes fijos y variables, en donde también se pone en relieve el peso que cada uno de ellos tiene en los costes totales en electricidad para la ETAP durante el AÑO 2011, de manera que un 40% corresponde a los costes energéticos fijos y un 60% para los costes energéticos variables.

El análisis realizado para la ETAP de las penalizaciones por exceso de potencia y de la evolución mensual (figura 25) de las medidas realizadas por el maxímetro durante los periodos correspondientes da indicaciones de que la potencia contratada para los periodos P2 y P3 es adecuada en previsión de tener que realizarse la limpieza de filtros de arena por la mala calidad del agua bruta de entrada a planta, y aumentar el ritmo de tratamiento de los lodos generados con unos requerimientos de potencia aproximada en estos casos de 270 kW. Pero para el periodo P1 se podría realizar una optimización de la potencia contratada, pero esta optimización se debe vincular a un cambio sobre el sistema de trabajo actualmente implantado con la prohibición de la utilización de alguno de los equipos durante este periodo P1. Las penalizaciones por energía reactiva en la facturación para la ETAP durante el año 2011 son nulas e indican que la energía reactiva está correctamente compensada con el sistema actualmente instalado y por tanto no hay razón para un estudio de optimización del factor de potencia.

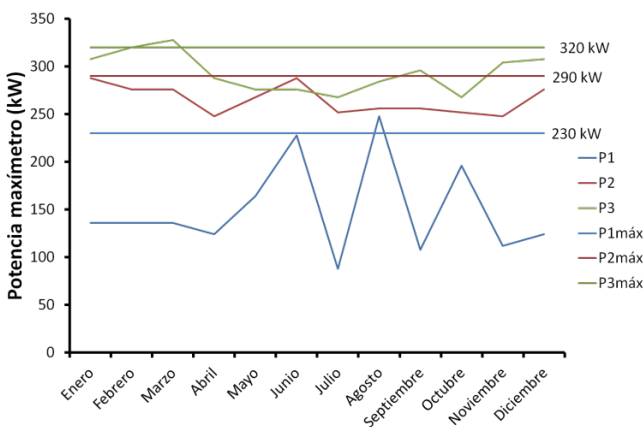


Figura 25. Evolución mensual de las potencias máximas para la situación actual ETAP 2011.

### 3.4.4 Distribución de compras de electricidad por periodos horarios eléctricos en la ETAP.

Un factor muy importante del coste de las compras de energía es la distribución de los consumos en función los periodos eléctricos. Los periodos eléctricos dependen de la zona geográfica, del tipo de día y de la hora del día. Por tanto, es conveniente analizar la distribución de compras de energía eléctrica para la ETAP por periodos y evaluar si la distribución horaria y la tarifa de acceso aplicada es la más adecuada.

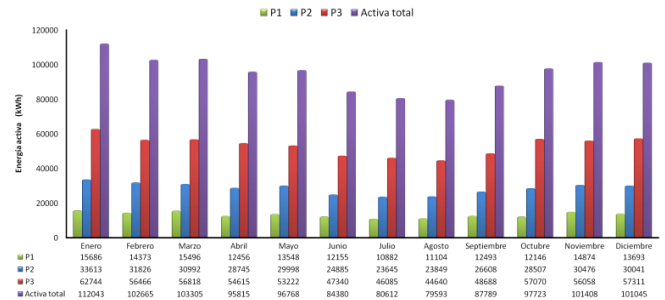


Figura 26. Distribución mensual y por periodos horarios de facturación de los consumos de energía activa para la ETAP 2011.

En el gráfico de la figura 26 se muestra la distribución mensual de la energía eléctrica activa consumida en la ETAP durante el año 2011 del cual se infiere el descenso prácticamente proporcional para todos los periodos debido a la estacionalidad del consumo ya comentado de los meses de verano.

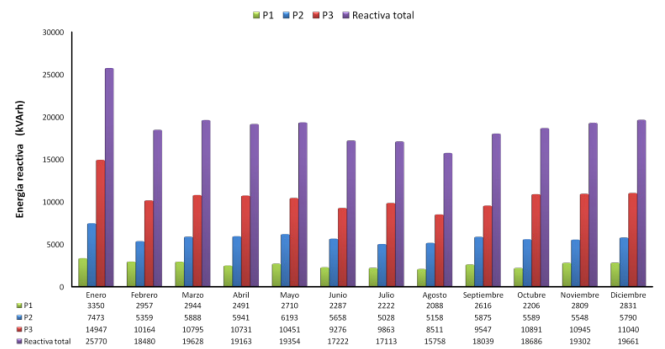
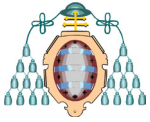


Figura 27. Distribución mensual y por periodos horarios de la energía reactiva para la situación actual ETAP 2011.

Del mismo modo también se representa en el gráfico de la figura 27 la evolución mensual por periodos de facturación de la energía eléctrica reactiva para la ETAP durante todo el año 2011. En el mes de Enero se muestra un aumento fuera de lo normal de este tipo de energía reactiva debida a una desconexión temporal por avería del equipo automático de compensación de energía reactiva.

### 3.5 Situación de referencia para la auditoría energética de la ETAP.



La situación de referencia para la ETAP no tiene porque ser la situación actual, sino que debe ser la situación que se prevé más posible en el momento de implantación de las propuestas de mejora y debe reflejar los parámetros energéticos y económicos que se utilizarán para comparar las propuestas de mejora. Estos parámetros se obtuvieron de los datos facilitados por los responsables de la ETAP en cuanto a los cambios previstos en alguno de los procesos de la planta como en el mezclador rápido, floculadores y otras agitaciones mecánicas, algún bombeo etc., de las mediciones realizadas in situ y de los análisis energéticos y económicos que se han llevado a cabo.

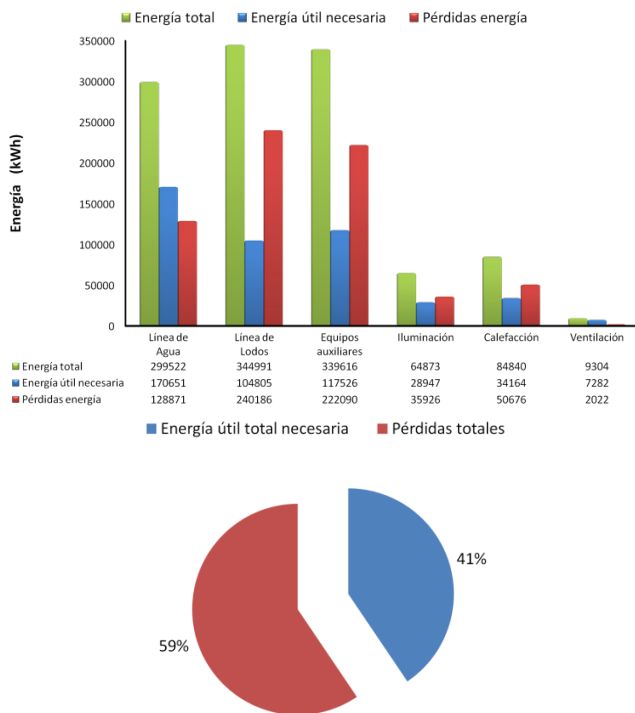


Figura 28. Distribución de energías final, útil, de pérdidas y balance energético global para la ETAP en la situación de referencia.

Los parámetros principales que definirán la situación de referencia son las evaluadas anteriormente para el año 2011:

- Compras energéticas anuales en electricidad.
- Consumos energéticos anuales de proceso o energía útil.
- Costes energéticos anuales.
- Distribución de usos energéticos de la ETAP.

La definición final de la situación de referencia en base a la evaluación energética para el año 2011 se consensó con los responsables energéticos de la ETAP, ya que es la base de trabajo para evaluar y cuantificar las propuestas de mejora. En cuanto a las compras energéticas anuales se consideran las mismas que las aportadas durante el año 2011 para la ETAP pero la situación de referencia marca la distribución de la energía final, útil y de pérdidas que se muestra en el

gráfico de la figura 28, donde también se observa el balance energético en la ETAP. En cuanto a los costes energéticos anuales y la distribución por usos para la ETAP para la situación de referencia, son los aportados para la situación abordada para el AÑO 2011.

El precio por tanto que se aplicará en la evaluación económica de las propuestas de mejora será de 0,07 €/kWh, que es el precio medio calculado en base a los precios de cada periodo horario de la facturación eléctrica para el año 2011. Cualquier cambio en la situación de referencia afecta a todo el proceso posterior de la auditoría energética.

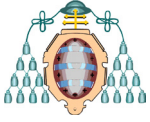
Este hecho tiene una incidencia especial en periodos de crisis como el actual, de ampliaciones de proceso o de variaciones de proceso. Se consideró que en la ETAP no se van a realizar modificaciones en cuanto a sus producciones, empleo, usos, etc., con el fin de establecer la situación de referencia de acuerdo con la situación planteada para el año 2011.

### 3.6 Identificación de las propuestas de mejora.

La eficiencia energética es un campo muy amplio, que incluye disciplinas de tecnologías, de procesos productivos, de necesidades energéticas, de demanda energética, de energías renovables y otros afines a todos los sectores industriales o terciarios. La auditoría energética que estamos desarrollando en la ETAP se debe tomar como instrumento para detectar el estado energético actual del centro y encontrar puntos de actuación que den como resultado una mejora de la eficiencia energética. Las mejoras que se propongan pueden tener uno o más de uno de los objetivos siguientes:

- La reducción del consumo de energía de proceso o servicio.
- La reducción del coste asociado al consumo energético.
- La diversificación de la forma de energía consumida hacia formas más eficientes, de origen renovable, más baratas, de menor impacto ambiental.
- El aumento del rendimiento de algún equipo, sistema, operación o línea de proceso del centro.
- El uso o implantación de las mejores técnicas disponibles (MTD).

Las propuestas de mejora en la ETAP se pueden clasificar de diferentes maneras y uno de los parámetros principales de clasificación es la inversión asociada ya que definirá la rapidez de su implantación. Por tanto dentro de ellas manejaremos mejoras sin inversión que suelen ir asociadas a mejores prácticas y de carácter general, mejoras de inversión baja de rápida implantación y mejoras que conllevan una inversión más alta que en su mayoría se han desarrollado específicamente para la ETAP mediante el análisis de la mejora energética de los procesos de la misma. Las propuestas de mejora de ahorro energético en la ETAP se pueden clasificar según su aplicación:



- Ahorro en el consumo de energía del proceso o del servicio, reflejado directamente en la disminución del consumo de la ETAP por la mejora de la gestión energética, de las condiciones de consumo o de la concienciación del personal.
- Ahorro en la compra de energía final: derivado de la mejora del rendimiento de los equipos o de la mejora de la facturación energética.
- Ahorro de energía primaria: derivado de la introducción de tecnologías de energía renovable o de alta eficiencia y reflejado en un aumento de la sostenibilidad.

### 3.6.1 Propuestas de ahorro en el consumo de energía de los procesos o servicios de la ETAP.

El mejor método de mejorar la eficiencia energética es el que va encaminado al ahorro en el consumo de energía de los procesos o de los servicios de la ETAP y es, por tanto, lo primero que se debe considerar. El consumo energético incide directamente en el proceso de producción de agua tratada o en los hábitos de los operarios de control, por lo que, a la hora de definir las propuestas de mejora se debe tener en cuenta las necesidades del proceso de tratamiento o del confort de los operarios en los edificios. Se debe buscar el equilibrio entre la eficiencia energética y la calidad del agua tratada o el confort en los edificios.

El mejor ahorro es la energía que no se consume y algunas de las mejoras en este sentido que se proponen en esta auditoría energética y que permiten disminuir la demanda son:

- Una mejora general de la instrumentación y de los sistemas de control para un posible aumento del grado de automatización de la planta que sin duda redundará en una mayor eficiencia energética de la misma.
- Variaciones de los sistemas de trabajo, los horarios, de las condiciones de operación u otros factores, de modo que los operarios de control utilicen los equipos de forma más eficiente, sobre todo en el periodo de tiempo transcurrido entre el final de la auditoría energética y la implantación de las mejoras, y en buena medida las relacionadas con la automatización de los procesos de la planta.

### 3.6.2 Ahorro en los costes de compra de energía final eléctrica para la ETAP.

Las propuestas asociadas al ahorro energético en la compra de energía final eléctrica están siempre o normalmente asociadas a la mejora de las condiciones contractuales de compra o de las condiciones de calidad de la demanda. El mercado energético está liberalizado, con lo cual, la gestión de la compra de energía eléctrica en la ETAP ha de pasar a ser una tarea que requiere de una actividad cotidiana y de seguimiento. Una buena gestión de compras

puede conseguir ahorros económicos en el conjunto de los costes energéticos.

Aparte de esto, se recomienda implantar las siguientes propuestas de mejora referidas a la calidad o la gestión de las compras que repercuten en un ahorro energético directo para el centro e indirecto para el país, y que tienen una gran incidencia en los costes de la factura eléctrica, como son:

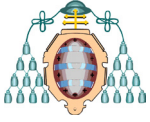
- En cuanto a la mejora del factor de potencia, la batería de condensadores actualmente instalada cumple perfectamente su función.
- Se propone acrecentar la calidad de la demanda mediante la disminución de armónicos a través de la instalación de filtros en el caso de la implantación de los variadores de frecuencia propuestos en las mejoras, así como de realizar un estudio sobre el equilibrio del consumo de las fases.
- Se propone la adaptación de la potencia contratada a la demanda máxima de electricidad para el periodo P1, pero para ello previamente se ha de realizar la prohibición de utilizar el sistema de limpieza de los filtros de arena bien mediante la automatización a través del sistema de control o bien mediante la concienciación de los operarios de control.
- Adecuar la curva de consumo para poder negociar el mejor precio de compra de energía final eléctrica.
- Adecuar los consumos a los periodos de menor coste, mediante el funcionamiento de muchos más equipos de la Línea de Lodos durante el periodo P3.

### 3.6.3 Mejora del rendimiento de los equipos o de los procesos.

La mejora del rendimiento de equipos o de los procesos disminuye las pérdidas energéticas y, por tanto, la compra de energía final. La mejora del rendimiento de los equipos o de los procesos es habitual en las propuestas de mejora de eficiencia energética. El uso continuado de los equipos de muchos procesos de la ETAP, muchos de ellos basados en tecnologías ya obsoletas, con una antigüedad cercana ya a los 30 años, y el sobredimensionamiento de bastantes equipos son factores que se han tenido muy en cuenta en esta auditoría energética. El análisis del rendimiento de los equipos de la ETAP permitió evaluar la degradación de los mismos y determinar medidas correctoras para mejorarlo o bien realizar propuestas de sustitución de los mismos. Se ha realizado este análisis siguiendo el esquema de procesos de la ETAP, reseñando solamente aquellos en los que es necesario implantar algún tipo de medida.

La mayoría de las mejoras que se proponen para los procesos de la planta y que se resumen en las tablas 11 - 16 se basan en los siguientes principios:

- Sustitución progresiva de los motores eléctricos de inducción de los distintos accionamientos por motores eléctricos de inducción de alta eficiencia IE3.

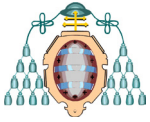


- En muchos de los procesos se necesitará instalar un variador electrónico de frecuencia para la variación de la velocidad de los motores eléctricos teniendo en cuenta la necesidad de refrigeración adicional a velocidades bajas, y que se debería gobernar a través del sistema de control de la planta, en muchos casos mediante ajuste por consigna en el SCADA de la planta, por programación de temporizaciones adecuadas y en otros casos en base al valor de algún parámetro de la planta como los caudales de agua bruta y agua tratada, niveles de agua o lodos en canales, depósitos, espesadores, etc. Además se recomienda la instalación de unos arrancadores electrónicos progresivos para los motores de mayor potencia como los de las bombas de agua de lavado, bombas de recuperación, ventiladores de aire de lavado, bombas de vaciado de decantadores, de modo que se eviten las indeseadas conmutaciones del arranque estrella-triángulo para estas potencias altas.
- En muchos procesos de bombeo se propone la sustitución completa de las bombas, en unos casos por ser más rentable energéticamente la sustitución del conjunto y en otros casos por ser bombas de pequeño tamaño como las de bombeo del polímero o de la cal y requerir por tanto de una inversión pequeña, pero siempre con el condicionante de realizar un estudio detallado del sistema de bombeo considerado para un correcto dimensionamiento del mismo.
- En cuanto al control de la mayoría de los procesos de la Línea de Lodos y el proceso de lavado de los filtros de arena, se debería de integrar en el sistema de control de la planta de modo que se acotase su funcionamiento a los periodos P3 o P2 en algún proceso, de manera que el coste energético derivado de los mismos resultase más económico. Además mediante el sistema de control se debería programar la no simultaneidad de algunos de los procesos de esta línea de tratamiento con el proceso diario de lavado de filtros de arena durante el periodo P3, amén de conseguir mantener la potencia máxima de ese periodo en 320 kW.
- Es interesante reseñar las propuestas de mejora siguientes que logran reducir el consumo energético global de la ETAP de forma importante. Para el proceso de deshidratación de los lodos conviene la sustitución de las bombas actuales por unas nuevas de características parecidas del tipo pistón-membrana pero accionadas con motores eléctricos de alta eficiencia IE3, cuya velocidad es reducida y regulada por variador de frecuencia electrónico según la señal de presión de los lodos en el calderín de impulsión. En cuanto al grupo de presión "varibar" de agua tratada se propone en este caso la

eliminación de este sistema que solamente sirve para el accionamiento de las válvulas de salida de agua filtrada y regulación del caudal de agua filtrada en cada filtro de arena, mediante la sustitución del mismo por un sistema automatizado de actuadores neumáticos para el movimiento controlado de apertura-cierre de las válvulas de salida de agua filtrada desde el autómatas programable central en función de la señal del caudal de entrada de agua bruta y de la señal de unos nuevos sensores de nivel de agua en los canales de reparto de agua decantada. Este sistema evitaría el consumo anual del actual grupo de presión varibar y no aumentaría en gran medida el consumo energético de los nuevos compresores, además de mejorar el funcionamiento de la planta al conseguir que todos los filtros de arena tengan el mismo caudal de salida de agua filtrada y por tanto su pérdida de carga sea progresiva en el tiempo y similar en todos los filtros. Esta nueva situación permitiría optimizar el número de limpieza de filtros de arena por día reduciéndolo en función del caudal de tratamiento de la planta y del nivel de pérdida de carga de los filtros de arena. Para ello esta regulación se debería implementar en el programa de control del autómatas programable de la planta. En cuanto al grupo de presión hidróforo de agua tratada, se propone la sustitución del grupo de presión actual por uno nuevo mediante un estudio detallado de las necesidades reales actuales de suministro de agua potable tratada en la planta, y por tanto el diseño adecuado para este sistema de bombeo a presión que podría reducir incluso el número de bombas del grupo de presión. El nuevo grupo de presión se basará en el principio de funcionamiento basado en variador de frecuencia para la regulación de velocidad de la bomba principal para proporcionar una presión constante de agua en la instalación independiente del caudal solicitado a 6 bar e incorporará motores eléctricos de alta eficiencia IE3. Además, el control de este grupo de presión debería integrarse en el sistema de control de la ETAP basado en autómatas programable para un correcto control del mismo en base a la señal de consigna de presión en el sistema SCADA de la planta.

- Como mejora del sistema eléctrico en baja tensión se propone la implementación de un programa de mantenimiento eléctrico predictivo y correctivo adecuado enfocado a la mejora del rendimiento global de la instalación eléctrica mediante la sustitución de componentes eléctricos antiguos, renovación de equipos y cableado, evitando sobrecalentamientos, descompensación de fases, falta de aislamiento, y puntos calientes en la instalación eléctrica que se detectaron mediante





análisis termográfico, etc. Además sería deseable que equipos como el de corrección del factor de potencia se integrasen dentro del sistema de control de la planta de modo de poder supervisar su correcto funcionamiento. Además se debería tener presente que cuando se conecta un equipo con componentes no lineales en la red (como un variador de frecuencia), se ocasionan distorsiones en la red que perturban los parámetros de la misma, como es el caso de los armónicos. La necesidad de controlar el nivel de intensidad armónica en los sistemas de distribución de energía se reconoce generalmente como un factor importante a la hora de seleccionar y utilizar convertidores de frecuencia de velocidad variable y otros equipos de carga no lineal. Hay una serie de soluciones para mitigar los armónicos generados por los variadores, entre las que cabe destacar: filtros de captura de armónicos, instalación de reactancias DC, instalación de reactancias AC, transformadores de desplazamiento de fase, filtros activos, etc. Por lo tanto una vez implantadas las mejoras en la ETAP se recomienda realizar un estudio de la calidad de la red de distribución de energía eléctrica.

- Para la red de aire comprimido de la planta se propone la sustitución de los compresores actuales por unos nuevos para la sala de máquinas y de la revisión completa del sistema de distribución del aire comprimido para la reducción de las fugas. Además se considerará para la instalación la posibilidad de la toma de aire de los compresores a una temperatura inferior, recuperar el calor de refrigeración de los compresores para el calentamiento del agua caliente sanitaria, mantener la presión mínima en la red de aire comprimido a 6 bar, y evitando que los compresores trabajen en vacío. Además se deberá integrar el control y supervisión del funcionamiento de los compresores en el sistema de control de la planta a través del autómatas programable central de forma que se optimice totalmente y de forma global su funcionamiento.
- Para los sistemas de instrumentación y control se propone un estudio detallado de mejora de la instrumentación en base a las necesidades de control para una operación más eficiente de la ETAP y por supuesto su integración en el sistema de control de la planta.

Además para la reducción del consumo energético de cada uno de los edificios y de la iluminación exterior de los viales e infraestructuras exteriores se deben considerar las propuestas de mejora que se resumen en las tablas 14 - 16. Las propuestas de mejora en iluminación se basan en la sustitución de las distintas lámparas por lámparas basadas en tecnología LED, de modo que se deberá cumplir en todo momento la norma UNE-EN 12464-1 sobre iluminación en

los lugares de trabajo. Este nuevo sistema de iluminación debe de incorporar un sistema de regulación y control que apague, encienda y regule la luz según la señal de interruptores, detectores de movimiento y presencia, células fotosensibles o calendarios y horarios preestablecidos, controles digitales, interruptores astronómicos, etc., permitiendo un mejor aprovechamiento de la energía consumida, reduciendo los costes energéticos y de mantenimiento, además de dotar de flexibilidad al sistema de iluminación. Además el ahorro energético conseguido al instalar este tipo de sistemas puede ser de hasta un 70 %. Como no todas las zonas requieren el mismo tratamiento, es importante controlar las luminarias de cada zona mediante circuitos independientes. En cuanto a la climatización del Edificio de Administración y Control y de las salas de neutralización y cloración del Edificio de Reactivos en las que se debe mantener una temperatura constante de 27 °C durante todo el año, se propone la instalación de un sistema de climatización por edificio basado en bomba de calor de lazo abierto agua-aire que aproveche la temperatura media del agua de 10 °C durante el invierno y de 17 °C durante el verano. El calor requerido adicional en modo calefacción se aportaría mediante radiadores eléctricos. Para el edificio de Reactivos solamente se funcionará en modo calefacción, mientras que para el edificio de Administración y Control se funcionará en modo calefacción por el invierno y refrigeración por el verano. Además estos sistemas servirán como aporte de agua caliente sanitaria con apoyo de aporte de calor mediante resistencias eléctricas para establecer una temperatura de 58 °C y de aporte de agua caliente a los evaporadores de cloro de la sala de cloración en el caso del edificio de Reactivos. Estas instalaciones deberán de cumplir en todo momento el RITE.

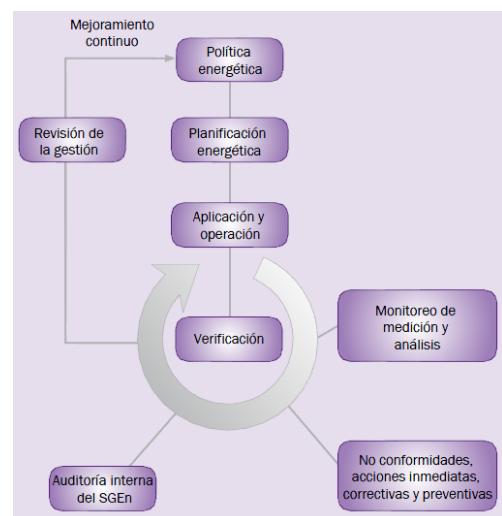
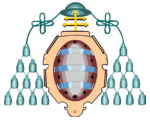


Figura 29. Modelo de sistema de la gestión de la energía.



### 3.6.4 Mejoras en la ETAP mediante la implantación de un sistema de gestión energética.

Se entiende por gestión energética la medida y el seguimiento de una forma continua del consumo de energía útil, de la compra de energía final eléctrica, de los costes energéticos y de los indicadores de rendimiento y eficiencia energética de la ETAP, de los procesos y de los equipos que conforman la misma. En función de los diferentes grados de gestión energética que se lleven a cabo en la ETAP se podrán obtener ahorros energéticos y económicos más o menos significativos y promocionar por tanto en la misma:

- Políticas energéticas y un mayor grado de implicación de la dirección.
- Sistemas de control energético que permitan conocer los consumos energéticos de las diferentes energías de los procesos de la ETAP o de servicios para los edificios de la misma.
- Recursos de personal y económicos dedicados a la gestión energética en la ETAP.
- Sistemas de gestión energética que permitan proponer objetivos y hacer un seguimiento de estos sistemas mediante la concienciación del personal de la ETAP y de su grado de implicación (figura 29).

### 3.6.5 Ahorro de energía primaria en la ETAP y grado de sostenibilidad.

Una vez evaluadas las posibilidades de reducción de consumo de energía eléctrica en la ETAP, es el momento de estudiar la manera más sostenible de intentar abastecerse de parte de esa energía. En la ETAP se ha identificado la previabilidad de implantar sistemas de climatización de lazo abierto agua-aire aprovechando la temperatura media del agua bruta y del agua tratada de 10 °C durante el invierno y 17 °C durante el verano. Además se podría implantar para su funcionamiento durante el verano de un sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria para los edificios de Administración y Control y de Reactivos. Estos sistemas necesitarían de un posterior estudio específico de viabilidad.

### 3.7 Descripción técnica de las propuestas de mejora.

Debido a que la ETAP utiliza solamente como fuente de energía la electricidad, y que la mayoría de las transformaciones que sufre esta energía final son a través de accionamientos eléctricos hay que identificar las variables que afectan al coste energético durante el funcionamiento de los mismos. La descripción técnica de las mejoras debe permitir al responsable de la ETAP entender el funcionamiento del equipo o sistema, tanto en la parte del principio físico que se refiere a las transformaciones energéticas que tienen lugar, como el principio tecnológico de la propuesta aplicada que se refiere al funcionamiento de los equipos o elementos que permiten las

transformaciones energéticas. Por tanto se intenta en esta sección la descripción de estos dos conceptos de modo que permitan al responsable de la ETAP comprender los principios fundamentales que hacen que el sistema aplicado comporte una reducción del consumo energético.

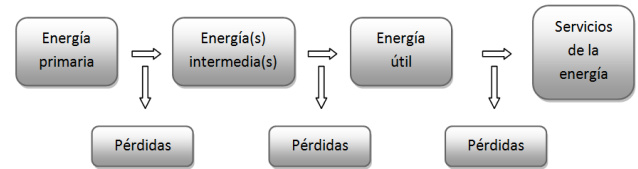


Figura 30. Proceso de utilización de la energía.

En la figura 30 se muestra el proceso que se sigue en cualquier utilización de la energía. La energía primaria sufre varias transformaciones hasta que se convierte en energía útil, la cual es la que proporciona el servicio o la prestación que se busca: bombear agua, elevar una carga, etc. Este proceso es general y sirve en cualquier aprovechamiento de energía, no sólo en los accionamientos. Realmente sólo interesan los servicios que la energía puede proporcionar, no la energía en sí misma. El ahorro de energía consiste en dar los mismos servicios con el mínimo consumo de energía.

Un accionamiento eléctrico es una utilización de la energía en la que se obtiene un servicio mediante un sistema en movimiento, el cual es producido por un motor eléctrico.

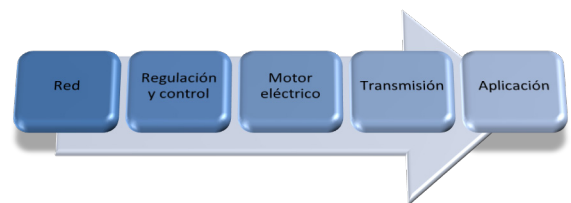


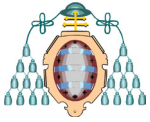
Figura 31. Elementos de un accionamiento eléctrico.

Un accionamiento eléctrico consta de los elementos indicados en la figura 31:

- Red eléctrica.
- Sistema de control y regulación (si lo hay).
- Motor eléctrico.
- Sistema de transmisión: directa, por correa, por cadena, tren de engranajes,...
- Aplicación: Bomba, grúa, tranvía,...
- Servicio: Flujo de agua, elevación de cargas, circulación de aire, transporte,...

Existen cinco conceptos básicos a considerar cuando se busca un ahorro energético en un accionamiento:

- La cantidad total de energía consumida en los accionamientos es muy importante y existe un gran potencial de ahorro energético en ellos.



- A la hora de diseñar medidas para el ahorro de energía se debe pensar en todo el sistema, no únicamente en el motor.
- Interesa conseguir prestaciones o servicios que proporcionen la energía, no la energía en sí misma. Siempre hay que pensar primero en el mejor sistema para obtener un servicio y después optimizar éste.
- Cuánto más energía se ahorre al final del proceso, mayor ahorro global se consigue porque hay más pérdidas que se ven reducidas.
- Hay que emplear medidas de ahorro integradas. Muchas medidas de ahorro son independientes y es preciso examinarlas conjuntamente.

Una de las medidas para el ahorro de energía en la carga es elegir correctamente los motores que las accionan. Las demás medidas que se pueden implementar para ahorrar energía en la carga dependen de su tipo. Algunos ejemplos de estos tipos de carga son:

- Velocidad y par constantes (existe un único punto de funcionamiento): Ventiladores de volumen de aire constante, bombas de circulación...
- Velocidad constante y par variable: Sierras, escaleras mecánicas,...
- Par decreciente.
- Potencia lineal (par constante): Montacargas, grúas ascensores,...
- Potencia cuadrática (par lineal): Mezcladoras.
- Potencia cúbica (par cuadrático, aunque a velocidades pequeñas la variación del par con la velocidad se puede apartarse de la ley cuadrática): Ventiladores, bombas, compresores,...

En las aplicaciones a velocidad constante es más difícil conseguir ahorros de energía que en las de velocidad variable. En estas cargas se puede pensar en convertirlas a velocidad variable si la plena carga sólo se necesita en ciertos momentos, pero resulta una potencia excesiva en otros. Si la velocidad y el par son constantes hay que procurar dejarlas desconectadas en los momentos que no se necesiten. En las cargas de velocidad constante y par variable se puede reducir el consumo de energía para pares pequeños mediante un controlador del factor de potencia que reduce la tensión y el consumo de corriente reactiva. También se pueden emplear variadores de frecuencia para reducir el consumo de energía con cargas pequeñas, pero no suele compensar económicamente.

Se denomina transmisión al elemento encargado de acoplar el motor con la carga, lo que permite transmitir potencia mecánica entre ellos. En algunos casos las velocidades de entrada ( $n_e$ ) y de salida ( $n_s$ ) son diferentes:

- $n_s > n_e$ : multiplicadores
- $n_s < n_e$ : reductores
- $n_s = n_e$ : acoplamiento
- $n_s/n_e$ : variadores de velocidad mecánicos

Los rendimientos en la transmisión oscilan entre el 70% y el 98%. Es peor cuanto más diferentes son las velocidades

de entrada y de salida. La variación mecánica de velocidad tiene grandes pérdidas, es mejor el acoplamiento directo y la variación electrónica de la velocidad [9].

En la mayoría de las propuestas de mejora para la ETAP se propone la sustitución de los motores eléctricos trifásicos de inducción actuales por motores eléctricos trifásicos de inducción de alta eficiencia. Los motores de alta eficiencia son motores de diseño y construcción más cuidadosos que los motores estándar para conseguir que tengan menos pérdidas y, consecuentemente mejor rendimiento.

La eficiencia de un motor eléctrico se define generalmente por:

$$\eta_{motor\ eléctrico} = \frac{Potencia\ mecánica\ de\ salida}{Potencia\ absorbida\ eléctrica}$$

La diferencia entre la energía mecánica de salida y la energía eléctrica de entrada es debida a las pérdidas que se producen en una máquina eléctrica: pérdidas eléctricas, pérdidas magnéticas, las pérdidas mecánicas y las pérdidas de carga.

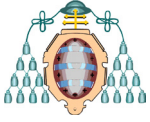
Estos motores de alta eficiencia tienen un diseño y construcción especial para reducir las pérdidas en ellos. Al tener menores pérdidas, estos motores suelen tener menor deslizamiento, luego, giran a más velocidad (no siempre). Por otra parte, los pares y corrientes de arranque y máximo quedan modificados con respecto a un motor estándar. Estos motores son más caros, voluminosos y pesados y suelen ser más robustos y duraderos. Los motores de inducción más eficientes que existen en el mercado a día de hoy tienen una eficiencia superior a los requisitos mínimos de los motores IE3 (por encima del 93,4%).

Hacer un cálculo bastante aproximado de la energía ahorrada y el tiempo de amortización, en el caso de elegir un motor eficiente en vez de uno convencional, no ofrece demasiada complejidad. A continuación se presenta la evaluación de estos conceptos:

$$\nabla W = P_N * F_C * \left( \frac{1}{\eta_{EST}} - \frac{1}{\eta_{EF}} \right) * t_s$$

$\nabla W$	es el ahorro energético en kWh
$P_N$	es la potencia nominal del motor en kW
$F_C$	es la fracción de plena carga a la que trabaja el motor
$\eta$	es el rendimiento
$EST$	es el motor estándar
$EF$	es el motor de alta eficiencia
$t_s$	es el tiempo de servicio, horas de trabajo del motor por año
	$Ahorro = \nabla W * tarifa$
$tarifa$	es el coste de la electricidad (€/kWh)

$$t_{AMORT} = \frac{C_{EF} - C_{EST}}{Ahorro} * t_s$$



$t_{AMORT}$  es el tiempo de amortización en horas de funcionamiento del sobrepeso del motor  
 $C_{EF}$  es el coste del motor estándar  
 $C_{EST}$  es el coste del motor de alta eficiencia

Si no se conoce la eficiencia del motor existente en la actualidad, una estimación razonable será suponer una eficiencia energética en el límite entre las de las clases EFF2 y EFF3 para un motor que nunca se ha reparado. Si el motor se ha reparado, se debe considerar una pérdida adicional del 1% por cada reparación. Si se opera por debajo del 100% de la carga, se utilizarán los valores de la eficiencia para cargas parciales. Los fabricantes presentan en sus folletos los valores para eficiencia para el 75% y el 50% de la plena carga. Por otro lado, el tiempo de amortización del sobrepeso de un motor eléctrico IE3 dependerá del precio de la energía eléctrica, a mayor precio de la energía con menos tiempo se recuperará este sobrecoste y al revés. Como ventajas de los motores eléctricos IE3 para su implementación por una empresa se podrían citar: un menor consumo energético, tiempo de retorno de la inversión generalmente corto, reducción de la factura eléctrica, modernización del equipo productivo, mejora del mantenimiento, reducción de impacto ambiental por el ahorro del consumo energético y la preservación de recursos para generaciones futuras, y aumento de la productividad y competitividad de la empresa. La sustitución de motores eléctricos antiguos por este tipo de motores conlleva también una serie de beneficios macroeconómicos como una menor dependencia del petróleo, más puestos de trabajo en empresas consultoras, en proveedores de equipos, una mayor estabilidad económica, una, la mejora de la balanza comercial y la reducción de la inflación [10].

Algunas de las propuestas para la mejora del consumo energético de alguno de los equipos de la ETAP es la instalación de un variador de frecuencia que es un sistema diseñado para controlar la velocidad de motores eléctricos variando la frecuencia y el voltaje aplicado al estator con el fin de reducir su velocidad. De esta forma, el variador permite a las máquinas conducidas por los motores eléctricos producir la misma salida que obtendrían utilizando otros métodos de regulación, pero consumiendo menos potencia de entrada.

Consecuentemente, el ahorro de energía que se obtiene es importante y cada vez son más los usuarios que apuestan por este método de control. Las mejores oportunidades de ahorro se consiguen en las máquinas que operan a carga parcial durante grandes periodos de tiempo. El uso de esta tecnología aporta otros beneficios adicionales, como son la mejora de la calidad del producto y fiabilidad del sistema, o la prolongación de la vida de los equipos.

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, hay que tener en

cuenta los siguientes aspectos: tipo de carga, tipo de motor, rango de funcionamiento con un análisis de la velocidad máxima y mínima para verificar la necesidad de refrigeración por ventilación forzada del motor, par en el arranque, aplicación multimotor, condiciones ambientales, consideraciones de la red y de la aplicación, etc.

Otras mejoras para la ETAP están relacionadas con los sistemas de bombeo asociados a muchos de sus procesos. Las leyes de afinidad que aparecen a continuación describen la relación entre la velocidad de rotación de la bomba ( $n$ ), el caudal ( $Q$ ), la altura generada ( $H$ ) y la potencia absorbida ( $P$ ).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Cuando están en uso, las bombas siempre forman parte de un sistema de bombeo, que suele constar de una red de tuberías, tanques, válvulas y otros elementos del sistema. Los sistemas de bombeo casi siempre necesitan una variación de caudal. Sin embargo, la variación necesaria puede estar en la altura de la bomba, como ocurre con los cambios cíclicos en la presión de proceso o en el bombeo a tanques con un nivel de líquido variable.

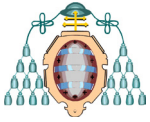
A pesar de las variaciones, la capacidad de la bomba se selecciona según la altura y el flujo máximos, o incluso según las necesidades futuras, con cierto margen de seguridad. La capacidad media de bombeo puede ser tan sólo una fracción de la capacidad máxima, y eso exigirá algún tipo de control. Hay varios métodos (básicamente cuatro) para adaptar el flujo a los requisitos del sistema (figura 32). Los métodos de control de caudal más comunes para las bombas son la regulación por válvula en la impulsión, regulación por by-pass, el control de encendido/apagado y el control por variación de velocidad del accionamiento, normalmente un motor eléctrico.

El control o regulación del caudal de bombeo mediante válvula en la impulsión es el método más utilizado, de modo que el flujo causado por la bomba de velocidad constante se reduce al cerrar la válvula, lo que aumenta las pérdidas del sistema de bombeo.

Un método alternativo de regulación es la utilización de una válvula en paralelo o by-pass. En este caso se produce una recirculación del flujo a través de la válvula que hace que disminuya el caudal enviado al circuito, al enviar parte del flujo de descarga de la bomba hacia la aspiración de la misma. En ambos casos se desperdicia una cierta cantidad de energía.

El control de encendido/apagado se suele utilizar cuando no se necesita un control progresivo, como el





mantener la presión en un tanque entre límites establecidos. La bomba está en funcionamiento o parada. El flujo medio es la relación entre el tiempo de encendido y el tiempo total (encendido + apagado).

El control por variación de la velocidad de accionamiento desde el punto de vista energético es el óptimo, sobre todo si se va a trabajar a menudo fuera del punto de diseño, pero a veces también tiene algunos inconvenientes. En el punto de máximo rendimiento las pérdidas de energía del sistema de variación de la velocidad lo hacen menos eficaz que una bomba bien seleccionada [11].

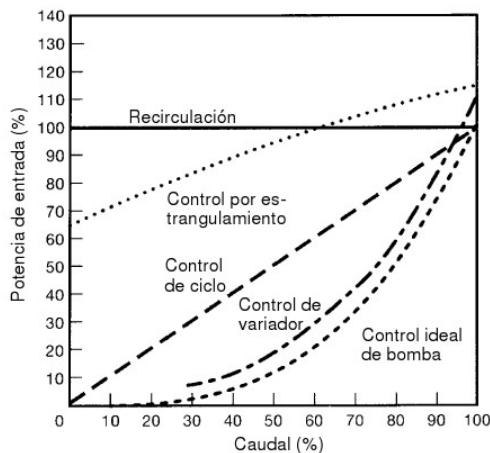


Figura 32. Métodos de control para la regulación de caudal de un sistema de bombeo.

Este tipo de aplicaciones que son cargas de velocidad variable son las más susceptibles de permitir un mayor ahorro de energía. Nos referiremos a las cargas de potencia cúbica (bombas, ventiladores y compresores), que son las más frecuentes en la ETAP. En estas cargas, al aumentar la velocidad aumentan cúbicamente los rozamientos dentro de las tuberías y/o los conductores por donde debe circular el fluido a mover. Reducir la velocidad en estas cargas da lugar a un ahorro de energía. Por lo tanto, es preferible funcionar con una velocidad reducida durante más tiempo (por ejemplo, para llenar un depósito) que a más velocidad durante un tiempo reducido y luego tener parada la máquina. Es preciso analizar, pues, el ciclo de funcionamiento. Un correcto diseño del recorrido de las canalizaciones y una acertada selección de las mismas también reducen las pérdidas.

Para entender las ventajas del control por variación de la velocidad hay que tener en cuenta las curvas de rendimiento. Con sistemas de altura estática baja, el rendimiento óptimo de la bomba sigue la curva de sistema. Con el control por variación de la velocidad de accionamiento, el punto de servicio de la bomba sigue la curva de sistema, sin cambios. Si se cambia la velocidad de la bomba, las curvas de rendimiento de la misma se moverán de acuerdo con las leyes de afinidad. Si la velocidad del impulsor de la bomba se reduce, la curva de

rendimiento se mueve hacia abajo. Si la velocidad aumenta, se mueve hacia arriba. Esto significa que la capacidad de bombeo coincide exactamente con los requisitos del proceso.

De este modo se muestra que el método de control de velocidad variable es el que ahorra más energía en las aplicaciones de bombeo. El control de estrangulamiento conlleva una gran pérdida en la bomba y la válvula cuando el sistema funciona con un caudal reducido. La pérdida en el motor permanecerá relativamente constante a lo largo de todo el rango de flujos. En el control por velocidad variable, el punto de funcionamiento sigue la curva de sistema, lo que resulta óptimo para el rendimiento de la bomba. En general, según las leyes de afinidad, el consumo de energía cae drásticamente cuando se reduce la velocidad, y el ahorro de energía con el control mediante variador de velocidad resulta por tanto significativo.

Las ventajas del uso de un convertidor de frecuencia en las aplicaciones de bombeo se puede resumir en los siguientes puntos: ahorro de energía, ahorro de materia prima en los procesos como en los sistemas de dosificación, reducción de los costes de mantenimiento, y reducción de condensadores de compensación de energía reactiva, ya que el control mediante un convertidor de frecuencia mejora el factor de potencia haciendo innecesario el uso de los condensadores de compensación.

### 3.8 Evaluación energética de las propuestas de mejora.

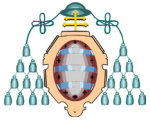
A partir de las propuestas de mejora definidas, el siguiente paso a realizar dentro de la evolución de la auditoría energética para la ETAP es evaluar los nuevos consumos una vez implantadas estas actuaciones. Este proceso ha consistido en hacer una simulación energética de manera que se evalúen los consumos de energía y las compras en la situación futura una vez instalados los nuevos equipos o sistemas y compararlas con la situación de referencia que se había establecido para la ETAP. Se ha partido de las características técnicas y de los rendimientos energéticos de los equipos definidos en las propuestas de mejora, y se simula el funcionamiento futuro adaptado al programa de trabajo definido de la ETAP.

#### 3.8.1 Energía de proceso o de servicios.

La energía de proceso o servicios es la energía necesaria con el fin de abastecer las necesidades energéticas de la ETAP. Es la energía que ya no debe ser sometida a ninguna otra transformación y que, por tanto, no tiene pérdidas. La energía de proceso o servicios que se ha considerado a la hora de hacer la cuantificación energética de mejoras, es la definida en la situación de referencia para la ETAP que ya se ha comentado.

Mediante un nuevo análisis para la situación futura de la ETAP, la nueva distribución de la energía necesaria final eléctrica como se aprecia en el gráfico de la figura 33 se





distribuye de forma que aporta un 80% para responder a las necesidades de energía útil planteadas en la situación de referencia con un 20% aún de pérdidas de energía en los procesos y edificios de la ETAP debido al empleo en muchas aplicaciones de los mismos equipos transformadores de energía en los cuales solamente se ha cambiado algún componente como es el caso de los accionamientos mediante reductoras.

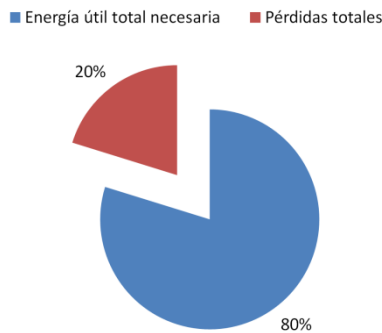


Figura 33. Balance energético global para la ETAP en la situación futura.

En el gráfico de la figura 34 se muestra que en las Líneas de Agua y de Lodos mediante la aplicación de las propuestas de mejora se ha conseguido una reducción mucho mayor de las pérdidas energéticas, mientras que para los equipos auxiliares debido a la sustitución del grupo de presión para la regulación varibar se ha reducido en una parte muy importante la energía útil requerida y la energía final eléctrica consumida manteniéndose las pérdidas residuales de los demás equipos, no pudiendo ser la reducción tan importante como en los demás equipos de la planta.

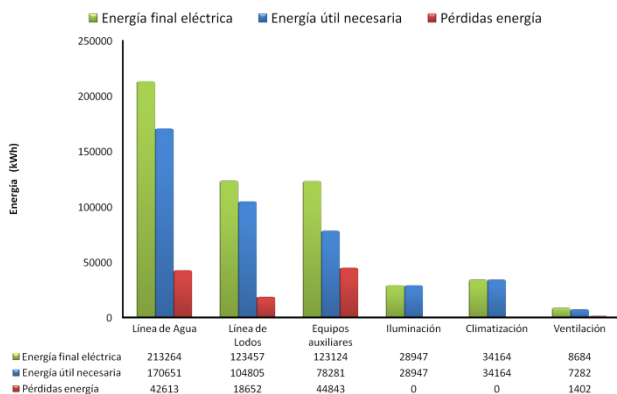


Figura 34. Nueva distribución de energía final eléctrica, útil y de pérdidas según los equipos implicados para la situación futura de la ETAP.

### 3.8.2 Rendimiento de los equipos o del proceso y necesidades energéticas.

El factor probablemente de mayor relevancia a la hora de realizar la evaluación energética en la ETAP es el tipo de proceso y el rendimiento de los equipos implicados en la propuesta de mejora. Todos los equipos transformadores de energía de la ETAP tienen unas pérdidas asociadas a las

transformaciones energéticas y, en muchos casos, estos rendimientos varían en función de la carga de trabajo o del proceso energético utilizado. El rendimiento del equipo se ha obtenido de algún fabricante y, en general, se debió considerar el rendimiento en función de la carga, aplicando los valores correspondientes a la curva de demanda del centro. En el caso de las variaciones de proceso propuestas en la ETAP, se tuvieron en cuenta todos los equipos asociados al nuevo proceso, con sus respectivos rendimientos. Es en este punto donde se encuentran la mayoría de los ahorros energéticos obtenidos, ya que las propuestas de mejora suponen en su mayoría mejora en el rendimiento de los equipos transformadores de energía de la ETAP. También es importante al realizar los análisis con detalle, considerar los rendimientos de los equipos a cargas parciales, ya que estos tenían bastante influencia en los resultados finales.

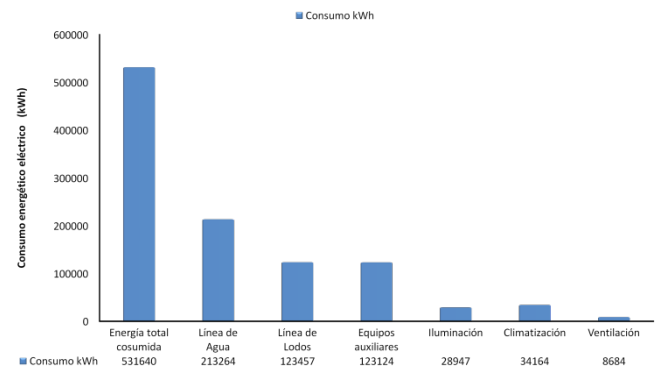
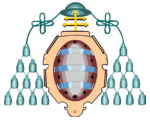


Figura 35. Energía final eléctrica necesaria y su distribución por procesos y edificios para la situación futura de la ETAP.

### 3.8.3 Compras o necesidades de energía final eléctrica futura.

Las compras de energía o energía final eléctrica futura se refieren a la cantidad de energía que se debe adquirir en la compañía distribuidora o comercializadora, para satisfacer las necesidades energéticas de los equipos o procesos para la ETAP, considerando las transformaciones propias del sistema que han conllevado un cambio en las condiciones técnicas de la energía final eléctrica adquirida, y que por lo tanto conllevan variaciones en el balance energético. Se aplicaron los rendimientos de los equipos principales de la ETAP que están implicados en las propuestas de mejora, aunque no sean modificados o sustituidos, pero que, por el hecho de trabajar en diferentes condiciones, pueden tener un comportamiento energético diferente, variando su rendimiento. A partir de esta evaluación, ya se puede realizar la comparación de la nueva situación energética con la situación de referencia.

En el gráfico de la figura 35 se muestran las nuevas necesidades de energía eléctrica para la planta en la situación futura tanto de forma global como para las líneas de tratamiento, equipos auxiliares y para los edificios de la ETAP, y que de forma total ascenderían a 531.640 kWh de



energía final eléctrica. También podemos realizar un análisis de como toda esta energía se distribuiría mensualmente según el programa habitual de trabajo para la ETAP de modo que quedaría como se muestra en el gráfico de la figura 36, del que se infiere una distribución muy diferente debida a las mejoras en relación con la nueva distribución de los consumos al reducir las estacionalidades del nivel de tratamiento para la Línea de Lodos.

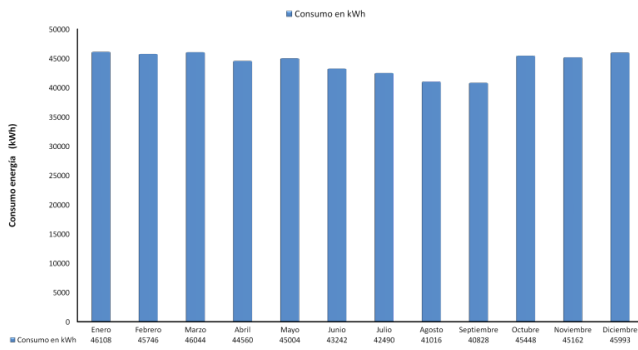


Figura 36. Distribución mensual del consumo energético en la situación futura para la ETAP.

También se puede analizar mediante la observación del gráfico de la figura 37 la distribución porcentual de este consumo energético según los equipos de la planta para la nueva situación futura, de manera que en este caso a la Línea de Agua le corresponde una mayor proporción de este consumo energético total.

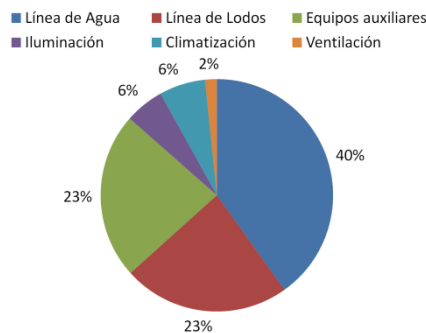


Figura 37. Distribución de los consumos energéticos según los equipos para la situación futura de la ETAP.

Podemos observar también mediante el gráfico de la figura 38 que toda la energía consumida en esta nueva situación futura se sigue repartiendo en un 86% para el consumo energético de los equipos de los procesos de tratamiento y de los equipos auxiliares, con un 14% restante para el consumo energético de los edificios que componen la ETAP.

La distribución de la energía consumida por los procesos de las líneas de tratamiento y de los equipos auxiliares se visualiza en el gráfico de la figura 39 de modo que en la nueva situación futura el reparto es del 46% para la Línea de Agua, con un 27% para la Línea de Lodos y otro 27% para los equipos auxiliares.

En cuanto a la energía que se consumiría en los Edificios de la ETAP se distribuiría de la forma en que se presenta en el gráfico de la figura 40, con un 40% para la Iluminación, un 48% para la calefacción de las zonas de reactivos y calefacción y refrigeración para el edificio de administración y control, además de un 12% restante en ventilación de las zonas de purgas y galería de agua filtrada.

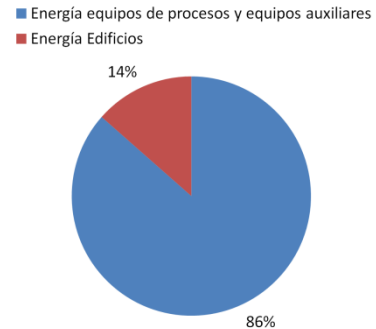


Figura 38. Distribución porcentual del consumo energético en la situación futura para la ETAP.

### 3.8.4 Ahorro energético de las propuestas de mejora.

El ahorro energético resultado de las propuestas de mejora para la ETAP, se obtuvo como diferencia entre las energías finales compradas en la situación de referencia, para satisfacer la demanda de energía de proceso o de servicios establecida y las energías finales compradas en la situación obtenida una vez implantada las mejoras.

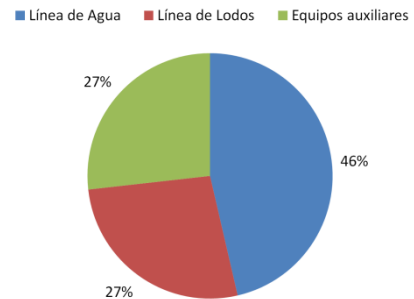


Figura 39. Distribución del consumo energético para las líneas de tratamiento y equipos auxiliares en la situación futura para la ETAP.

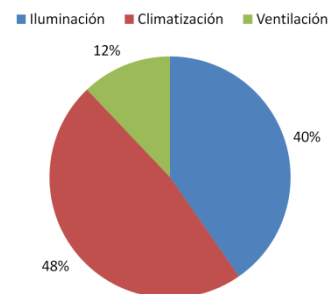
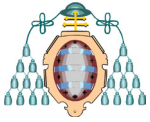


Figura 40. Distribución de la energía consumida por los edificios en la situación futura para la ETAP.

El ahorro energético se refirió a todas las energías implicadas en los procesos propios de la ETAP y que, en



algunas ocasiones, pudo comportar disminuciones de un tipo de energía y aumentos de otro tipo de energía como en el caso de la posible automatización neumática de las válvulas de salida de agua filtrada. En el gráfico de la figura 41 se muestran los ahorros en términos energéticos a los que se llegaría en la ETAP si se implantasen las propuestas de mejora que se proponen en esta auditoría energética. Como se muestra se conseguiría un ahorro energético total de 611.506 kWh al año, que supone un 53,49% respecto a la situación actual de la ETAP.

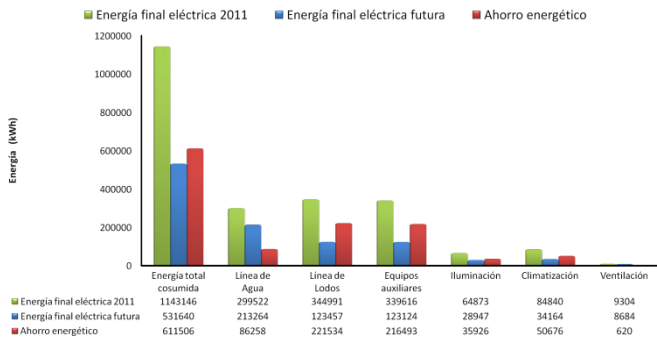


Figura 41. Ahorros de energía para la situación futura de la ETAP.

El consumo energético posterior a la implantación de cada una de las mejoras se indica en las tablas 11 - 16 junto al ahorro energético anual, el ahorro económico anual, la inversión asociada, el periodo de retorno de la inversión y otros índices de valoración de la mejora propuesta. El consumo energético una vez aplicada la propuesta de mejora no se ha podido estimar en todos los casos de manera cuantitativa. Hay propuestas de mejora que, por su naturaleza o por su alcance, resulta realmente complejo definir el consumo energético que tendrán. Es el caso de las propuestas relacionadas con la automatización por ejemplo, donde la evaluación energética se debe basar en técnicas de benchmarking, de manera que los valores de ahorro energético se obtuvieron a partir de valores porcentuales obtenidos de experiencias previas. Una fuente de referencia para obtener parámetros de estimación de ahorros energéticos es el documento Reference Document Best Available Techniques for Energy Efficiency [12].

### 3.9 Evaluación económica de las propuestas de mejora.

La evaluación económica debe permitir conocer los costes totales que tendrá el funcionamiento de la ETAP, desde el punto de vista energético, una vez implantadas las propuestas de mejora. Debe comprender los conceptos que incluyen estos costes energéticos y la metodología que se ha empleado para obtenerlos. A partir de estos nuevos costes y por diferencia con los costes de la situación de referencia para la ETAP, se obtienen los ahorros económicos finales debidos a la implantación de las mejoras y los parámetros financieros que permitirán a los responsables

energéticos de la ETAP tomar la decisión de analizar con más detalle las propuestas de mejora o acometer directamente la inversión de las mismas. Dentro del análisis económico de las propuestas de mejora para la ETAP se han considerado solamente los costes energéticos dentro de estos cuatro parámetros que pueden verse afectados por su implantación:

- Costes energéticos. Se evalúan como costes reales que tendrá la ETAP una vez implantada la propuesta de mejora.
- Costes de operación: incluyen el aumento o disminución de costes respecto a la situación de referencia resultado de la implantación de las propuestas de mejora. Se refieren, en general, a costes de personal o de materia prima, que en este caso por la situación de este centro de trabajo van a continuar siendo los mismos.
- Costes de mantenimiento: incluyen el aumento o disminución de costes respecto a la situación de referencia resultado de la implantación de las propuestas de mejoras, que en el caso de la ETAP la asignación económica mensual para este apartado va a continuar siendo la misma.
- Costes financieros: se considerarán en casos en que los responsables del centro lleven a cabo las inversiones, no teniéndose en cuenta en este caso para el momento actual.

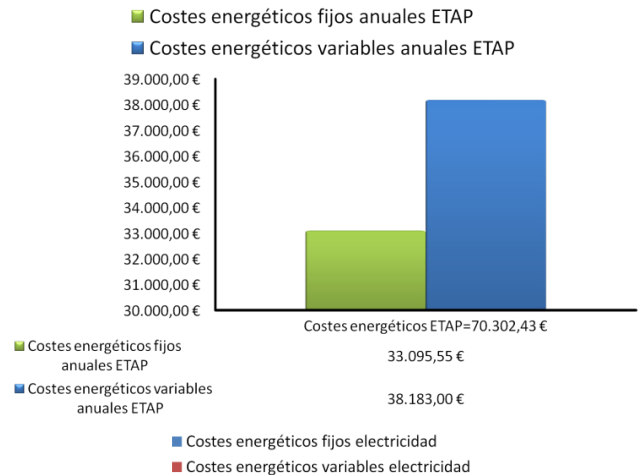
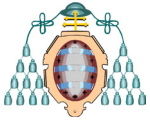


Figura 42. Distribución de costes energéticos fijos y variables para la situación futura de la ETAP.



### 3.9.1 Costes energéticos en la situación futura de la ETAP.

La evaluación de los costes energéticos tiene como objetivo conocer los gastos en concepto de energía una vez implantada la propuesta de mejora. A partir de los consumos energéticos evaluados anteriormente, y aplicando los precios energéticos y la metodología definida en el escenario económico de referencia para la ETAP, se calculan los costes energéticos en la nueva situación futura. El coste energético de cada propuesta de mejora se indica en las tablas 11 -16 junto a los ahorros energéticos, ahorros económicos, etc. Los costes energéticos futuros deben tener en cuenta toda la energía que se deberá comprar para la ETAP al aplicar las propuestas de mejora, y que serían de 70.302,43 €. En el gráfico de la figura 42 se muestra la distribución de estos costes totales energéticos en fijos y variables con un resultado porcentual de un 46% para los costes fijos y un 54% para los costes variables.

A la hora de evaluar los costes de la electricidad se deberá tener en cuenta las posibles variaciones en la distribución anual (o por períodos), en la potencia absorbida y contratada, o en la calidad de la energía consumida (complemento por energía reactiva), ya que los resultados obtenidos pueden variar sensiblemente.

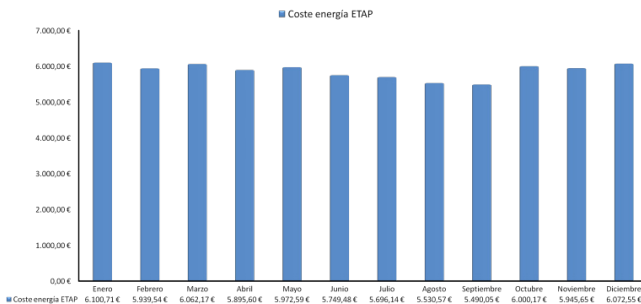


Figura 43. Distribución mensual del coste de energía eléctrica en la situación futura para la ETAP.

Los precios que se utilizarán serán siempre los definidos en el escenario económico. En caso de que la propuesta de mejora no modifique términos de facturación como puede ser la distribución anual o diaria (por períodos), la potencia máxima registrada o energía reactiva consumida, se puede evaluar los costes de electricidad a partir de precios medios del término de energía. En caso de que haya modificaciones de curvas diarias o cambios sustanciales de potencias máximas, hay que hacer simulaciones de las facturas eléctricas considerando todos los términos especificados en el contrato.

Si se analiza estos costes energéticos mensualmente según el programa de trabajo de la ETAP nos quedaría una distribución como la que se muestra en el gráfico de la figura 43, la cual es mucho más uniforme.

### 3.9.2 Costes de operación y mantenimiento.

La evaluación económica de una propuesta de mejora debe tener en cuenta también las variaciones de los costes

de operación y mantenimiento en la situación prevista, ya que éstos pueden influir en su viabilidad económica. Los costes de operación se tienen en cuenta cuando puede haber incremento de la plantilla para de operar nuevos equipos o equipos que necesiten una supervisión continua o las variaciones de materiales. Los precios aplicados son los habituales en el centro analizado, aunque se pueden tener precios-patrón para tipologías de operadores. Los costes de mantenimiento se obtienen normalmente basándose en estimaciones o en datos de fabricantes, en el caso de equipos principales. Hay que considerar los mantenimientos preventivos y predictivos mientras que no se hacen estimaciones para considerar costes de mantenimiento correctivo. En el caso de la ETAP no se consideran estos costes porque la asignación mensual para esta partida va a continuar siendo la misma.

### 3.9.3 Costes financieros.

Se considerarán como costes financieros los derivados de la obtención del capital para llevar a cabo la inversión. Esta se indica para cada propuesta de mejora en las tablas 11 – 16 junto al coste energético futura, el ahorro económico, etc. En general, estos costes no se consideran en una auditoría energética ya que formarían parte de un análisis más en profundidad, y tampoco lo hemos realizado en el caso de la ETAP. Sin embargo, en caso de que se quiera aplicar costes financieros, se suelen incluir los costes de solicitud de préstamos, en el supuesto de que la inversión asociada a la propuesta de mejora se cubra mediante un crédito bancario. La evaluación económica de la mejora se simulará en un periodo plurianual de devolución a un período de tiempo determinado, que suele ser entre 10 y 25 años. El análisis incluirá durante el período de explotación determinado los siguientes conceptos:

- Cantidad a financiar.
- Plazo del crédito.
- Tasa de interés.
- Tipo de devolución: en general, se considera anualidad fija.
- Gastos de apertura de crédito.
- Gastos amortización del capital.
- Gastos en concepto de intereses.

### 3.9.4 Evaluación del ahorro económico.

El ahorro económico derivado de la implantación de las propuestas de mejora para la ETAP se obtiene como diferencia entre los costes actuales y los costes futuros. En el gráfico de la figura 44 se muestra el ahorro económico total anual que se conseguiría tras la implantación de las mejoras propuestas en la ETAP, y que ascendería a 67.680,61 € anuales, que representa un 49,05% respecto a la situación actual. Las evaluaciones económicas se realizan como base para un periodo de un año, por lo que el valor de referencia para el ahorro económico es el ahorro anual.

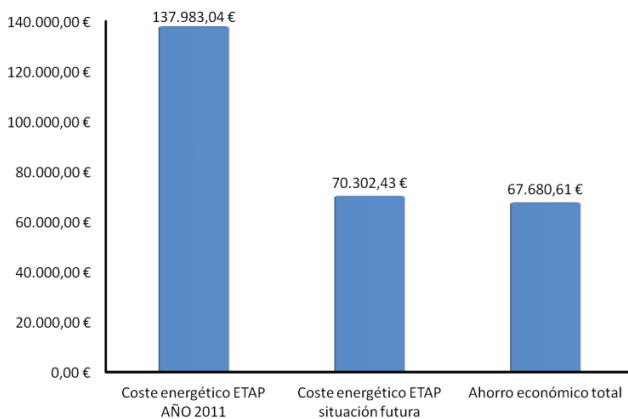
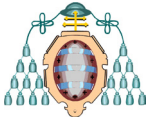


Figura 44. Costes energéticos anuales y ahorro económico total anual para la implantación de las mejoras propuestas en la ETAP.

El ahorro económico para cada propuesta de mejora se indica en las tablas 11 - 16 junto al ahorro energético, inversión, etc. Una vez que se evaluó el ahorro económico asociado a la propuesta de mejora, se obtuvo para cada una el porcentaje que implica este ahorro respecto a los costes energéticos totales de la ETAP definidos en la situación de referencia. Este porcentaje que también se indica en las tablas 11 - 16, y permitirá a los responsables de la ETAP conocer el peso específico, en términos económicos, que implica la implantación de la propuesta de mejora estudiada. En el caso de considerar para la evaluación económica un período superior a un año, se considerarán los parámetros de inflaciones que se hayan definido en el escenario económico de referencia para actualizar los costes energéticos, de operación y mantenimiento.

### 3.9.5 Análisis financiero de las propuestas de mejora.

Durante las etapas anteriores de la auditoría energética se han evaluado las variables principales que definen las propuestas de mejora desde el punto de vista económico:

- Inversión asociada a la propuesta de mejora.
- Ahorro económico resultado de la implantación de la propuesta de mejora.

Estas dos variables permiten evaluar algunos parámetros financieros a través de los cuales se define la viabilidad económica y sirven como instrumento para comparar las diferentes propuestas de mejora analizadas para la ETAP. El principal parámetro financiero que se utiliza en una auditoría energética es el período de Retorno de la Inversión (PRI), que permite establecer el tiempo en que se recuperará la inversión sobre la base de los ahorros conseguidos gracias al mejor funcionamiento del equipo o sistema propuesto.

$$PRI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro económico}} (\text{años})$$

El ahorro económico considera el ahorro en costes energéticos y los costes de operación y mantenimiento. No

se consideran los gastos financieros ni los aumentos de producción.

El periodo de retorno de la inversión para las propuestas de mejora de la ETAP se indica en las tablas 11-16 junto al ahorro energético anual, el ahorro económico anual, la inversión, etc. Otros parámetros financieros que se utilizan cuando se trata de analizar con más profundidad una inversión y que en esta auditoría no se han utilizado son:

- Valor Actualizado Neto (VAN).
- Tasa Interna de Rentabilidad (TIR).

La rentabilidad de las mejoras se mide según su inversión asociada, sin ayudas, ya que una mejora ha de ser rentable por sí misma y la subvención sólo se considera una ayuda para disminuir riesgos tecnológicos o para promover la implantación de tecnologías innovadoras. Así pues, en el análisis financiero no se tendrán en cuenta las subvenciones que se puedan conseguir de las administraciones públicas, pero sí se tendrá presente en la presentación del informe a los responsables de la ETAP.

En general, las mejoras que tienen un periodo de retorno de la inversión inferior a 4 años o que suponen una inversión baja suelen ser implantadas en la mayoría de centros. En las tablas 11 - 16 se indican a modo de resumen la evaluación energética y económica de cada una de las propuestas de mejora para la ETAP. En ellas se muestran para cada una de las propuestas de mejora el consumo energético futuro que tendrá, el coste energético de la misma, el ahorro energético anual, el ahorro económico anual, la inversión, el periodo de retorno de la inversión, el porcentaje de ahorro sobre el consumo de energía eléctrica total, el porcentaje de ahorro económico sobre los costes energéticos totales, y las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la propuesta de mejora.

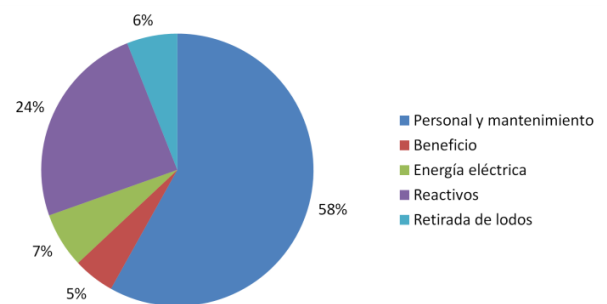
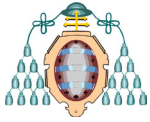


Figura 45. Balance económico global para la situación futura de la ETAP.

### 3.10 Ratios energéticos y económicos en la situación futura.

Una vez implantadas estas mejoras para la ETAP se ha analizado de nuevo el consumo específico de energía final eléctrica relacionando el consumo energético en electricidad en la nueva situación futura con la producción de agua tratada obtenida en m<sup>3</sup> para la situación de





referencia, de manera que se conseguiría un consumo específico de 0,000921 kWh/m<sup>3</sup>.

También se puede utilizar como parámetro de referencia la producción específica por unidad de energía que sería la relación entre la producción establecida en la situación de referencia y el consumo energético en la situación futura para un período de tiempo dado normalmente anual, siendo por tanto el inverso del ratio anterior, resultando un valor de 108,59 m<sup>3</sup>/kWh, con lo que se duplica el volumen

de agua tratada que se obtendría en la situación futura con la utilización en la planta de un kWh de energía eléctrica.

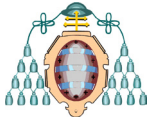
Por otro lado el coste específico en relación con la energía eléctrica se reduciría hasta 0,001218 €/m<sup>3</sup> en la nueva situación futura reduciéndose prácticamente a la mitad. En cuanto al nuevo balance económico para la situación futura de la ETAP se muestra en el gráfico de la figura 45, pasando a ser la contribución del gasto en energía del 7% con una reducción del 5% respecto a la situación del año 2011.

Tabla 11. Resumen de la evaluación energética y económica para las mejoras propuestas para la Línea de Agua de la ETAP.

Mejoras Línea de Agua	Equipo	Consumo energía final eléctrica anual	Coste energía final eléctrica anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€			€	años	
Cambio motor IE3 + variador de velocidad	Agitador rápido	105427	7.379,87	10645	0,92	745,15	1.030,00	1,38	0,93	0,54	2,84
Cambio de motores IE3 + variador de velocidad	Floculadores	83705	5.859,35	62678	5,39	4.387,44	3.732,00	0,85	5,48	3,18	16,73
Cambio motor IE3 + arrancador progresivo	Bombas agua de lavado	36469	2.552,85	2903	0,25	203,18	6.600,00	32,48	0,25	0,15	0,77
Cambio motor IE3 + arrancador progresivo	Ventiladores aire de lavado	38848	2.719,34	3092	0,27	216,43	6.600,00	30,50	0,27	0,16	0,83
Cambio motor IE3	Bombas de trasvase floculante	727	50,91	71	0,01	4,96	50,00	10,08	0,01	0,00	0,02
Cambio motor IE3 + variador de velocidad	Bombas dosificadoras floculante	9834	688,38	6870	0,59	480,88	560,00	1,16	0,60	0,35	1,83

Tabla 12. Resumen de la evaluación energética y económica para las propuestas de mejora para la Línea de Lodos de la ETAP.

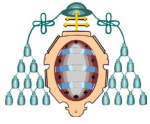
Mejoras Línea de Lodos	Equipo	Consumo energía final eléctrica anual	Coste energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€			€	años	
Sustitución bombas	Bombas de recuperación	70713	4950	45420	3,91	3.179,38	12.450,00	3,92	3,97	2,30	12,13
Sustitución bombas + variador velocidad	Bombas de lodos	15739	1102	61897	5,32	4.332,79	18.700,00	4,32	5,41	3,14	16,53
Sustitución bombas + variador de velocidad	Bombas de polielectrolito	1582	111	2533	0,22	177,31	8.013,00	45,19	0,22	0,13	0,68
Sustitución motor IE3	Bombas vaciado decantador	2888	202	329	0,03	23,03	400,00	17,37	0,03	0,02	0,09
Sustitución motor IE3	Bomba sumergible	1442	101	236	0,02	16,54	360,00	21,77	0,02	0,01	0,06



Sustitución bombas por sumergible	Bombas Espesador 1 a cuba homogeneización	4063	284	3700	0,32	258,99	4.300,00	16,60	0,32	0,19	0,99
Sustitución motor IE3	Agitador de homogeneización	837	59	62	0,01	4,35	95,00	21,84	0,01	0,00	0,02
Sustituir motor IE3	Extractor alveolar	182	13	0	0,00	0,00	86,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sustituir motor IE3+variador velocidad	Dosificador volumétrico cal	250	18	360	0,03	25,18	345,00	13,70	0,03	0,02	0,10
Sustitución de bombas de cal	Bombas de cal	1308	92	97	0,01	6,80	1.800,00	264,90	0,01	0,00	0,03
Sustituir motor IE3	Agitador cuba de cal	1934	135	200	0,02	13,97	88,00	6,30	0,02	0,01	0,05
Sustituir motor + variador velocidad	Agitador cuba tampón	8912	624	8081	0,70	565,70	470,00	0,83	0,71	0,41	2,16
Sustituir motor IE3	Espesador 1	477	33	35	0,00	2,48	95,00	38,30	0,00	0,00	0,01
Sustituir motor IE3	Espesador 2	477	33	35	0,00	2,48	95,00	38,30	0,00	0,00	0,01
Sustitución bombas	Bomba alimentación filtro prensa	6898	483	85504	7,35	5.985,29	54.000,00	9,02	7,48	4,34	22,83
Sustitución motor IE3	Carro arrastre filtro prensa	680	48	50	0,00	3,53	190,00	53,77	0,00	0,00	0,01
Sustitución motor IE3	Cintas transportadoras	1396	98	186	0,02	13,00	746,00	57,38	0,02	0,01	0,05
Sustituir motor IE3 y reducción potencia	Bomba pistones lavado prensas	3560	249	3174	0,27	222,20	0,00	0,00	0,28	0,16	0,85
Sustituir motor IE3	Agitador polielectrolito	118	8	9	0,00	0,61	190,00	310,68	0,00	0,00	0,00

Tabla 13 – Resumen de la evaluación energética y económica para las propuestas de mejora de los equipos auxiliares de la ETAP.

Mejoras Equipos auxiliares	Equipo	Consumo energía final eléctrica anual	Coste energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€			€	años	
Sustituir por grupo de presión con variador	Grupo de presión hidróforo	105426	7379,82	91896	7,90	6.432,71	18.500,00	2,88	8,04	4,66	24,54
Eliminación de este sistema	Grupo de presión varibar	0	0,00	66530	5,72	4.657,07	12.400,00	2,66	5,82	3,38	17,76
Sustitución motor IE3 - fugas - recuperación de calor	Compresores	2307	161,49	3237	0,28	226,60	200,00	0,88	0,28	0,16	0,86
Sustitución bomba motor trifásico IE3	Bombas líneas de aguas laboratorio	14376	1006,35	8592	0,74	601,46	230,00	0,38	0,75	0,44	2,29
Sustitución IE3 - fugas	Compresor de lodos	172	12,06	198	0,02	13,84	84,00	6,07	0,02	0,01	0,05
Sustitución motor IE3	Ventilador de neutralización	120	8,42	12	0,00	0,85	400,00	470,24	0,00	0,00	0,00



Sustitución motor IE3	Agitador de neutralización	703	49,24	102	0,01	7,12	88,00	12,37	0,01	0,01	0,03
Sustituir motor IE3	Bomba neutralización	18	1,27	3	0,00	0,20	86,00	426,60	0,00	0,00	0,00

Tabla 14. Resumen de la evaluación energética y económica para las propuestas de mejora de Iluminación para la ETAP.

Mejoras Iluminación	Equipo	Consumo de energía final eléctrica anual	Coste energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€			€	años	
Cambio a luminarias LED 160 W	Viales exteriores	15200	1064,00	11020	0,95	771,40	19.600,00	25,41	0,96	0,56	2,94
Cambio a focos proyectores LED 100 W	Exterior filtros	552	38,64	2208	0,19	154,56	5.592,00	36,18	0,19	0,11	0,59
Cambio a focos proyectores LED 140 W	Exterior decantadores	2128	148,96	5472	0,47	383,04	8.680,00	22,66	0,48	0,28	1,46
Cambio a focos proyectores LED 140 W	Exteriores obra toma	304	21,28	782	0,07	54,73	1.240,00	22,65	0,07	0,04	0,21
Cambio Tubo LED T8 18 W luminarias edificios	Iluminación interior edificios	10763	753,41	16444	1,41	1.151,05	20.184,00	17,54	1,44	0,83	4,39

Tabla 15. Resumen de la evaluación energética y económica de las propuestas de mejora para la ventilación en la ETAP.

Mejoras Ventilación de edificios	Equipo	Consumo energía final eléctrica anual	Coste energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€			€	años	
Cambio motor IE3	Ventilador galería de purgas	4297	300,77	319	0,03	22,32	95,00	4,26	0,03	0,02	0,09
Cambio motor IE3	Ventilador galería de agua filtrada	4297	300,77	319	0,03	22,32	95,00	4,26	0,03	0,02	0,09
Cambio motor IE3	Ventilador sala de cloración	91	6,36	10	0,00	0,73	86,00	117,67	0,00	0,00	0,00

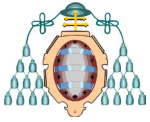


Tabla 16. Resumen de la evaluación energética y económica de las propuestas de mejora para la Calefacción y Refrigeración de los edificios de la ETAP.

Mejoras Calefacción y Refrigeración Edificios	Equipo	Consumo energía final eléctrica anual	Coste energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro energético anual	Ahorro económico anual	Inversión	Periodo de retorno de la inversión	% Ahorro sobre consumo de energía eléctrica total	% Ahorro económico sobre los costes energéticos totales	Emisiones de CO <sub>2</sub>
		kWh	€	kWh	tep	€	€	años	%	%	t/año
Climatización por bomba de calor agua-aire	Edificio Administración y Control	21900	1533,00	27900	2,40	1.953,00	10.800,00	5,53	2,44	1,42	7,45
Climatización por bomba de calor agua-aire	Edificio Reactivos	12264	858,48	22776	1,96	1.594,32	8.760,00	5,49	1,99	1,16	6,08

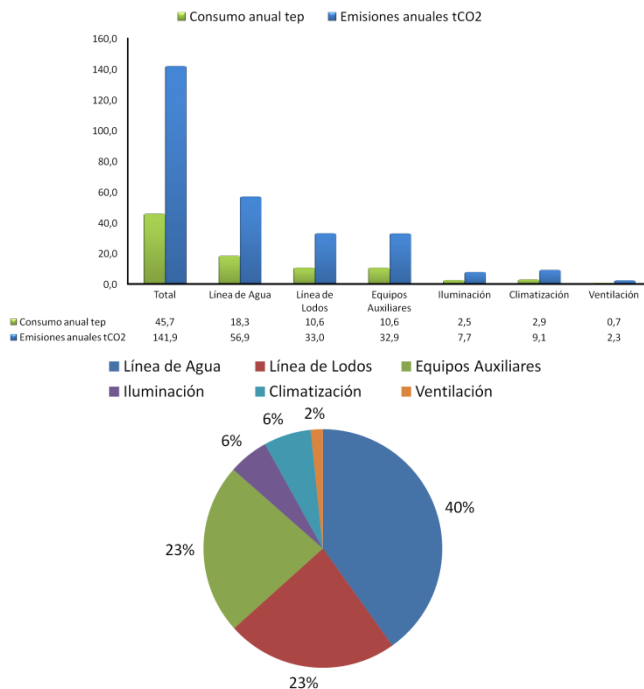


Figura 46. Consumo energético anual y emisiones anuales asociadas junto a su distribución por equipos para la situación futura de la ETAP.

### 3.11 Balance de emisiones en la situación futura para la ETAP y su reducción respecto a la situación actual.

En cuanto al consumo energético anual en tep y las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> totales y para cada proceso y equipos de la planta una vez implantadas las mejoras propuestas para la ETAP, junto con su distribución, se pueden visualizar en el gráfico de la figura 46, resultando unas emisiones asociadas totales al consumo energético de la electricidad en la situación futura de 141,9 t de CO<sub>2</sub>, lo que representa una reducción del 53,51% respecto de las emisiones asociadas para la ETAP en el año 2011, lo cual contribuiría de manera muy importante al objetivo común

del modelo de desarrollo sostenible que tenemos que buscar en el futuro.

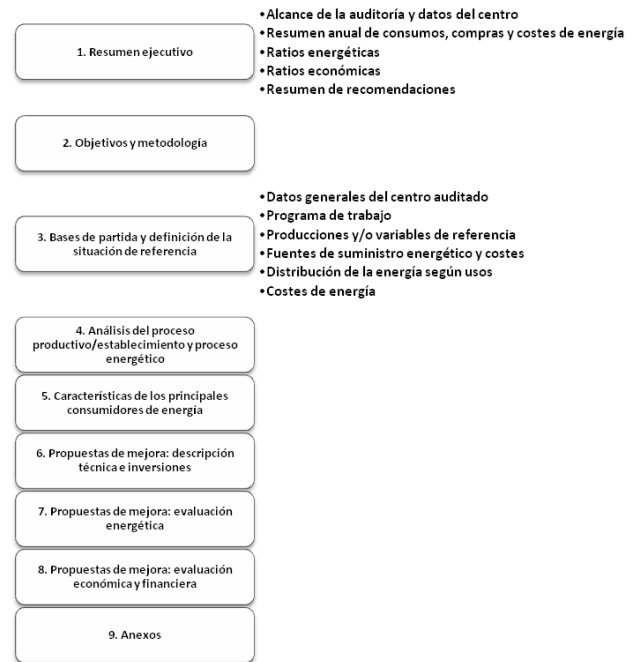
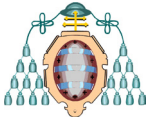


Figura 47. Índice indicativo de los contenidos para el informe para la auditoría energética de la ETAP.

### 3.12 Informe final de la auditoría energética para la ETAP.

El principal resultado de la auditoría energética realizada en al ETAP muestra la fotografía de la situación energética actual de este centro de trabajo y recoge la serie de propuestas de mejoras energéticas valoradas energéticamente y económicamente para la misma. De esta forma, la auditoría energética realizada es un instrumento que define los puntos de inversión y se debe considerar como una parte del análisis que permita a la dirección de la ETAP definir planes de inversión a medio y largo plazo. El resultado final de la auditoría energética para la ETAP se ha reflejado en la elaboración de un informe en el que se



documenta todo el proceso realizado tanto en relación a las fuentes de datos como a los cálculos y resultados.

Este informe describe el objeto y alcance técnico de la auditoría inicialmente definido, así como la metodología utilizada en todas las fases. Se presenta un índice indicativo que se ha utilizado para el informe de la auditoría energética (figura 47), con algunos detalles de los contenidos que debe incluir cada uno de los capítulos del mismo. La presentación del informe en la ETAP se realizó personalmente, de manera que se pudo explicar las propuestas de mejora y subrayar las ventajas ante los responsables de la misma.

La finalización de esta auditoría energética en la ETAP mediante la realización del informe no debe ser el final de un camino sino que se debe considerar como el inicio de una tarea de mejora continua en el plano energético.

#### 4. CONCLUSIONES.

El papel de la eficiencia energética y de la gestión de la energía es vital y se encuentra a día de hoy muy extendido entre las empresas industriales. La auditoría energética es una herramienta de especial interés en este campo y mediante ella se puede realizar un análisis para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico. Mediante su aplicación en un centro de trabajo específico como es una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) se ha encontrado que las propuestas de mejora identificadas para el ahorro energético son en su mayoría rentables y viables económicamente, algunas por su baja inversión y otras porque, aunque tengan un periodo de retorno de la inversión elevado, redundarían a largo plazo en un gran ahorro energético y económico en la instalación, requiriendo por tanto del diseño de un plan de inversiones adecuado. De este modo, las diferentes medidas analizadas referidas, a una mejora de la gestión energética de la planta, a la automatización de los diferentes procesos de la planta, a la mejora de la facturación energética, a la reducción del consumo de los equipos al mejorar su rendimiento mediante tecnologías probadas de ahorro de energía como por ejemplo el uso de motores eléctricos de alta eficiencia, el uso de variadores de frecuencia para controlar la velocidad de los motores eléctricos adecuando el par y la velocidad de los mismos a la carga requerida, a la mejora por la sustitución de equipos de bombeo, a el cambio a sistemas de iluminación más eficientes en los edificios basados en tecnología LED, y a la introducción de energías renovables o de alta eficiencia para la climatización de los edificios, se podrían implantar en la ETAP para reducir el consumo de energía total de la instalación y mejorar por tanto su productividad. Mediante la evaluación energética y económica del conjunto de medidas propuesto se ha

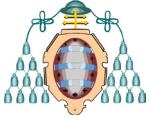
estimado un ahorro energético de 611.506 kWh anuales que suponen un ahorro económico de 67.680,61 € anuales, con reducciones próximas al 50% respecto a la situación actual de funcionamiento de la ETAP. Junto con el ahorro energético y económico, también se infiere de las mejoras propuestas un beneficio medioambiental, ya que una cantidad considerable de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas se pueden reducir mediante la aplicación futura de las medidas contempladas en la auditoría energética realizada para la ETAP y que suponen un descenso del 53,51% respecto a la situación en la misma para el año 2011.

Todo ello, debido al carácter de servicio público que tienen las instalaciones de abastecimiento y tratamiento de agua potable, debería ser impulsado a través de organismos públicos estatales con el objetivo de una mayor eficiencia energética en el sector y así contribuir a un modelo económico global más sostenible, más competitivo y basado en bajas emisiones de carbono; un modelo que asegure el respeto al medio ambiente, mantenga la competitividad de las empresas y la seguridad de suministro energético.

#### NOMENCLATURA

AEE	Ahorro y Eficiencia Energética
AIE	Agencia Internacional de la Energía
CEN	Comité Europeo de Normalización
BREF	BAT Reference Document Best Available Techniques for Energy Efficiency
CCAA	Comunidades Autónomas
$C_{EF}$	Coste del motor de alta eficiencia
$C_{EST}$	Coste del motor estándar
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
EECCCL	Estrategia Española del Cambio Climático y Energía Limpia
$EF$	Motor eléctrico de alta eficiencia
$EST$	Motor eléctrico estándar
ETAP	Estación de Tratamiento de Agua Potable
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
$F_c$	Fracción de plena carga a la que trabaja el motor eléctrico
FEMP	Federación Española de Municipios y Provincias
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDAE	Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético
IDEA	Agencia para la Innovación y Desarrollo
IE	Intensidad Energética
IEC	Comité Electrotécnico Internacional
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MTD	Mejores Técnicas Disponibles
NEEAP	National Energy Efficiency Action Plan
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PAAEE	Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética





PEN	Plan Energético Nacional
$P_N$	Potencia nominal del motor eléctrico
PC	Personal Computer
PLC	Programmable Logic Controller
PER	Plan de Energías Renovables
PIB	Producto Interior Bruto
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
t	tiempo funcionamiento en horas
$t_{AMORT}$	tiempo de amortización en horas de funcionamiento del sobrepeso del motor de alta eficiencia
tep	tonelada equivalente de petróleo
$t_S$	tiempo de servicio del motor eléctrico en horas
UE	Unión Europea
UNE	Una Norma Española
$\eta$	Rendimiento
$\nabla W$	ahorro energético en kWh

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer especialmente por toda la ayuda, conocimientos y apoyo recibidos tanto durante el curso académico como en la consecución de este trabajo Fin de Máster a:

- Todos mis compañeros del Máster Universitario en Ingeniería Energética del curso 2011-2012.
- Todos los profesores que impartieron las distintas materias, y en especial a D<sup>a</sup> María Belén Folgueras Díaz, profesora titular de Universidad en el área de conocimiento de «Máquinas y Motores Térmicos», adscrita al Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo, tutora de este trabajo que muy amablemente me marcó las directrices para llevar a cabo el mismo, y me resolvió cualquier problema que surgió durante su realización.

Además, por el gran esfuerzo intelectual que me ha supuesto su elaboración quisiera dedicar este Trabajo Fin de Máster a mi madre D<sup>a</sup> María Teresa Álvarez Hevia, ella siempre sabe estar en estos y en otros momentos mucho más importantes.

## REFERENCIAS

- [1] Antonio Hurtado Bezos. Metodología para la estimación regional de la capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en formaciones permeables profundas y sus incertidumbres. Cátedra Hunosa. Universidad de Oviedo. 2010.
- [2] Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética (PTE-EE). Documento de visión de la Eficiencia Energética en España. Ministerio de Ciencia e Innovación. 2009.

- [3] Steve Doty, Wayne C. Turner. Energy Management Handbook Seventh Edition. CRC Press. 2009.
- [4] Stoyan Viktorov Danov. Guía de buenas prácticas en Auditorías termo-energéticas. Área de Industria de la Cámara de Madrid. Proyecto ETEREA. 2010.
- [5] Piedad Fernández Herrero. Cómo realizar una Auditoría Energética. Fundación Confemetal Editorial. 2009.
- [6] IDAE. Plan de Acción y Ahorro de Eficiencia Energética 2011-2020. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 2011.
- [7] ICAEN. Guía metodológica para realizar auditorías energéticas. [www.gencat.cat/icaen/](http://www.gencat.cat/icaen/). 2011.
- [8] [www.rinconenergia.blogspot.com/2010/07/ud2.html](http://www.rinconenergia.blogspot.com/2010/07/ud2.html)
- [9] Francisco Javier González Ruiz. Ahorro Energético en motores de inducción trifásicos: Análisis de diferentes variables de influencia. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Cataluña. 2010.
- [10] ICAEN. Estudio de las mejores tecnologías disponibles en consumo de energía referentes a motores eléctricos y accionamientos. [www.gencat.cat/icaen/](http://www.gencat.cat/icaen/). 2011.
- [11] José González Pérez, Katia Argüelles Díaz, Rafael Ballesteros Tajadura, Raúl Barrio Perotti, Jesús Manuel Fernández Oro. Principios de Mecánica de Fluidos. Textos universitarios EDIUNO. Universidad de Oviedo. 2010. [www.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/](http://www.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/).
- [12] European Commission. Reference Document Best Available Techniques for Energy Efficiency. European Commission. 2009. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>.