



Consideraciones sobre la evaluación del servicio de mantenimiento y conservación de una EDAR

Jorge E. Chamorro Alonso ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, director técnico de HdosO

De la buena ejecución del mantenimiento y la conservación (M&C) que se lleva a cabo en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) se obtienen importantes beneficios económicos. Por contra, una mala gestión del M&C supone pérdidas económicas importantes al acortarse la vida útil de los equipos, y la necesidad de incurrir en mayores costes para la reposición de los mismos. Gestionar el M&C pasa por la realización de auditorías técnicas periódicas y el uso de indicadores adecuados para cuantificar la bondad del servicio.

Palabras clave

EDAR, mantenimiento y conservación (M&C), fallo, fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad.

Deliberation about maintenance and conservation service in a WWTP

The good execution of a planned preventative maintenance (PPM) in a wastewater treatment plant (WWTP) will result in economic benefits, prolonging the equipment life cycle, total cost of ownership and reducing the corrective maintenance and remedial, avoiding incurring in extraordinary costs and consequential losses. PPM needs regular technical audits and well defined key performance indicators and service level agreements, to monitor the adequate level of quality of the service delivered.

Keywords

WWTP, maintenance and conservation (M&C), failure, reliability, maintainability, availability.



1. Introducción

El mantenimiento en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) es una de las actividades que más repercusión tiene sobre la vida útil de cada uno de los equipos o sistemas que integran los procesos. Si bien es cierto que la longevidad de los equipos está muy condicionada por el diseño de los procesos y el uso que de ellos hagan los operadores, disponer de un servicio de mantenimiento y conservación (M&C) gestionado de forma eficiente permitirá obtener la máxima rentabilidad a la inversión inicial. Una gestión incorrecta del M&C es origen de pérdidas económicas traducidas en acortamiento de la vida útil de los equipos (por debajo de los 10 años) y descensos significativos en la producción.

La escasa atención que, hasta la fecha, se viene presentando al M&C en las EDAR está motivada por la exclusión, en las tarifas de los servicios de agua, de los costes asociados a la amortización de la inversión. Al no incorporar estos costes, las tarifas son poco sensibles a la gestión del M&C, fomentando la perversión de reducir los costes del día a día del M&C. A la reducción de la vida útil de los equipos se suele añadir un mayor despilfarro económico disfrazado de actuaciones de remodelación de las instalaciones que, bajo cualquier pretexto, abordan la sustitución de equipos cuyo deterioro, por falta de un mantenimiento adecuado, les ha llevado a un estado ruinoso. Independientemente de que estas reposiciones sean sufragadas con fondos propios o aportados por terceros, se están produciendo unas ineficiencias económicas que harán insostenible, a medio plazo, la prestación del servicio.

Una EDAR es una fábrica de biosólidos. Cualquier merma en la ca-

pacidad de producción de la misma supone, además de unos costes económicos, fácilmente cuantificables, unos costes medioambientales que pueden alcanzar cantidades insospechadas. Los costes de M&C deberían de ser objeto de análisis periódicos tanto técnicos como económicos para evaluar si los costes asociados son adecuados y obtienen los resultados esperados.

Como consecuencia de todo ello, es necesario disponer de herramientas adecuadas para verificar la bondad de las labores de M&C. En este artículo, por tanto, se expone una propuesta de indicadores relevantes que se deben de manejar para certificar la gestión de los trabajos de M&C dentro de las infraestructuras del ciclo integral del agua y, en particular, de una EDAR.

2. Definiciones

En las labores de M&C conviene conocer los siguientes conceptos:

- Fallo. El fallo de un equipo o proceso es el cese de funcionamiento del mismo.
- Fiabilidad. Se entiende por fiabilidad de un equipo o proceso la probabilidad de que realice adecuadamente la función prevista a lo largo del tiempo en las condiciones de operación para las que ha sido diseñado.
- Mantenibilidad. La mantenibilidad de un equipo o proceso es la

probabilidad que tiene, cuando se ha producido un fallo, de ser diagnosticado y reparado con éxito en un tiempo determinado.

- Disponibilidad. La disponibilidad define el porcentaje del tiempo total en que el equipo o proceso realiza adecuadamente la función prevista a lo largo del tiempo.

3. Fallo

Existen varios tipos de fallos en función del tiempo y del número (tasa) de fallos:

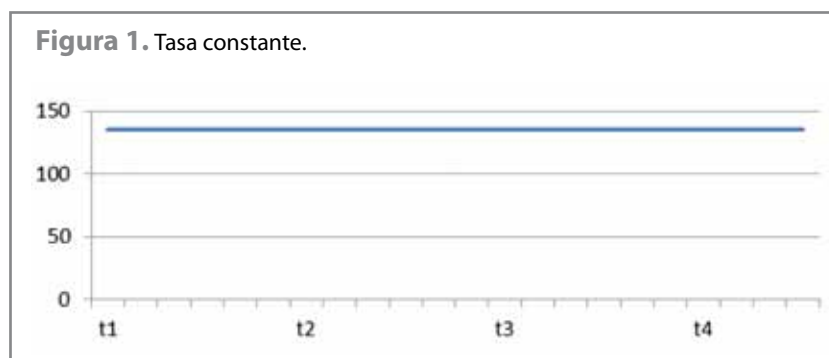
- Tasa constante.
- Tasa inicial baja seguida de una tasa constante.
- Tasa constante seguido de una alta tasa final.
- Tasa inicial alta y decreciente seguida de una tasa constante.
- Tasa inicial alta y decreciente, tasa constante seguida de una tasa creciente: curva de la bañera.

3.1. Tasa constante

La probabilidad de fallo es constante a lo largo del tiempo, el sistema no tiene memoria (**Figura 1**).

3.2. Tasa inicial baja seguida de una tasa constante

La probabilidad de fallo inicial es muy baja pero se incrementa rápidamente en un corto periodo y, pasado un tiempo, se vuelve constante o ligeramente creciente (**Figura 2**).



3.3. Tasa constante con una alta tasa final

Curva típica de un motor eléctrico que presenta un funcionamiento con una tasa de fallos constante durante largo tiempo pero que, en un momento determinado, se elevan la tasa de fallos (**Figura 3**).

3.4. Tasa inicial alta y decreciente seguida de una tasa constante

La probabilidad de fallo inicial es alta y, pasado un tiempo, se vuelve constante o ligeramente decreciente (**Figura 4**).

3.5. Curva de la bañera

La probabilidad de fallo inicial es alta y decrece con el tiempo hasta volverse constante con un periodo final de crecimiento (**Figura 5**).

3.6. Fallos más frecuentes

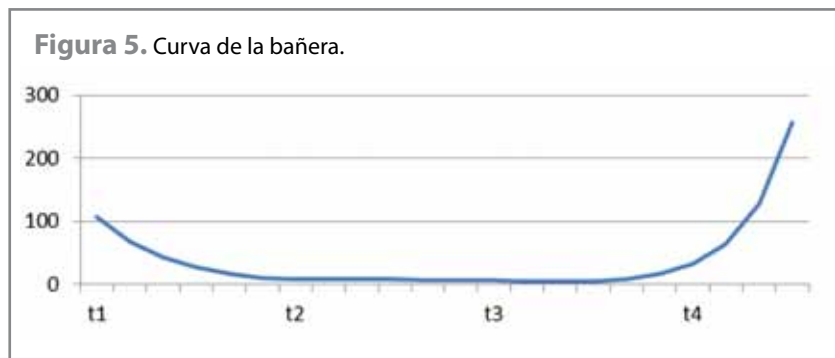
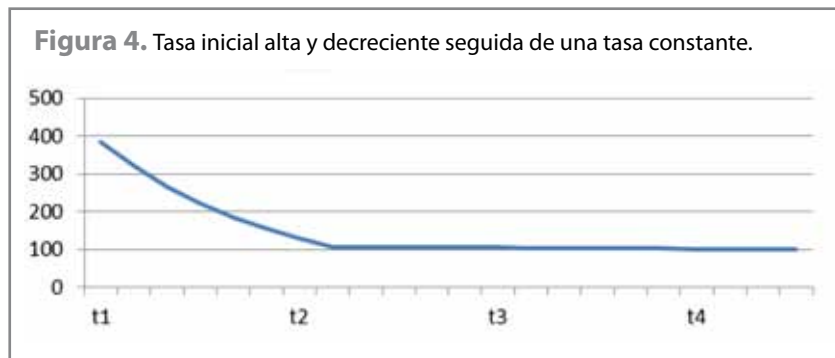
Estudios realizados en diferentes industrias constataron que la mayor frecuencia de los fallos (más de 70 %) se correspondía en dos de los modelos:

- Alta tasa inicial seguida de tasas constantes.
- Tasa constante.

Ello contraviene una de las creencias más imperante en el mantenimiento: a medida que un equipo envejece, es más probable que falle. Esta creencia ha llevado a realizar mantenimientos programados frecuentes que tienden a aumentar la producción de fallos al introducir 'fallos de rodaje' en equipos o sistemas que, de no llevarse a cabo, serían más estables.

4. Fiabilidad

La fiabilidad se ocupa del estudio de la vida útil y de los fallos de los equipos y sistemas de un proceso



industrial. Cuanto más complejo son los equipos o sistemas, la fiabilidad tiende a disminuir. Los estudios de fiabilidad ayudan a identificar las mejoras que pueden introducirse en el rediseño con el objetivo de incre-

mentar la vida útil de los mismos.

La duración de la longevidad de un equipo o proceso está muy condicionada por el diseño y por la implantación. El seguimiento y control de la fiabilidad es un factor importante



para garantizar que la productividad obtenida se encuentra en los niveles más altos posibles.

La fiabilidad es función del tiempo medio entre fallos (TMEF), el tiempo de operación (TO) y la tasa de fallos que, siguiendo la curva típica de la bañera, será con carácter general:

- Inicial: Tasa decreciente < 1 .
- Intermedia: tasa constante $= 1$.
- Final: tasa creciente > 1 .

Debido a las consideraciones antes mencionadas referentes a los modelos que se repiten con más frecuencia en las diferentes industrias, se ha utilizado, para los ejemplos de este artículo, el modelo de tasa constante por ser propia de los equipos de una EDAR y adaptarse a la mayor parte de la vida útil de estos equipos.

Para el cálculo de la fiabilidad se utiliza una distribución exponencial de la forma:

$$F(t) = e^{-\lambda t}$$

donde $\lambda = 1/\text{TMEF}$.

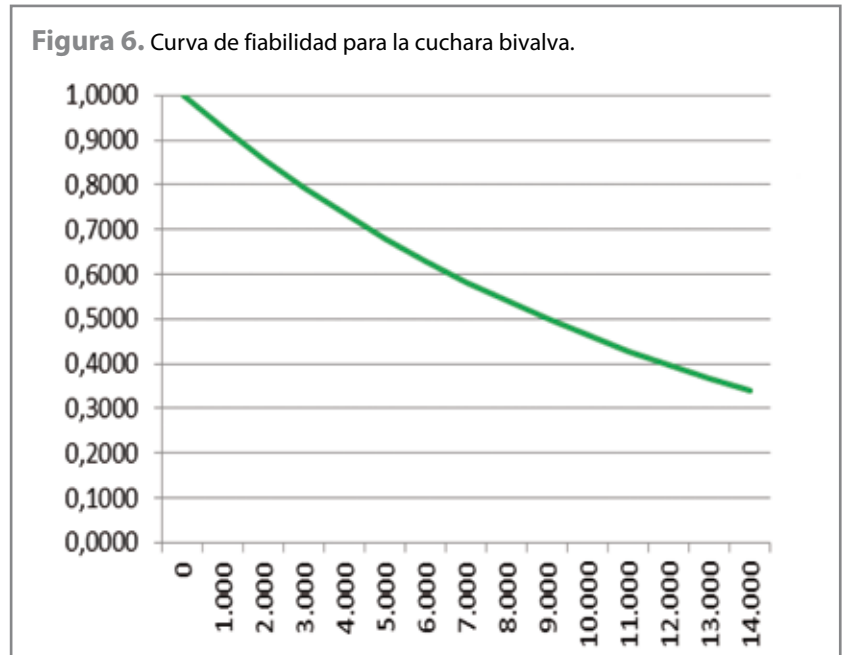
4.1. Cuchara bivalva

Para el cálculo de la fiabilidad de una cuchara bivalva se han utilizado valores obtenidos en instalaciones en funcionamiento:

- TMEF = 1.080 horas.
- TO = 2 h/día.
- Tasa de fallos = 1.

Aplicando a la fórmula de distribución exponencial los valores anteriores se obtiene la curva de la fiabilidad para una cuchara bivalva de la **Figura 6**.

La decisión de cómo y cuándo se realizan trabajos de mantenimiento preventivo deberán de ser adoptadas teniendo en cuenta otros factores como la mantenibilidad, la



disponibilidad y el coste económico incurrido por el fallo del equipo.

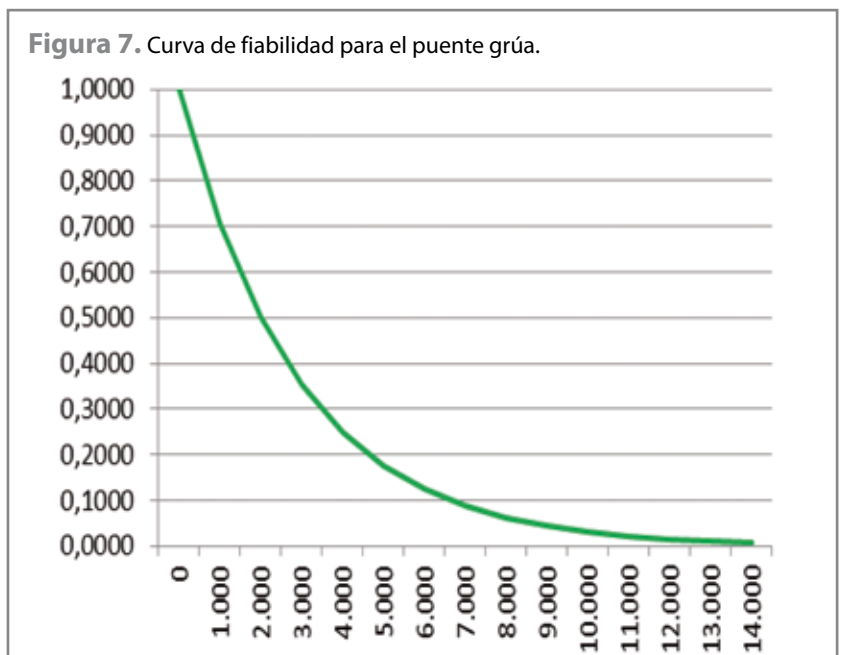
Con carácter general, la cuchara, al ser un equipo de fácil acceso y que durante la mayoría del tiempo se encuentra en reposo, no es de los equipos más críticos de una EDAR, máxime si se tiene en cuenta que el coste económico del fallo es bajo.

La experiencia aconseja que se deba de reducir la probabilidad de que se rompa el cable soporte y la

cuchara acabe en el interior del pozo de gruesos, obligando a realizar una parada temporal de la planta. Para ello se recomienda realizar las revisiones programada del cable soporte o, mejor aún, disponer de un doble soporte.

4.2. Puente grúa

Junto con la cuchara bivalva, el puente grúa o polipasto conforman un sistema denominado pozo de



gruesos. Para el puente grúa los valores disponibles son:

- TMEF = 720 horas.
- TO = 6 h/día.
- Tasa de fallos = 1.

Aplicando a la fórmula de distribución exponencial los valores anteriores se obtiene la curva de la fiabilidad para el puente grúa de la **Figura 7**. El puente grúa del ejemplo presenta una menor fiabilidad que la cuchara como consecuencia de un menor TMEF y un funcionamiento diario superior. Como en el caso anterior, corresponde a los servicios de M&C clasificar a este equipo y definir la programación de las tareas preventivas en función de todos los factores descritos anteriormente y que intervienen en este tipo de decisiones.

4.3. Pozo de gruesos

El pozo de gruesos es un sistema formado por dos equipos en serie: una cuchara (A) y un puente grúa (B):



La fiabilidad de sistemas con equipos en serie se calcula mediante la fórmula:

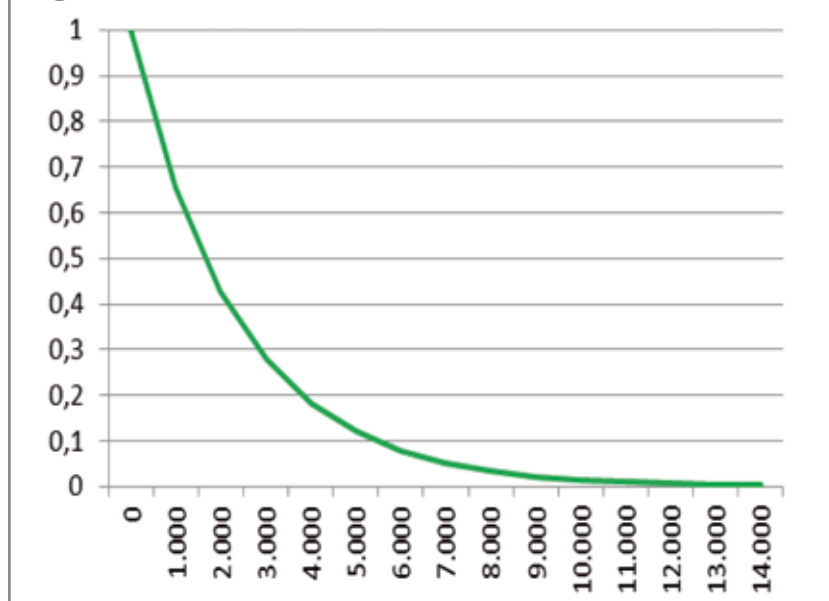
$$F(t) = F_A \times F_B$$

De acuerdo con las fiabilidades obtenidas anteriormente, la fiabilidad del pozo de gruesos será la que marca la **Figura 8**.

4.4. Bombeo de agua bruta

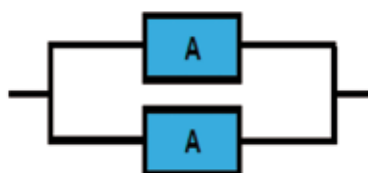
En el bombeo de agua bruta, con bombas sumergibles, los datos disponibles son:

Figura 8. Curva de fiabilidad del pozo de gruesos.



- TMEF = 2.160 horas.
- TO = 12 h/día.
- Tasa de fallos = 1.

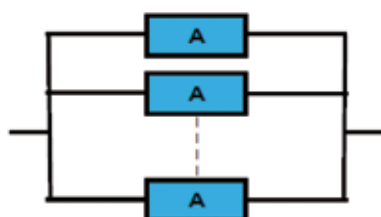
En función de la configuración del bombeo la fiabilidad es diferente. Dependerá del número de equipos que se instalan en paralelo y de la inclusión de uno o más equipos de reserva. La fiabilidad de un equipo que disponga de una unidad de reserva:



se calcula mediante la fórmula:

$$F(t) = 1 - (1 - F_A) \times (1 - F_A)$$

Para equipos en redundancia de k elementos de n con esta configuración:



la fiabilidad se calcula de la forma siguiente:

$$F(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} F_A^i \times (1 - F_A)^{n-i}$$

La curva de fiabilidad con distintas configuraciones es como aparece en la **Figura 9**.

4.5. Obra de llegada

El sistema denominado obra de llegada, que incluye el pozo de gruesos y el bombeo (con una configuración 2+1R), tiene la fiabilidad de la **Figura 10**.

Como la vida útil de un equipo o sistema está muy condicionada por su diseño, es recomendable disponer, a la hora de realizar la selección de los equipos a instalar, además de las prestaciones técnicas, de los TMEF y los TO definidos por el fabricante.

Para realizar una selección económica adecuada de los equipos a instalar es necesario disponer de una estimación económica del coste de los fallos. Incluyendo todos los conceptos asociados con el mismo, tanto las pérdidas asociadas al descen-



Figura 9. Curva de fiabilidad para bombeo de agua bruta.

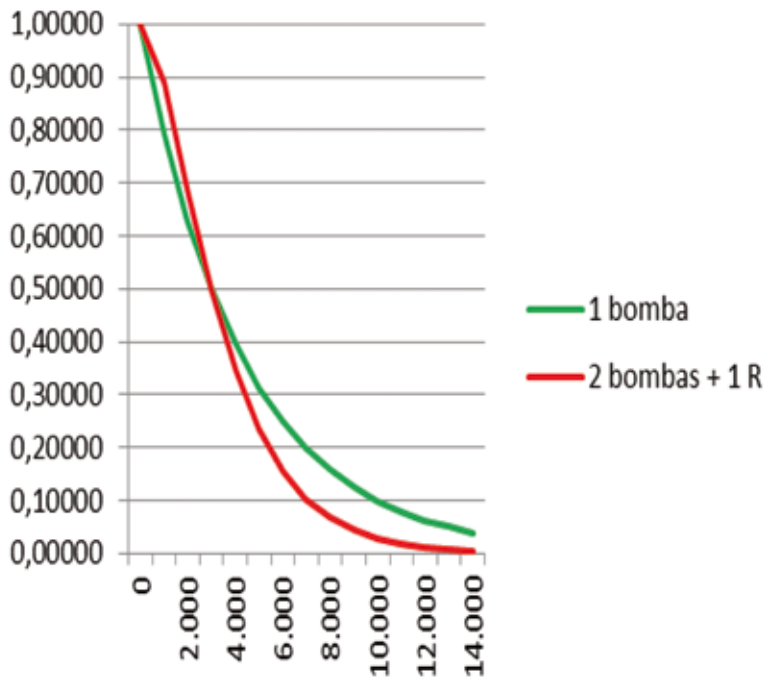
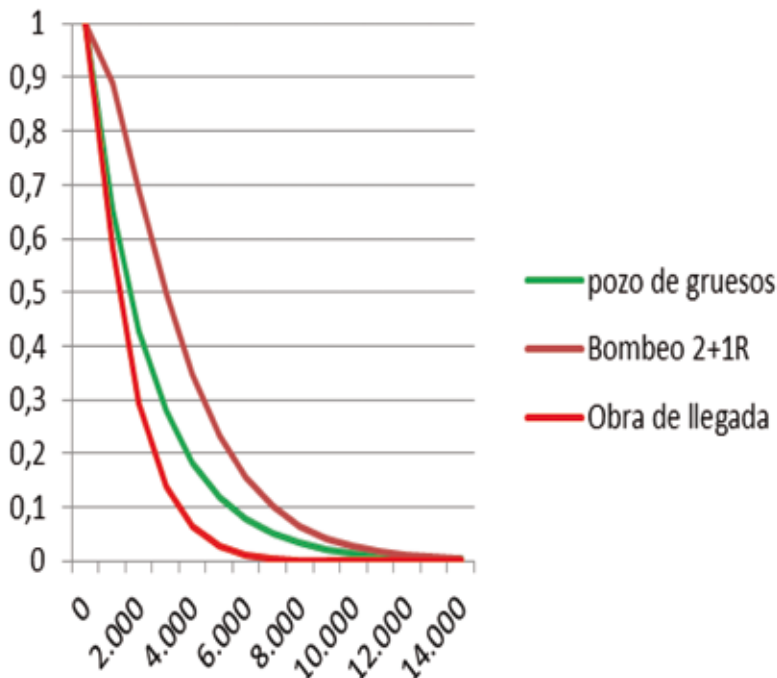


Figura 10. Curva de fiabilidad para el sistema obra de llegada.



so de la producción como los costes asociados a daños colaterales: ineficiencias energéticas, medioambientales, seguridad y salud, calidad, etc.

Son elevados los ahorros económicos que se pueden obtener apli-

cando el concepto de fiabilidad a los equipos y procesos de una EDAR, especialmente al permitir prolongar su vida útil. Realizar actualizaciones periódicas de la fiabilidad real de los equipos y sistemas permitirá dispo-

ner de una herramienta básica para la gestión del servicio de M&C.

En resumen, el uso de la fiabilidad debe de pasar a formar parte, además de para la elección de los equipos y del diseño de los procesos de una EDAR, para definir las estrategias y metodologías implementadas en el M&C.

5. Mantenibilidad

Ante un fallo, se necesita tiempo para su diagnóstico (saber qué ha fallado) y para su reparación o sustitución. A medida que los equipos son más complejos, se utiliza más tiempo en el diagnóstico que en la reparación.

La mantenibilidad analiza la probabilidad de restituir la operatividad del equipo en un tiempo determinado. La mantenibilidad de un equipo o sistema depende de numerosos factores unos propios del equipo o sistema y otros ajenos al mismo. Entre los factores intrínsecos destacan:

- Complejidad técnica del diseño.
- Disposición y claridad de manuales de mantenimiento.
- Componentes: tamaño, peso, fragilidad, etc.
- Calidad de los materiales.
- Herramientas específicas.

Algunos factores externos son:

- Condiciones de trabajo.
- Atención del personal operador.
- Disponibilidad de personal de mantenimiento.
- Capacitación del personal de mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos.
- Disposición de historial de mantenimiento.

Lo mismo que para la fiabilidad, el diseño adquiere un aspecto importante a la hora de mejorar la man-

tenibilidad mediante la adopción de medidas que faciliten la accesibilidad al equipo y la disposición de medios materiales que lo facilitan (puentes grúas, polipastos, etc.).

La forma en que se ejecutan las labores del servicio de M&C, junto con la organización del mismo, son factores importantes a la hora de mejorar la mantenibilidad del equipo. El establecer los tiempos de reparación más adecuados, compatibles con los costes asociados al inmovilizado de repuestos dependerá de decisiones como:

- Definición de los mantenimientos programados establecidos para cada equipo o sistemas: aprovechando o no los tiempos muertos (de parada) del equipo.
- Repuestos adoptados, para cada equipo, en el almacén de la EDAR.

La mantenibilidad es función del tiempo medio de restablecimiento (TMRT):

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

donde $\mu = 1/\text{TMTR}$.

El TMTR depende de muchos factores, entre los que destaca la disponibilidad de los componentes o repuestos de los equipos. La estrategia del almacén de repuestos y del nivel de mantenimiento aplicado dependerá de las garantías que los fabricantes asuman en los plazos de abastecimiento.

5.1. Puente desarenador

Si se optase, en el caso de un puente de un desarenador, por utilizar el almacén del fabricante como fuente de los repuestos del equipo, es decir, $\text{TMTR} = 720$ horas, se tendría la curva de mantenibilidad de la **Figura 11**. La mantenibilidad del puente desarenador, en estas circunstancias,

Figura 11. Curva de mantenibilidad del puente desarenador (TMTR = 720 h).

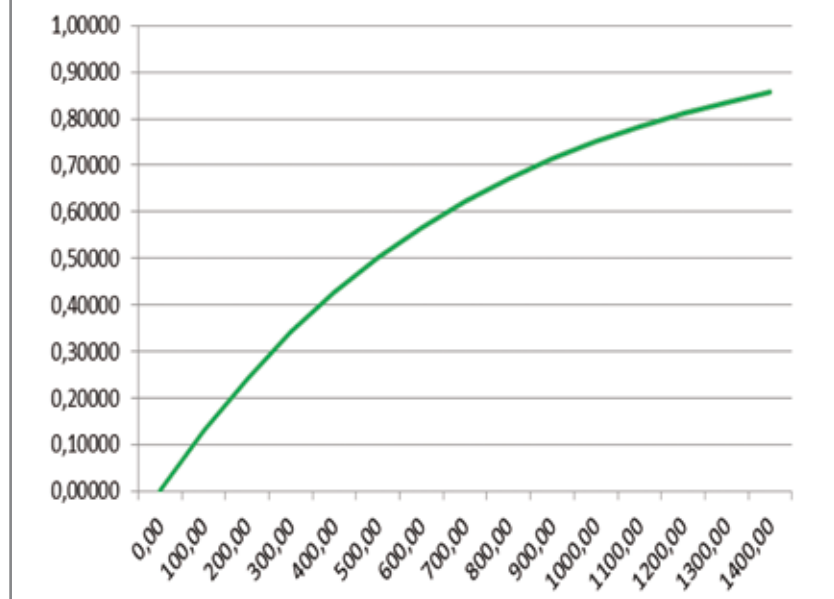
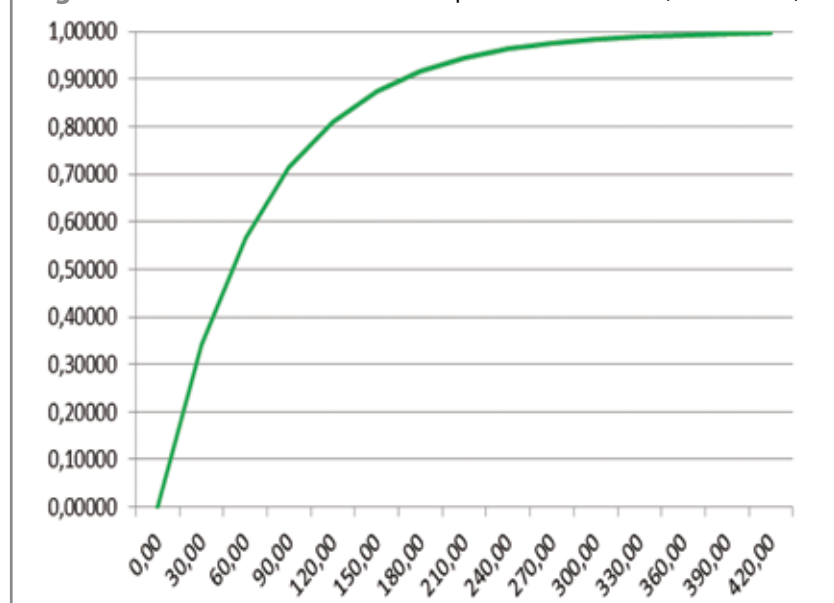


Figura 12. Curva de mantenibilidad del puente desarenador (TMTR = 72 h).



es muy baja. Es necesario adoptar medidas para mejorarla. En este caso concreto, se optó por disponer, en el almacén de la EDAR, de una serie de piezas de repuestos y recambios que permitiesen abordar cualquier reparación con un TMTR de 72 horas. La mantenibilidad mejoró de forma considerable (**Figura 12**).

La mantenibilidad aporta información para definir la gestión del almacén (estableciendo los niveles de

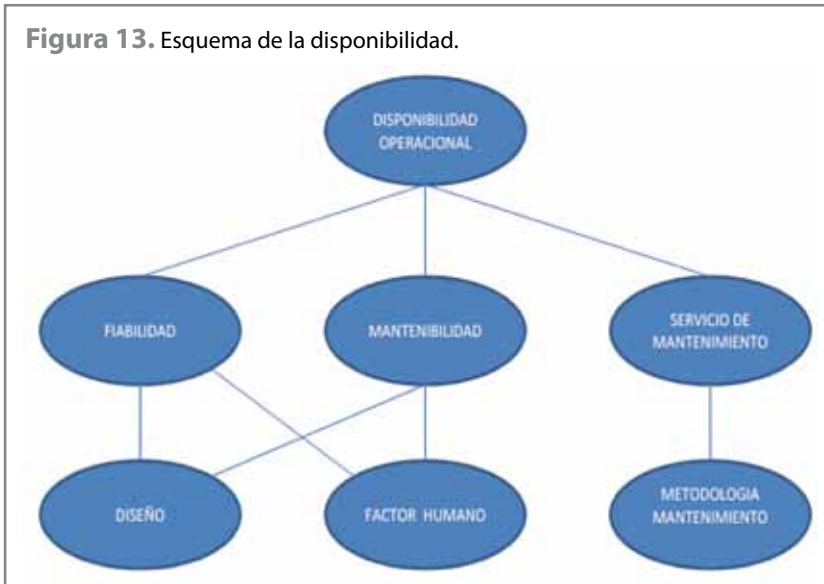
repuestos que son recomendables para cada equipo), la organización de personal y los medios adscritos al servicio de M&C necesarios para lograr los valores establecidos.

6. Disponibilidad

La disponibilidad depende de la fiabilidad y de la mantenibilidad y, en gran medida, de la etapa de diseño (**Figura 13**). Se insiste en dar, a la etapa de diseño, una gran impor-



Figura 13. Esquema de la disponibilidad.



tancia, porque determina la disponibilidad que el equipo o el sistema van a tener a lo largo de su vida útil. Según estadísticas, cerca del 60% de los fallos de un equipo o sistema pueden evitarse con un buen diseño o rediseño.

Existen tres tipos de disponibilidad:

- Inherente. La disponibilidad inherente es la esperada mediante la aplicación de un mantenimiento correctivo, asumiendo que se dispone, sin demora, de los repuestos necesarios y del personal para ejecutarlo.

- Alcanzable. La disponibilidad alcanzable es la obtenida aplicando no solo el mantenimiento correctivo sino también un nivel determinado de mantenimiento preventivo y correctivo suponiendo, también, que se dispone, sin demora de los repuestos necesarios y del personal para su ejecución.

- Operacional. Es la disponibilidad que realmente interesa medir, y que es la obtenida aplicando técnicas de mantenimiento preventivo y correctivo, junto con análisis de tamaño óptimo del almacén de repuestos.

Evidentemente, la disponibilidad inherente es mucho mayor que la al-

canzable y que la operacional, siendo esta la menor de todas ellas y con la que se trabaja normalmente. La disponibilidad operacional se define como el coeficiente entre el tiempo que el equipo está a disposición para realizar las labores para los cuales ha sido diseñado y el tiempo total (TT):

$$D = (TT - TMTR)/TT$$

donde $TT = TMEF \times (24/TO) + TMTR$.

El análisis de la disponibilidad de una EDAR es muy singular y diferente a la mayoría de las industrias. Mientras que estas últimas se diseñan para obtener una producción determinada y bastante uniforme, los equipos y procesos de una EDAR se caracterizan por:

- Diseñarse bajo dos conceptos.
- Capacidad hidráulica.
- Capacidad orgánica.
- Diseñarse para percentiles: normalmente percentil 85%.
- Diseñarse para el futuro: 25 años.

Los procesos de una EDAR tienen capacidades excedentarias. Se dispone, durante varias horas al día, de capacidad temporal para depurar caudales máximos, caudales punta y

cargas puntas. Es decir, los equipos y procesos de una EDAR pueden mantener la disponibilidad total para las condiciones medias, con parte de ellos fuera de servicio, sin que se vea afectada la producción de biosólidos y la calidad del agua depurada.

En la etapa de diseño es de capital importancia el número de unidades que van a conformar cada proceso. Por ejemplo, partiendo de un caudal punta doble del caudal medio, con dos unidades, en caso de fallo de una de ellas, la otra tendría capacidad para trabajar, todo el tiempo, con el 50% del caudal medio y entre 4 y 6 horas todo el caudal medio. Si se opta por instalar tres unidades, en caso de fallo de una de ellas, las otras dos tendrían capacidad para trabajar, todo el tiempo, con el 67% del caudal medio y, entre 4 y 6 horas, con un 133% del caudal medio.

En una EDAR la fase de diseño de ubicación de los equipos y de los procesos es determinante a la hora de definir la disponibilidad de los mismos y del conjunto de la planta.

6.1. Desbaste de gruesos

Los datos disponibles para un desbaste de gruesos de una EDAR, sin ningún tipo de repuestos en el almacén de la planta, son:

- TMEF = 720 horas.
- TO = 4 h/día.
- TMTR = 720 h.
- $TT = 720 \times (24/4) + 720 = 5.040$ h.

La disponibilidad inicial es del 85,71% para el caudal máximo.

Mediante el establecimiento de un nivel de repuestos adecuado, se ha podido reducir los valores anteriores:

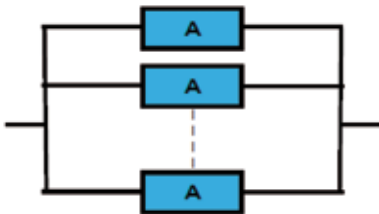
- TMEF = 720 horas.
- TO = 4 h/día.
- TMTR = 72 h.
- $TT = 720 \times (24/4) + 72 = 4.392$ h.

La disponibilidad ascendió, de manera considerable, hasta el 98,36% para el caudal máximo.

Deseando mejorar la disponibilidad del desbaste de gruesos, se optó, además de mantener el nivel de repuestos anterior, por disponer de un equipo en reserva *in situ*, en cuyo caso la disponibilidad de equipos en redundancia de k elementos de n se calcula de la forma siguiente:

$$D = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} D_A^i \times (1 - D_A)^{n-i}$$

En este caso, el proceso se diseñó con dos equipos instalados en servicio más uno en reserva:



aplicando la fórmula:

$$D = 3 \times D_A^2 - 2 \times D_A^3$$

La disponibilidad del desbaste de gruesos se incrementó hasta el 99,92%.

Con esta configuración y teniendo en cuenta que el desbaste se diseñó para el caudal máximo (que incluye las aguas pluviales, con valores entre tres y cinco veces el caudal medio), cualquier fallo en uno de los canales de desbaste permitiría procesar la totalidad del caudal medio y, posiblemente, la totalidad del caudal punta (el máximo de las aguas residuales) con una disponibilidad del 100%.

El nivel de repuestos, la disponibilidad del personal de mantenimiento y los medios disponibles deberán de garantizar que la reparación se realiza en un plazo inferior a las 72 horas. Obsérvese, caso del puente del desarenador, que con un TMRT de

72 horas la mantenibilidad del equipo no supera el 70%.

6.2. Desbaste

Si se opta por instalar un desbaste de finos con la configuración: la disponibilidad del desbaste (grue-



sos y finos) se calcula mediante la fórmula:

$$D = D_A \times D_B$$

Se obtienen así las siguientes disponibilidades:

- Solo repuestos en almacén: 96,76%.
- Con equipo de reserva *in situ*: 99,84%.

La mantenibilidad del conjunto caería por debajo del 50%.

6.3. Desarenado-desengrasado

Aplicando el mismo criterio al sistema desarenado-desengrasado formado por el puente desarenador, las bombas de arenas y grasas, las soplantes de aire, el clasificador de arenas y el separador de grasas, se obtendrían los resultados de la **Tabla 1**.

bla 1. La mayor parte de los equipos forman parte de un catálogo. Los plazos de entrega para los repuestos, por parte de los fabricantes, son menores.

Mediante el estudio correspondiente, se definen los repuestos que se deben de disponer en el almacén de la EDAR para reducir el TMTR a 72 horas. En este caso, la disponibilidad del sistema desarenado-desengrasado sería como aparece en la **Tabla 2**, pasando de una disponibilidad del 63,55% a una por encima del 90%. Adoptando otras medidas complementarias, como las descritas en la **Tabla 3**, se mejora la disponibilidad hasta alcanzar valores por encima del 95%.

7. Conclusiones

La etapa de diseño tiene una importancia capital en la vida útil de los equipos. Es necesario disponer, en esta etapa y por parte de los fabricantes de los equipos, de los valores de los TMEF y TMTR para realizar una evaluación técnico-económica adecuada. También es importante disponer de los compromisos en los plazos de entrega de repuestos y recambios.

La operación de los equipos, por parte del personal a su cargo, y las labores asociadas al mantenimiento de uso, son otros factores a tener en cuenta a la hora de prolongar la vida útil de los equipos.

Equipo	TMEF total (h)	TMTR sin almacén de repuestos (h)	Disponibilidad inicial (%)
Puente desarenador	8.760	720	92,41%
Bomba de arenas	3.600	360	90,91%
Bomba de grasas	7.200	360	95,24%
Soplantes desarenadores	7.200	360	95,24%
Lavador de arenas	4.000	360	91,74%
Separador de grasas	3.600	360	90,91%
Desarenado-desengrasado			63,55%

**Tabla 2.** Disponibilidad del sistema desarenado-desengrasado corregido.

Equipo	TMEF total (h)	TMTR con almacén de repuestos (h)	Disponibilidad inicial (%)
Puente desarenador	8.760	72	99,18%
Bomba de arenas	3.600	72	98,04%
Bomba de grasas	7.200	72	99,01%
Soplantes desarenadores	7.200	72	99,01%
Lavador de arenas	4.000	72	98,23%
Separador de grasas	3.600	72	98,04%
Desarenado-desengrasado			91,80%

Los costes asociados al M&C de una EDAR son sufragados por los usuarios a través de las tarifas. El error de realizar una gestión inadecuada de la misma basada en ahorros a corto plazo, suele traducirse en un acortamiento de la vida útil de los equipos y la necesidad de sustituirlos a medio plazo, obligando a revisar al alza las tarifas.

Optimizar los costes del servicio de M&C de una EDAR es una labor que todo gestor debe realizar para evitar despilfarros económicos. Finalmente, para gestionar el servicio de M&C de forma racional es necesario:

- Utilizar indicadores de la calidad del servicio:
 - Fiabilidad.

- Mantenibilidad.
- Disponibilidad
 - Establecer un coste económico para el fallo, mediante la asignación de un valor en euros a cada tonelada de biosólido que se deja de producir.
 - En función de la fiabilidad y de la mantenibilidad de un equipo o sistema, de los plazos de entrega de repuestos del fabricante y de los costes de adquisición, se deberán de establecer diferentes niveles de mantenimiento para cada uno de los equipos de una EDAR:
 - Nivel 0: Cuello de botella.
 - Nivel 1: Equipo principal.
 - Nivel 2: Equipo asociado a proceso principal.
 - Nivel 3: Equipo asociado a proceso.

- Nivel 4: Equipo no asociado a proceso.

- Definir los niveles de los indicadores que se desean mantener.
- Establecer los recursos humanos adecuados para los indicadores establecidos.
- Disponer de personal con formación.
- Disponer los medios materiales adecuados.
- Definir los niveles de repuestos en:

- Almacenes de los fabricantes
- Almacenes centrales.
- Almacén en EDAR.
- Disponer de la documentación adecuada:
 - Datos técnicos.
 - Manuales de mantenimiento.
 - Historial de mantenimiento
- Realizar auditorías técnicas anuales.

Bibliografía


- [1] Vázquez Gutiérrez, A.J. Fiabilidad y mantenibilidad en el diseño de sistemas de mando y control de buques militares.
- [2] Zárate Fraga, M. PFC Análisis Rams. Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] Redondo Expósito, J.C. Un modelo matemático óptimo de mantenimiento y fiabilidad aplicado a la aviación comercial. UNED, tesis doctoral.
- [4] Fernández Pérez, A.J. Metodología para la priorización de sistemas, estructuras y componentes en la optimización del mantenimiento de una instalación industrial. ETS Ingenieros de Minas, tesis doctoral. 

Tabla 3. Disponibilidad del sistema desarenado-desengrasado adoptando otras medidas complementarias.

Equipo	TMEF total (h)	Medidas adoptadas	TMTR final (h)	Disponibilidad inicial (%)
Puente desarenador	8.760	Potenciar mantenimiento preventivo y lista de repuestos nivel 3	48	99,46%
Bomba de arenas	3.600	Equipo reserva en taller	18	99,50%
Bomba de grasas	7.200	Equipo reserva en taller	18	99,75%
Soplantes desarenadores	7.200	Equipo reserva <i>in situ</i>		99,77%
Lavador de arenas	4.000	Potenciar mantenimiento preventivo y lista de repuestos nivel 2	36	99,11%
Separador de grasas	3.600	Potenciar mantenimiento preventivo y lista de repuestos nivel 2	36	99,01%
Desarenado-desengrasado				96,86%