



**MÁSTER EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA
AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

TRABAJO FIN DE MASTER

**PLAN DE REPOSICIÓN DE EQUIPOS DE LA
E.D.A.R. DE LEÓN**

BORJA FERNÁNDEZ SOTO

SEPTIEMBRE, 2013

María José Cocero Alonso, profesora del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid, y David Llanos Rodríguez, Gerente de UTE SALEAL (Aqualogy Medio Ambiente – Seys Medio Ambiente).

INFORMAN:

Que D. Borja Fernández Soto ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Máster titulado "*Plan de reposición de equipos de la E.D.A.R. de León*".

Valladolid, _____ de _____ de 2013

Fdo. María José Cocero Alonso

Fdo. David Llanos Rodríguez

Reunido el Tribunal designado por el Comité Académico del Máster en Gestión y Tecnología Ambiental, para la evaluación de Trabajos Fin de Máster, y después de estudiar la memoria y atender a la defensa del trabajo "*Plan de reposición de equipos de la E.D.A.R. de León*", presentado por el alumno D. Borja Fernández Soto, decidió otorgarle la calificación de _____.

Valladolid, 11 de Septiembre de 2013

El Presidente

El Secretario

Fdo.:

Fdo.:

Vocal

Fdo.:

RESUMEN:

Las prácticas en empresas representan el primer contacto entre el estudiante y el sector profesional para el que se ha estado preparando en sus estudios anteriores. Realizar unas prácticas, conlleva conocer el día a día en un determinado puesto; enfrentarse a las dificultades cotidianas, relacionarse con los compañeros, gestionar el tiempo, trabajar en equipo, etc.

En el presente trabajo fin de máster se pretende explicar la instalación en la que el estudiante ha realizado las prácticas (Estación Depuradora de Aguas Residuales de León y su Alfoz), incluyendo los principales datos de la instalación, así como el plan de trabajo llevado a cabo por el mismo (Plan de reposición de equipos de la E.D.A.R.).

De esta forma, el trabajo se dividirá en tres partes bien diferenciadas. Primeramente se hablará de la planta de tratamiento en sí, se incluirán las principales etapas y equipos que participan en el proceso de depuración, así como las características más importantes de la instalación. A continuación se comentarán los objetivos del trabajo, la metodología elegida para conseguir los objetivos, varios ejemplos y los resultados finales del trabajo. Por último se recogerá la opinión personal y el juicio crítico del autor sobre el trabajo realizado y el tema que se trata en él.

ÍNDICE:

1. ANTECEDENTES GENERALES
2. OBJETIVOS
3. METODOLOGÍA
4. RESULTADOS
5. DISCUSIÓN
6. JUICIO CRÍTICO
7. BIBLIOGRAFÍA

1. ANTECEDENTES GENERALES:

1.1 INTRODUCCIÓN:

La estación depuradora de aguas residuales de León y su alfoz, es una instalación industrial edificada en un periodo que comprende desde Mayo de 1996 hasta finales de 1998 y que comenzó a operar en Abril de 1999:



Ilustración 1 - Placa de inauguración

Está situada al Sur de León, cerca de las localidades de Trobajo del Cerecedo y Vilecha, más concretamente a orillas del Río Bernesga, lugar donde se realiza el vertido del agua tratada.

La E.D.A.R. trata las aguas residuales la Mancomunidad Municipal para el Saneamiento Integral de León y su Alfoz (SALEAL). SALEAL es una entidad local, creada en 1.991, constituida por los ayuntamientos de León, San Andrés del Rabanedo, Villaquilambre, Santovenia de la Valdoncina, Sariegos, Onzonilla y Valverde de la Virgen y responsable del servicio de saneamiento y depuración de los mismos, lo que supone una población servida de casi 200.000 personas.

SALEAL, es titular de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), donde son conducidas las aguas residuales generadas en los municipios mancomunados para su tratamiento. Dicha estación tiene una capacidad de tratamiento de más de 300.000 habitantes equivalentes.

El coste total de las obras de la E.D.A.R. que ascendió a la cantidad de 2.869 millones de pesetas, se reparte en un 60% con cargo a la Junta de Castilla y León y un 40% con cargo a la Mancomunidad.

1.2 PROCESO INDUSTRIAL LLEVADO A CABO EN LA PLANTA:

El proceso industrial llevado a cabo en esta planta tiene por objeto, la depuración de las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos e industriales de León antes citados. De esta forma se conseguirán unos valores de vertido aceptables, de forma que el río Bernesga no se contamine.



Ilustración 2 - Vista aérea de la planta

El proceso se distribuye en tres líneas, según el material con el que se trabaja:

- Línea de aguas
- Línea de fangos
- Línea de gas

A continuación se explicará el contenido de estas líneas y cada una de las etapas llevadas a cabo en el proceso de depuración.

1.2.1 LÍNEA DE AGUAS:

La línea de aguas representa todos los procesos que se llevan a cabo desde su recepción en la obra de llegada, hasta su vertido final en el Río Bernesga.

Las etapas son las siguientes:

- Obra de llegada/Pretratamiento:

La obra de llegada, es la edificación que tiene la función de recibir el agua residual y darla el primer tratamiento. El agua llega a un pozo de gruesos de 77 m³, dotado de una cuchara anfibia para la extracción de los sólidos más voluminosos sedimentados en el mismo.

El edificio lleva incorporado también una reja fija de 100 mm de paso antes de la llegada del agua a un pozo de bombeo, que incorpora unas bombas de elevación. Este pozo además incorpora unos sensores de nivel que activan unas bombas de elevación que envían el agua que sobrepasa el nivel al tanque de tormentas. Este tanque tiene una capacidad de 5.520 m³ y es suficiente para recoger los primeros 20 minutos al caudal actual y los 15 primeros minutos al caudal futuro en caso de lluvias. Está provisto de 4 agitadores de fondo.

Por seguridad, en el pozo de bombeo existen unos aliviaderos que vierten parte del caudal directamente al río en caso de sobrecarga.

Una vez superado este primer tramo de bombeo, el agua se sigue filtrando mediante cuatro canales de desbaste, tres con tamices autolimpiantes de 3 mm de malla y uno con reja manual, que envían los sólidos a un tornillo transportador - compactador para su envío a un contenedor.



Ilustración 3 - Obra de llegada

TRABAJO FIN DE MÁSTER

El agua sigue su curso por gravedad y es cuando llega a la etapa de desarenado/desengrasado. Este proceso se realiza en tres tanques prismáticos con volumen unitario de 4.140 m^3 , que están provistos con puentes especializados en este tipo de separación.

Como el propio nombre indica, la función que tiene esta etapa en el proceso es la separación de la arena mediante la decantación y posterior recogida mediante bombas de aspiración, y la separación de las grasas o aceites que se realiza mediante flotación gracias a los aireadores de los que están provistos los tanques. Una vez en la superficie, la grasa se separa mediante unas rasquetas que la envían a un aliviadero a través de la chapa picopato.

- Decantación primaria:

Consta de tres decantadores rectangulares con un volumen unitario de 4.140 m^3 , en donde un alto porcentaje de los sólidos en suspensión del agua residual procedente del pretratamiento, sedimenta en el fondo del tanque. Estos sólidos son los llamados fangos primarios que se envían al espesador.

- Tratamiento Biológico:

Se realiza en 3 cubas biológicas de tipo flujo pistón, con un volumen unitario de 10.140 m^3 . Cada cuba tiene 4 canales aerobios y 1 anaerobio, de cara a la correcta eliminación de materia orgánica y la realización del proceso de desnitrificación - nitrificación.

La difusión del aire en las cubas aerobias se realiza mediante las correspondientes parrillas con difusores de membrana que son cebadas por medio de tres turbosoplantes. Hay una recirculación interna del licor mixto del orden del 300%.



Ilustración 4 - Cubas biológicas

- Decantación Secundaria:

Se efectúa mediante tres decantadores rectangulares con un volumen unitario de 7.756m³, que son los encargados de realizar la extracción de fangos de recirculación y los fangos en exceso o secundarios. Los primeros son enviados a cabecera del tratamiento biológico (100%), mientras que los secundarios son enviados al flotador de fangos.

La captación de agua decantada se realiza en canales, por medio de agujeros sumergidos, de forma que se evite la recogida de sustancias flotantes.

- Obra de salida:

Es el lugar donde se encuentra ubicada la fuente de presentación y la tubería que envía el agua tratada al río Bernesga.

Hay un depósito de almacenamiento para el grupo de presión de agua de servicios de la planta con sus correspondientes filtros autolimpiantes y una cuba de hipoclorito sódico para desinfección de parte del agua tratada.

1.2.2 LÍNEA DE FANGOS:

La línea de fangos representa todos los procesos que se llevan a cabo con los lodos o fangos procedentes de los decantadores.

Las etapas son las siguientes:

- Espesador de fangos:

Los fangos primarios procedentes de la decantación primaria se concentran en una arqueta de donde se envían mediante 3 bombas sumergibles a un tamiz rotativo que elimina parte del agua y posteriormente a un espesador de gravedad de fangos de 10 metros de diámetro.

- Flotador de fangos:

Los fangos en exceso procedentes de la decantación secundaria son enviados por medio de 3 bombas sumergibles a una unidad de flotación de 10 metros de diámetro.

- Cámara de homogeneización de fangos:

Se reúnen en ella los fangos primarios espesados y los fangos en exceso flotados. Está provista de un agitador y de una cuba de cal para corrección del pH. De aquí aspiran 2 bombas de tornillo para su envío a los digestores.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

- Digestión de fangos:

La digestión anaerobia se realiza en los digestores primarios de 4000 m³ de volumen unitario. La agitación de fangos se realiza mediante cañas de gas. El calentamiento en los digestores se consigue mediante la recirculación del fango previo paso por dos intercambiadores de calor alimentados por dos calderas de que utilizan el biogás del digestor como combustible. La temperatura de los fangos en los digestores es de 35° C.



Ilustración 5 - Digestor de fangos

- Espesador de fangos digeridos:

Este elemento tiene un volumen de 350 m³. Además del realizar el espesado de fangos también sirve como depósito tampón, para la siguiente etapa de deshidratación. De él aspiran 3 bombas de tornillo.

- Deshidratación de fangos:

Los fangos digeridos pasan al secado mecánico mediante 3 centrifugas. Una de un caudal unitario entre 20-35 m³/h y dos de un caudal unitario de 5-12 m³/h y una sequedad de 22%. Par completar el proceso existe un grupo automático de preparación de polielectrolito para dosificar a las centrifugas.

- Transporte y almacenamiento de fangos:

Los fangos deshidratados procedentes de las centrifugas son recogidos en un transportador de tornillo sin eje y enviados a 2 bombas de tornillo que a su vez lo impulsan al silo de fangos. El silo de fangos tiene un volumen de 60 m³ que equivale a un día de almacenamiento.

- Secado térmico de fangos:

Como punto final, los fangos deshidratados pasan al secado térmico. Se utilizan los gases de escape de 2 motores de producción eléctrica mediante gas natural, para conseguir un hasta un 95% de sequedad del fango.

1.2.3 LÍNEA DE GAS:

La línea de gas representa el recorrido que sigue el biogás producido en los digestores anaerobios de fangos.

El almacenamiento del biogás se realiza en un gasómetro de membrana de un volumen útil de 1.350 m³ diseñado a baja presión.



Ilustración 6 - Gasómetro y antorcha

Este gas se reutilizará en las calderas para el mantenimiento de la temperatura en la digestión. Así mismo existe una antorcha para el quemado del gas sobrante, con una capacidad máxima de gas de 300 Nm³/h con encendido eléctrico automático.

2. OBJETIVOS:

El objetivo principal a desarrollar en estas prácticas de empresa, es realizar un plan de reposición de todos los equipos, en su mayoría electromecánicos, de los que se compone la E.D.A.R., es decir, la estimación de los periodos en los que sería conveniente cambiar o tener en cuenta el estado de los equipos más viejos de la instalación.

Es importante para cualquier tipo de instalación industrial, tener una previsión de cómo va a afectar el paso del tiempo y las horas de funcionamiento sobre la totalidad de los equipos, ya que estos desarrollan un papel muy importante en el desarrollo de la actividad industrial.

Es por ello, que para el correcto funcionamiento de una industria, se haga necesaria la presencia de un equipo de mantenimiento que realiza el seguimiento del estado de las infraestructuras que contiene la instalación. Este equipo desarrolla principalmente cuatro funciones:

- El mantenimiento preventivo: que es el que se realiza con vistas a mantener el buen estado de los equipos y así elevar sus años de vida útil. (Ej: Cambio de aceite de un motorreductor)
- El mantenimiento correctivo: que es el que se lleva a cabo en caso de que el equipo sufra alguna anomalía y no opere correctamente. Se trata de conseguir que el equipo pueda realizar su operación de forma correcta. (Ej: Cambio del rodete roto de una bomba)



Ilustración 7 - Rodete deteriorado por cavitación

- El mantenimiento Predictivo: consiste en la monitorización de las condiciones mecánicas, rendimientos de operación y otros indicadores de proceso para asegurar el mayor intervalo de tiempo entre reparaciones y minimizar el número y coste de las paradas ocasionadas por los fallos en las máquinas. Se trata de realizar ensayos no destructivos, como pueden ser: análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, etc.

- El mantenimiento Normativo: Se denomina mantenimiento Normativo, al tipo de mantenimiento preventivo obligatorio que las legislaciones sobre seguridad de equipos e instalaciones industriales obligan a realizar de manera periódica por parte de empresas o personal autorizado ajenas a la empresa propiedad de las instalaciones o equipos. Ejemplo de este tipo de mantenimiento son las revisiones, realizadas por OCAs (Organismos de Control Autorizado) inspecciones de baja y alta tensión, revisión de equipos de elevación, equipos a presión, etc.

A pesar de lo comentado anteriormente, la implantación y generalización de un plan de reposiciones tiene una alta complejidad. Una de las mayores razones es la falta de información por parte del fabricante. Se desconoce la vida útil que el fabricante debería estudiar para cada uno de sus equipos y/o modelos, y también se desconocen las condiciones exactas de funcionamiento: tiempos exactos, etc.

No resulta nada fácil estimar la vida útil de los equipos, es muy complicado. El cálculo exacto es prácticamente imposible. Sin embargo se puede llegar a obtener una aproximación combinando una serie de parámetros (condiciones, horas de funcionamiento, rendimientos etc.).

Además de todos los factores comentados, también influirá sobre la vida útil de un equipo la aleatoriedad, es decir, dos equipos de las mismas características, con la misma función y trabajando bajo condiciones similares, pueden tener un periodo de vida útil muy diferente, aunque en el análisis se hayan calculado unos tiempos de vida útiles iguales. Es aquí donde juega también su papel el factor de la experiencia. Será el ingeniero o el jefe de mantenimiento el que revisando los históricos de cada aparato, penalizará a uno u otro equipo en función de las intervenciones de mantenimiento correctivo sobre los mismos.

3. METODOLOGÍA:

Como se ha comentado en el punto anterior, no resulta nada fácil establecer un plan de reposiciones en una instalación. Para realizarlo, es necesario tener muy claro lo que se quiere conseguir y cómo se quiere aplicar antes de establecer una metodología de trabajo.

Cada ingeniero tendrá sus propios criterios, y los resultados de cada uno de ellos pueden variar significativamente debido a la carga subjetiva que exige el trabajo. Por tanto, se hace necesario utilizar una metodología que fije unos criterios de forma que se minimice la subjetividad en la medida de lo posible.

A continuación se describen los pasos a seguir para desarrollar la propuesta de cálculo de vida útil:

- **Inventario de equipos:**

Como paso previo a la aplicación de la metodología es necesario el inventariado de los equipos. Para ello se ha desarrollado un listado que recoge el inventario completo de la instalación. Los elementos se clasificarán por orden alfabético y por el lugar que ocupan dentro de la instalación. A su vez se subdividirán en: Equipos electromecánicos, Obra civil e Instrumentación, de los cuales mayoritariamente son equipos electro-mecánicos para el tipo de instalaciones que se está evaluado.

Cada equipo llevará registrada su marca, modelo, código, año de instalación y potencia en el caso de necesitar energía eléctrica. Este registro se completó o actualizó gracias a la visualización de los archivos del jefe de mantenimiento que incluyen el registro y los catálogos de los fabricantes de los equipos.

Una vez realizado y completado todo el inventario se pasó a aplicar la metodología de análisis.

- **Metodología para el cálculo de vida útil de equipos electromecánicos:**

La metodología para el cálculo de vida útil restantes de un equipo consistirá en tres pasos:

- Encontrar la vida útil técnica.
- Si no se dispone de vida útil técnica, se procederá a calcular la vida útil económica.
- Finalmente se aplicarán unos factores correctores

A continuación se detallan cada uno de estos pasos:

Vida útil técnica:

Primeramente será necesario encontrar la vida útil técnica que el fabricante da para su producto trabajando en condiciones normales. Es complicado encontrar este dato ya que la mayor parte de los fabricantes no lo proporcionan. En caso de no encontrarse, este dato se sustituye por el de la vida útil económica.

Vida útil económica:

Para obtener la vida útil económica se propone la utilización de la tabla 1 de Coeficientes de Amortizaciones aprobada en el BOE RD 1777/2004, del 30 de julio, por el cual se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades. A continuación, a modo de ejemplo, se detalla la tabla en cuestión para tres equipos concretos:

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tabla 1 - Estimación de la vida útil económica

EQUIPOS A ESTUDIAR	REFERENCIA TABLA AMORTIZACIONES	CL MÁXIMO ⁽¹⁾ (%)	PM ⁽²⁾ (Años)	100/CL (Años)	PROMEDIO (Años)
Bombas de cabecera	Maq. y inst. de bombeo, medida...	10	20	10	15
Soplantes	Compresores y equipos auxiliares	12	18	8,3	13,2
Centrífugas	Instalaciones prensadoras, inyectoras, vibradoras, centrifugadoras...	12	18	8,3	13,2

(1) Coeficiente lineal de amortización máximo

(2) Período máximo de amortización

En esta tabla se obtiene la vida útil económica en años, resultado de la media aritmética de: 100 dividido por el “Coeficiente lineal de amortización máximo” y el “Período máximo de amortización”.

Este método nos ayudará y nos servirá de base para clasificar los tipos de equipos en la planta. A su vez, la tabla se usará como base para introducir el dato de vida útil económica en el inventario de la tabla principal.

Conocido o calculado el valor de vida útil inicial del equipo a analizar, se aplican unos factores de corrección que dependen de las condiciones de trabajo y del entorno. Se usan con el fin de obtener la vida útil final. Los factores aplicados son los siguientes:

- Factor de corrección general (FC1):

Esta relacionado con la idoneidad del equipo, de los materiales, de los componentes que lo integran y de las condiciones de trabajo a las que está sometido. El rango del factor va de 0,5 (condiciones más duras) a 1,5 (condiciones más óptimas):

Tabla 2 - Cálculo del factor de corrección general

Condiciones de trabajo duras	FC1 = 0,5 a 1
Condiciones de trabajo normales	FC1 = 1
Condiciones de trabajo óptimas	FC1 = 1 a 1,5

- Factores de corrección particulares:

Son los que se aplican a un tipo de equipo específico. En este caso hay dos:

TRABAJO FIN DE MÁSTER

➤ Factor de aplicación al conjunto de motoredutores (FC2):

Este factor sólo se utilizará en el caso de que el equipo incorpore algún motorreductor, es decir, una caja de engranajes acoplados mecánicamente al motor, y que sirve para disminuir velocidad de este a un valor fijo.

Este factor corrector relaciona el factor de servicio disponible (x) y el requerido (y).

$$FC2 = x/y$$

El **factor de servicio disponible (x)** es aquel para el cual ha sido diseñado el equipo para trabajar. Normalmente el diseño de los reductores está realizado para un factor disponible de servicio igual a 1, que equivaldría a considerar un funcionamiento libre de impactos y un tiempo de funcionamiento de 8 horas a temperatura ambiente de 30°C. No obstante, el factor disponible lo tiene que definir el fabricante. En este caso ningún catálogo proporcionó este dato y se tomaron todos los equipos como $x=1$.

El **factor de servicio requerido (y)** es el que necesita el equipo para trabajar en condiciones reales. Para poder calcular el factor requerido se utilizan unas referencias mundialmente reconocidas, como la tabla 3 de la asociación americana de fabricantes de engranajes (AGMA) "Standards for Spur, Helical, Herringbone, and Bebel Enclosed Drives" ANSI/AGMA 6010-E88:

Tabla 3 - Tabla para el cálculo del factor del servicio requerido

Tabla para el cálculo del factor de servicio requerido	Carga accionada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Horas / día			
h < 10	1,00	1,25	1,75
h > 10	1,25	1,50	2,00

Fuente: "Standards for Spur, Helical, Herringbone, and Bebel Enclosed Drives" ANSI/AGMA 6010-E88

Cómo se observa en la tabla anterior, el factor (y) es función de las horas al día que trabaja el equipo y del impacto que le provoca la carga que ha de accionar.

➤ Factor de rendimiento para bombas centrífugas:

Es de aplicación exclusiva al conjunto de las bombas centrífugas existentes en la instalación. Para su aplicación se debe conocer la curva de la bomba y las características de la instalación. Estas características se deben buscar en los catálogos de los fabricantes y en los comprobantes de calidad de los registros del jefe de mantenimiento de la planta.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Como punto de partida se supone que las bombas instaladas están bien dimensionadas y que por tanto trabajan en su máximo rendimiento hidráulico. Por tanto, su FC3 será 1. Si por cualquier motivo la bomba estuviese trabajando fuera de su curva teórica, las condiciones de trabajo de esta ya no son las óptimas y por tanto su rendimiento ya no es el máximo. Por tanto el FC3 puede tener los siguientes rangos de valor:

Tabla 4 - Cálculo del factor de rendimiento hidráulico

Equipo que trabaja en el punto de rendimiento máximo	FC3 = 1
Equipo que se aleja hasta un 50% del rendimiento máximo	FC3 = 1 a 0,5

En resumidas cuentas, el factor se refiere a la diferencia entre el rendimiento hidráulico para el cual el fabricante ha diseñado la bomba (n_1), que se obtiene del catálogo del fabricante; y el rendimiento hidráulico real al que trabaja la bomba en condiciones de operación (n_2), que se obtiene de los certificados de calidad de la bomba en funcionamiento real.

Para dar una proporción adecuada a las condiciones que dicta el factor se ha diseñado la siguiente fórmula:

$$FC3 = 1 - (n_1 - n_2)$$

De esta forma se cumple la relación marcada en la tabla de arriba, es decir, una bomba diseñada para un rendimiento hidráulico del 90% ($n_1 = 0.9$) y que en su rendimiento real opera a 80% ($n_2=0,8$), su rendimiento difiere en un 10%, por tanto de acuerdo la tabla de arriba el FC3 por lógica, debería ser 0,9. De esta forma, la fórmula anteriormente propuesta te da el valor lógico exacto a partir de los datos de entrada:

$$FC3 = 1 - (n_1 - n_2) = 1 - (0,9 - 0,8) = 0,9$$

Es una fórmula de fácil aplicación en Excel y que ahorra tiempo en el cálculo del factor.

- Factor de la experiencia (FC4):

Este factor está relacionado con el histórico de intervenciones sobre los equipos, es decir, se revisan el número de averías o incidencias que ha tenido el equipo analizado a lo largo de su vida.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Es un factor que tiene una elevada carga subjetiva, ya que es complicado ajustar un valor y medirlo en función del grado de importancia de las intervenciones o de la afección que pueden generar sobre el equipo en el tiempo de vida restante.

Personalmente, al tener poca experiencia dentro de la planta, he considerado poco oportuno intervenir en el resultado con este dato, por tanto se les ha dado a todos los equipos el valor 1, para futuras modificaciones del plan.

Por último, aplicando estos cuatro factores de corrección anteriores en la tabla final, se puede estimar la vida útil total para cada equipo analizado, mediante la multiplicación de los mismos por la vida útil inicial estimada (vida útil económica).

Una vez obtenida la vida útil final que se considerará para equipo, es necesario configurar nuestra tabla desde el punto de vista práctico y funcional, es decir, que sea una tabla interactiva y que se pueda aplicar de forma rápida y sencilla dentro de la planta.

Primeramente, la mayoría de los equipos tienen registrado un número de horas de funcionamiento desde su año de instalación hasta finales de 2011, a través de ello se pueden obtener las horas de funcionamiento al año.

Una vez obtenidas las horas de funcionamiento al año, se pueden obtener las horas de funcionamiento acumuladas al final de cualquier año. También se puede obtener el número de horas que operará en su vida útil final, multiplicando la vida útil por las horas de funcionamiento al año.

Finalmente, restando a las horas de funcionamiento durante la vida útil final, las horas de funcionamiento acumuladas hasta el año que estamos analizando y dividido todo por las horas de funcionamiento, obtenemos los años restantes de vida:

Años restantes de vida

$$= \frac{(\text{Años de vida} \cdot \text{horas/año}) - ((\text{Año analizado} - \text{Año inicio} + 1) \cdot \text{horas/año})}{\text{horas/año}}$$

Así se obtendrán un número positivo, o un número negativo. En el primer caso el equipo estará dentro de su rango de vida útil, en el segundo caso el equipo ha sobrepasado sus años de vida útil y será necesario tenerlo en cuenta para futuros cambios, intervenciones y/o revisiones periódicas.

Además de todo esto, la hoja Excel incluirá unos diagramas tipo tarta, que nos indicarán el estado de los equipos, por etapas, por tipo de equipo dentro de las etapas y de modo general. Estos diagramas irán cambiando en función de la tabla.

4. RESULTADOS:

La aplicación de la metodología descrita, ha sido aplicada a la planta de depuración de aguas residuales de León. Los resultados de la evaluación y del análisis han sido realmente extensos, por lo que nos centraremos en el ejemplo y comparación de dos tipos de equipos que mejor explican o representan las complicaciones que exige el trabajo.

Los equipos seleccionados son las bombas de cabecera y las bombas de elevación al tanque de tormentas.

Las **bombas de cabecera**, es el nombre con el que se dota a la instalación de bombeo que se encarga de elevar el caudal desde el pozo de grueso (tras pasar por las rejillas de desbaste), hasta el nivel de operación para que el agua continúe obteniendo sus posteriores tratamientos.

El sistema se compone de cinco bombas centrífugas sumergibles con una potencia de 80 kW. De estas bombas, sólo cuatro de ellas estarán en funcionamiento, van turnándose el descanso.



Ilustración 8 - Bomba de cabecera "Sarlin"

Hacen una media de 5000 horas al año cada una y comenzaron a funcionar en 1999, por lo que a día de hoy llevan acumuladas 75.000 horas cada una.

Por su parte **las bombas de elevación al tanque de tormentas**, es una estación de bombeo que se encarga de transportar el caudal de agua sobrante cuando el pozo de bombeo alcanza un cierto nivel, en caso de lluvias o caudales anómalos.

El grupo de bombeo cuenta con cuatro bombas centrífugas sumergibles con una potencia de 130 kW.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estas bombas trabajan una media de 77 horas al año desde 1999, es decir que llevan un total de 1000 horas acumuladas.



Ilustración 9 - Bomba de elevación a desbaste "Sarlin"

Como podemos apreciar, son bombas bastante similares, por lo que la vida útil inicial de ambas (vida útil económica) será de 15 años, según la tabla 5 del BOE:

Tabla 5 - Tabla de Coeficientes de Amortizaciones

EQUIPOS A ESTUDIAR	Página REAL DECRETO 1777_2004	CL MÁXIMO ⁽¹⁾ (%)	PM ⁽²⁾ (AÑOS)	100/CL (AÑOS)	PROMEDIO (AÑOS)
Bombas centrífugas sumergibles	33	10	20	10,0	15,0

En lo que difieren estas bombas es en las condiciones de trabajo, es decir las de cabecera están trabajando prácticamente de forma continua, mientras que las de elevación al tanque de tormentas, sólo lo hacen ocasionalmente, cuando el nivel del pozo supera el límite marcado.

Dentro de la tabla se registrarán ambos modelos como se ha comentado en el apartado 3 de este documento:

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tabla 6 - Inventario de bombas

EQUIPOS							
CÓDIGO	ELEMENTO	MARCA	MODELO	POTENCIA (Kw)	EXIST.	VIDA ÚTIL TÉCNICA (AÑOS)	VIDA ÚTIL ECONÓMICA (AÑOS)
B01A	Bomba elevación desbaste A	SARLIN	S3-806-M2-511	80 Kw	1	Sin Datos	15,0
B01B	Bomba elevación desbaste B	SARLIN	S3-806-M2-511	80 Kw	1	Sin Datos	15,0
B01C	Bomba elevación desbaste C	SARLIN	S3-806-M2-511	80 Kw	1	Sin Datos	15,0
B01D	Bomba elevación desbaste D	SARLIN	S3-806-M2-511	80 Kw	1	Sin Datos	15,0
B01E	Bomba elevación desbaste E	SARLIN	S3-806-M2-511	80 Kw	1	Sin Datos	15,0
B02A	Bomba tanque de tormenta A	SARLIN	S3-1306-L2-511	130 Kw	1	Sin Datos	15,0
B02B	Bomba tanque de tormenta B	SARLIN	S3-1306-L2-511	130 Kw	1	Sin Datos	15,0
B02C	Bomba tanque de tormenta C	SARLIN	S3-1306-L2-511	130 Kw	1	Sin Datos	15,0
B02D	Bomba tanque de tormenta D	SARLIN	S3-1306-L2-511	130 Kw	1	Sin Datos	15,0

Una vez completado el inventario y el registro de los equipos (tabla 6) se procede al análisis de los factores:

Tabla 7 - Análisis de vida útil final

ELEMENTO	VIDA ÚTIL ECONÓMICA (AÑOS)	FACTOR GENERAL (FC1)	SERVICIO DISPONIBLE (X)	SERVICIO REQUERIDO (Y)	FACTOR MOTORREDUCTORES (FC2) $FC2=x/y$	FACTOR DE RENDIMIENTO (FC3)	FACTOR DE EXPERIENCIA (FC4)	FACTOR DE CORRECCIÓN (FC)	VIDA ÚTIL FINAL (AÑOS)	OBSERVACIONES
Bomba elevación desbaste	15,0	0,80	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	0,75	11,22	FC1 = 0,8 pozo de gruesos condiciones muy duras de suciedad; $y=1$ (Sin motorreductor); Centrífuga
Bomba tanque de tormenta	15,0	1,40	1,00	1,00	1,00	0,92	1,00	1,29	19,32	FC1 = 1,4 Condiciones óptimas de funcionamiento (77 h/año); $y=1$ (Sin motorreductor); Centrífuga

En la tabla 7, también se ha incluido un apartado de observaciones, de cara a facilitar la comprensión de la parte más subjetiva de la misma (FC1 en este caso) por parte del lector.

Estas bombas no llevan incorporado un motorreductor, por lo que el FC2 o factor motorreductor no intervendrá en su vida útil final por lo que se le da el valor 1 ($x=1$; $y=1$).

El factor general será el punto donde más difieren las bombas. A las bombas de desbaste se les ha penalizado (disminución de la vida útil) con un factor $FC1=0,8$, debido a su elevado número de horas de funcionamiento y a las condiciones duras de suciedad. Por su parte, a las bombas de elevación al tanque de tormentas, se le ha “despenalizado” (aumento de la vida útil) con un factor $FC1=1,4$ por sus buenas

TRABAJO FIN DE MÁSTER

condiciones de funcionamiento, ya que sólo trabajan 77 horas al año ya pesar de las evidentes condiciones de suciedad (de ahí que no se les haya otorgado el máximo factor de 1,5).

En el caso del rendimiento hidráulico, las bombas de desbaste están diseñadas para un rendimiento del 83% y según las pruebas de certificación las bombas trabajan al 76,5%, por tanto, el factor FC3 será:

$$FC3 = 1 - (n1 - n2) = 1 - (0,83 - 0,765) = 0,94$$

Las bombas de elevación están diseñadas para un rendimiento del 84% y según las pruebas de certificación las bombas trabajan al 76%, por tanto, el factor FC3 será:

$$FC3 = 1 - (n1 - n2) = 1 - (0,84 - 0,76) = 0,92$$

En cuanto al factor de la experiencia FC4 se ha decidido darle el valor 1, según indicaciones de la empresa explotadora.

Una vez estimados todos los factores, se multiplican entre sí para cada equipo obteniéndose el factor de corrección final FC. Para el caso de las bombas de desbaste el factor es de 0,77 y en el caso de las bombas de elevación al tanque de tormentas es de 1,29.

Estos dos factores se multiplican por la vida útil económica inicial, dando lugar a una vida útil final de 11,22 años en bombas de cabecera y 19,32 en bombas de elevación al tanque de tormentas. La diferencia es significativa, pues mientras a las primeras se las ha penalizado debido a sus duras condiciones de funcionamiento, a las segundas se las ha “premiado”, ya que tienen unas condiciones de de trabajo menos duras.

Finalmente, se desarrollará una parte final dentro de la tabla que mediante los cálculos especificados en el punto 3 de “Metodología”, se podrán estimar los años restantes de vida útil para cada equipo al final del año especificado (en este caso 2013):

Tabla 8 - Vida restante de las bombas

ELEMENTO	FACTOR DE CORRECCIÓN (FC)	VIDA ÚTIL FINAL (AÑOS)	HORAS DE FUNC.	AÑO DE COMIENZO	HORAS DE FUNC. AL AÑO (H/AÑO)	HORAS ACUMULADAS A FIN DE AÑO	VIDA ÚTIL RESTANTE A FINAL DE AÑO	EQUIPOS QUE SOBREPASAN LOS AÑOS DE VIDA ÚTIL ESTIMADA
Bomba elevación desbaste	0,75	11,22	65.000	1.999	5.000	75.000	-4	Equipo fuera de vida útil
Bomba tanque de tormenta	1,29	19,32	1.000	1.999	77	1.154	4	Equipo dentro de vida útil

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Como se puede observar, las bombas de cabecera debido a su bajo factor de corrección, han sobrepasado en cuatro años su vida útil de funcionamiento. Para las bombas de elevación al tanque de tormentas, se ha estimado un factor de corrección más alto, por lo tanto al equipo aún le quedan cuatro años para sobrepasar su periodo de vida útil.

Se ha elegido el ejemplo de estos dos equipos, ya que son los que mejor representan la variación dentro del análisis. Las bombas realizan prácticamente la misma función, pero unas lo hacen en unas condiciones exigentes mientras que otras se encuentran prácticamente en reposo todo el año.

El resultado global de este análisis, se representa en una tabla y en un diagrama de tartas que resume la tabla principal. En ellos se muestra el número y porcentaje de equipos que se encuentran dentro del periodo de vida útil y cuales se encuentran fuera:

Ilustración 10 - Gráfico del resultado global del análisis



Tabla 9 - Resultado por etapas

	PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	REACTOR BIOLÓGICO	DECANTACIÓN SECUNDARIA	AGUA TRATADA Y FUENTE DE PRESENTACIÓN	HOMOGENIZACIÓN DE FANGOS	DIGESTIÓN DE FANGOS	DESHIDRATACIÓN DE FANGOS	SECADO TÉRMICO DE FANGOS	EMISORIO ONZONILLA	SISTEMA ELÉCTRICO	TOTAL
EQUIPO FUERA DE VIDA ÚTIL	48	17	35	17	18	20	44	24	21	8	0	252
EQUIPO DENTRO DE VIDA ÚTIL	36	22	20	17	7	18	28	13	51	11	20	243

5. DISCUSIÓN:

El trabajo ha consistido en realizar un análisis completo de toda instalación en cuanto a la reposición de equipos se refiere. La tabla configurada no sólo proporciona una visión global del estado y la edad de la instalación, sino que además sirve de apoyo en el proceso de explotación y gestión de la planta.

Además, el trabajo realizado proporciona a las personas con menos conocimientos en la materia, una ayuda a la comprensión del estado de la planta con un vistazo rápido al resumen global del trabajo en los diagramas.

La simplicidad, rapidez y funcionalidad de esta tabla se debe a una serie de características:

- Facilidad para el cambio de valores. (Factores, número de horas, cambio de equipo, etc.)
- Cambio de año base de análisis con solo cambiar una celda.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table of equipment data. A dropdown menu is open over the 'AÑO' column, showing years from 2011 to 2018. The table has the following columns: 'ESTIMADA (AÑO DE COMIENZO)', 'AÑO DE COMIENZO', 'HORAS FUNCIONAMIENTO (H/AÑO)', 'VIDA ÚTIL ESTIMADA', 'VIDA ÚTIL STANTE A FINAL DE AÑO', and 'EQUIPOS QUE SOBREPASAN LOS AÑOS DE VIDA ÚTIL ESTIMADA'. The data rows show values for each column, with some cells containing negative numbers in red, indicating equipment that has exceeded its estimated useful life.

ESTIMADA (AÑO DE COMIENZO)	AÑO DE COMIENZO	HORAS FUNCIONAMIENTO (H/AÑO)	VIDA ÚTIL ESTIMADA	VIDA ÚTIL STANTE A FINAL DE AÑO	EQUIPOS QUE SOBREPASAN LOS AÑOS DE VIDA ÚTIL ESTIMADA
1.000	1.999	1.538	23.077	-2	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	1.538	23.077	-2	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	1.538	23.077	-2	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	1.538	23.077	-2	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil
1.000	1.999	8.462	126.923	-4	Equipo fuera de vida útil

Ilustración 11 - Detalle de la hoja Excel

- Facilidad para incorporar nuevos equipos a la tabla.
- Rápida localización de los equipos mediante su clasificación por etapas o gracias al filtro que incorpora el Excel.
- Los diagramas cambian conforme se vaya modificando la tabla, por tanto, no será necesario tocarlos.

En definitiva, es una tabla que indica el estado de la instalación, el porcentaje de equipos pasados en años y el porcentaje de los equipos que están aún dentro de su vida útil. Gracias a su visualización, el jefe de mantenimiento podrá evaluar, e identificar fácilmente que equipos hay que tener más en cuenta de cara a la reposición en el futuro. Permitirá del mismo modo a la empresa establecer un plan, y anticiparse a las consecuencias de los futuros fallos en planta.

6. JUICIO CRÍTICO:

Cuando se entra a valorar el estado y la vida útil de los equipos, siempre es complicado saber que opiniones o modelos son los más acertados o son los más adecuados para un tipo de instalación. Esto es debido al claro componente subjetivo con el que se dota a cualquier análisis de estas características.

Por todo ello investigar en este campo ha sido importante para mí, ya que era un área de conocimiento en la que apenas había profundizado en mis estudios previos, tanto en la Ingeniería como en el posterior Máster.

La experiencia de estas prácticas y este trabajo no sólo me han proporcionado un conocimiento extra en la reposición y duración de los equipos, sino que me ha ayudado a fijar mis bases en el aprendizaje sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

El indagar en catálogos, buscar características, el investigar sobre el proceso, etc., me han hecho entender de manera más profunda el funcionamiento de los equipos que previamente había estudiado. Por ejemplo, está bien saber la eliminación de los sólidos en un decantador primario, pero también es necesario entender cada uno de los equipos que forman parte del tanque de sedimentación (puentes, caudalímetros, motores, reductores, compuertas, bombas, etc.) y que se ocupan de que este proceso se complete.

Además, he llegado a obtener una visión más cercana de las instalaciones, gracias a las salidas técnicas por la planta, al contacto directo con los equipos de medida y a los conocimientos de los profesionales que me guiaban dentro de la depuradora.



Ilustración 12 - Instalaciones de la planta

En resumen, en apenas dos meses, he observado el funcionamiento de una EDAR, su gestión por parte de las empresas explotadoras, su plan de actuación ante averías, sus equipos más críticos, el trabajo de oficina, el trabajo de los operadores de planta, etc. Todo ello ha contribuido a que obtenga una experiencia positiva de mis prácticas de empresa, muy por encima de las expectativas que previamente tenía.

7. BIBLIOGRAFÍA:

- REAL DECRETO 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades.

<http://www.boe.es/boe/dias/2004/08/06/pdfs/A28377-28429.pdf>

(Internet - Consultado el 08 de Julio de 2013)

- DECRETO 130/2003, de 13 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de saneamiento. Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya.
- Catálogos de los fabricantes de los equipos: "Sarlin, Endress Hausser, FLYGT, Ideal, Vicinay, Dosapro, etc."
- Tabla de motorreductores del "Standards for Spur, Helical, Herringbone, and Bebel Enclosed Drives" ANSI/AGMA 6010-E88"
- Memoria del Proyecto de la E.D.A.R. de León.