



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

## ANÁLISIS DE FALLOS Y PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SALOBRE

Trabajo final de Grado de Ingeniería Mecánica

Autor: Alfredo Madrid Medina

Tutor: José Miguel Salavert Fernández

Curso: 2021-2022

Valencia, 18 de mayo



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer el apoyo moral de mi familia que siempre ha estado a mi lado apoyándome en todo y ayudándome en lo que necesitare, en especial a mi padre, el cual me ha ayudado en todo lo que ha podido gracias a su experiencia en el campo de la ingeniería.

En segundo lugar, quiero agradecer todo el apoyo y atención que me ha brindado mi tutor, José Miguel Salavert Fernández, quien siempre ha aportado cosas para mejorar el proyecto, así como motivación para darlo todo.

Por último, agradecer a mis amigos que siempre han estado a mi lado apoyándome y motivándome para llevar a cabo este trabajo.

## **RESUMEN**

En las plantas de tratamiento de agua salobre una de las fases más crítica en la producción es el paso del agua por las bombas de alta presión, dado que es el paso previo a la entrada del agua al proceso de la ósmosis inversa. Al ser una máquina bastante compleja un fallo total podría llegar a provocar un paro total de la planta durante un tiempo demasiado extenso, teniendo una repercusión importante ya que se trata de la producción de agua para el consumo humano de una ciudad.

A lo largo del trabajo se llevará a cabo un análisis de estos fallos, a través de un histórico de averías, así como la inspección visual de partes que se han dañado y que han sido reparadas. Una vez se haya llevado a cabo este análisis se analizará la gravedad de cada fallo provocado por diferentes aspectos.

Cuando ya se tenga toda esta información se llevará a cabo la planificación del mantenimiento de todo el conjunto de las bombas de alta presión.



# ÍNDICE

## **I – MEMORIA DESCRIPTIVA**

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes y justificación.....	1
1.2 Alcance.....	1
1.3 Objetivos .....	2
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS .....</b>	<b>2</b>
2.1 Explicación del proceso y análisis de la importancia de la etapa de las bombas de alta presión.....	2
2.2 Porque se utilizan este tipo de bombas.....	5
2.3 Descripción del mantenimiento actual.....	6
<b>CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE LAS AVERÍAS .....</b>	<b>7</b>
3.1 Análisis averías.....	7
3.1.1 Síntomas de averías.....	7
3.1.2 Elementos que conforman las partes donde se produce fallo.....	7
3.1.3 Descripción y enumeración de los síntomas de las averías.....	8
3.2 Análisis del histórico de fallos de la bomba.....	11
3.3 Análisis de Pareto .....	14
3.3.1 Puntos clave.....	17
3.3.2 Explicación de las averías, o averías asociadas a síntomas, que más coste producen .....	17
<b>CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE ALTA PRESIÓN .....</b>	<b>18</b>
4.1 Planificación del mantenimiento .....	18
4.2 Mantenimiento general.....	19
4.3 Rutinas de mantenimiento .....	23
4.4 Gamas de mantenimiento .....	24
4.5 Mantenimiento específico de los fallos o averías asociadas a síntomas más costosos	25
4.6 Conclusiones .....	27
<b>II- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS .....</b>	<b>32</b>
1. Objeto.....	32
1.1 Normativa general.....	32

1.2 Normativa específica.....	33
1.3 Normativa sobre gestión de residuos .....	34
1.4 Normativa de seguridad y salud.....	34
1.5 Orden de Trabajo .....	35
<b>III- PRESUPUESTO .....</b>	<b>56</b>
1.1 Presupuesto general .....	56
1.2 Presupuesto y mediciones .....	57
<b>IV- PLANOS Y ESQUEMAS .....</b>	<b>62</b>
1. ESQUEMAS SITUACIÓN DE LAS BOMBAS DE AP EN LA PLANTA Y DE LAS OFICINAS DE MANTENIMIENTO .....	63
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>
1. ANEXO I: Modelo de parte de avería .....	66
2. ANEXO II: Bibliografía .....	67





**MEMORIA**

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes y justificación

Las bombas de alta presión sobre las cuales se va a llevar a cabo el análisis de fallos y, en consecuencia, una planificación del mantenimiento, están situadas en una planta de tratamiento de agua salobre, en la cual este tipo de bombas son la etapa previa a la entrada del flujo de agua en el proceso de ósmosis inversa. En este tipo de plantas el objetivo principal es que a partir de agua salobre (normalmente de pozos) mediante una serie de procesos poder conseguir agua apta para el consumo humano.

La etapa de las bombas de alta presión es una de las más importantes y críticas del proceso puesto que como se ha comentado anteriormente es la etapa previa a la del proceso de ósmosis inversa, además este tipo de bombas están trabajando a unas presiones que pueden llegar hasta los 25 bar, por lo cual cualquier fallo no solo llevaría a parar totalmente la producción, sino que además según el tipo de fallo podría provocar que algún trabajador pudiera salir herido. Otro punto importante es que, al tratarse de bombas de dimensiones relativamente grandes, midiendo 1.5m de largo, 1.8m de alto y 0.8m de ancho, cualquier fallo produce una parada de tiempo prolongado de ahí la importancia de evitar averías inesperadas, lo que se consigue con un adecuado mantenimiento preventivo (entre otras técnicas).

### 1.2 Alcance

Este proyecto se va a centrar en la parte del proceso encargado de obtener la presión adecuada para llevar a cabo la ósmosis inversa, la cual es la de las bombas de alta presión. La cantidad de bombas necesarias siempre va a ir ligada al número de bastidores que tenga la planta y siempre rigiéndose por la regla conocida como la de “n + 1”, es decir por cada bastidor tendremos una bomba de alta presión más 1, que sería la de reserva.

En concreto, el proyecto se centrará en la parte del proceso de las bombas de alta presión cuando ocurren averías de manera inesperada, las cuales se analizarán mediante un análisis de Pareto y, a continuación, con los datos obtenidos llevar a cabo una planificación del mantenimiento para evitar que no ocurran más averías inesperadas.

Las averías inesperadas serían aquellas que se producen cuando, por ejemplo, están las bombas en marcha y nos producen una parada no programada o por el contrario cuando se pone en marcha y esta da fallo.

### 1.3 Objetivos

El objetivo general de este proyecto es poder llevar a cabo un mantenimiento de las bombas de alta presión en una planta de tratamiento de agua salobre.

Los objetivos específicos que se pretenden conseguir en este proyecto son:

- Una vez conocidos los fallos, que no se vuelvan a producir.
- El mantenimiento aplicado no produzca parada de la máquina o, en su defecto, minimice al máximo el tiempo de la parada.
- Minimizar al máximo el mantenimiento correctivo, porque es el que puede provocar más costes de parada de la máquina.
- Que no se desaproveche nada de flujo de agua que pasa por la bomba a causa de una avería o, en su defecto, minimizarlo al máximo.

Para lograr estos objetivos se planificará un mantenimiento adecuado para cada componente de la bomba que nos pueda producir un fallo, consiguiendo de esta manera aumentar su vida útil, minimizando las paradas de la bomba y, en consecuencia, las paradas de producción de agua de la planta.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS

### 2.1 Explicación del proceso y análisis de la importancia de la etapa de las bombas de alta presión

Como bien se ha comentado anteriormente se trata de una planta de tratamiento de agua salobre, lo cual significa que el agua de entrada a la planta tiene una cierta cantidad de sales disueltas en el agua, normalmente se considera salobre al agua que tiene una cantidad entre 0,5 y 30 gramos de sal por litro, lo cual es menos que en el agua del mar. Este tipo de agua suele ser para potabilizarla y así utilizarla para el consumo humano de agua de la población en aquellos sitios situados cerca de las costas en los cuales no tienen una fuente cercana de agua dulce y que no tienen medios para poder desalar el agua de mar.

El proceso del tratamiento de agua empieza por la captación de agua, la cual se suele hacer de pozos cercanos. Una vez llega el agua a planta la captación se hace a través de bombas de aspiración, las cuales tienen que ser cebadas previamente para que pueda aspirar el agua, las cuales trabajan a unos 5-6 bar y un caudal de trabajo de alrededor 300 m<sup>3</sup>/h trabajando alrededor de 2100rpm durante 360h de trabajo continuo hasta que se cambia a la gemela, llegando a trabajar 4320h al año. El agua bombeada pasa a unos filtros de arena, por los cuales el agua entra por la parte superior y por la acción de la gravedad va pasando por las capas

formadas por grava y filtralite, consiguiendo eliminar los sólidos en suspensión de mayor tamaño. Una vez ha pasado esta primera etapa de filtración pasa a una segunda etapa, pasando a través de unos filtros de cartucho para eliminar sólidos en suspensión de menor tamaño, ya que los filtros son de 20 micrómetros, esta etapa es sobre todo de seguridad, para evitar que entren sólidos de un tamaño elevado que a la hora de entrar en los bastidores dañarían las membranas.

Después de esta segunda etapa de filtración se pasaría a la zona de las bombas de alta presión, que se puede ver su situación dentro de la planta de agua en la figura 23. El agua llega a este punto alrededor de 3 bar a causa de las pérdidas de presión ocurridas a lo largo de la línea de agua, siendo necesarios normalmente 12-14 bar a la salida de estas bombas, pero pudiendo llegar hasta 25 bar si la conductividad del agua es muy elevada porque, a mayor conductividad, mayor presión necesaria para llevar a cabo la ósmosis inversa. Estas bombas trasiegan alrededor de 250-270 m<sup>3</sup>/h a una velocidad de unos 2150rpm, aunque están preparadas para llegar alrededor de unos 2900rpm. En este proceso para evitar que las sales y los sólidos precipiten además de que haya incrustaciones en el sistema de ósmosis se le añade al agua un dispersante.

Una vez el agua ya sale de las bombas, pasaría a la zona de bastidores, donde tiene lugar el proceso de la ósmosis inversa. La ósmosis inversa consiste en, a través de un flujo de agua de alta concentración de sales, obtener uno con una concentración por debajo de la estipulada en la normativa vigente. Cuando dos flujos de agua (uno con mayor concentración de sales y otro menor) están en contacto, el agua de manera natural va a ir hacia al de mayor concentración, y lo que se busca con la ósmosis inversa es justo el proceso contrario, es decir, vencer el proceso natural del agua, por ello es necesario presiones elevadas que pueden llegar hasta los 25 bar. Además de la presión se necesita una membrana semipermeable, es decir, deja pasar el fluido en un sentido, pero no en el contrario. Para separar las sales del agua, la membrana lo que hace es una difusión, es decir, el agua va pasando las diferentes capas hasta que llega al centro, desde donde ya pasa al siguiente proceso, mientras que las sales se van quedando en la membrana.

Cuando ya se tiene el agua osmotizada, se pasaría a la zona donde se le añade hidróxido de cal, para así poder controlar el pH, dado que el agua que sale después del proceso de ósmosis es algo ácida para el consumo humano, alrededor de 5-5.5 pH, con lo que gracias al hidróxido de cal nos aumenta el pH hasta alrededor de 7.5 pH. Ya mezclada el agua se pasa a un depósito donde se le hace una cloración para volver a controlar el pH, porque a veces la cal nos puede aumentar demasiado el pH, con lo cual hay que estar controlando el pH con estos dos productos químicos.

En este tipo de plantas prácticamente todos los equipos suelen tener como mínimo una máquina gemela, para así garantizar que, si una de ellas tiene un problema, puedes utilizar su gemela evitando así que se tenga que parar la producción. Para evitar que solo funcione una y la otra solo se ponga cuando falle la principal, pudiendo ser que esta al estar tanto tiempo parada no funcione bien, cada cierto tiempo se suele hacer un cambio de máquina por su gemela, para así

tener todas las máquinas en perfecto funcionamiento en caso de que alguna de ellas se estropee.

A continuación, se muestra un esquema simplificado del proceso para que se vea de manera más visual y quede más claro.

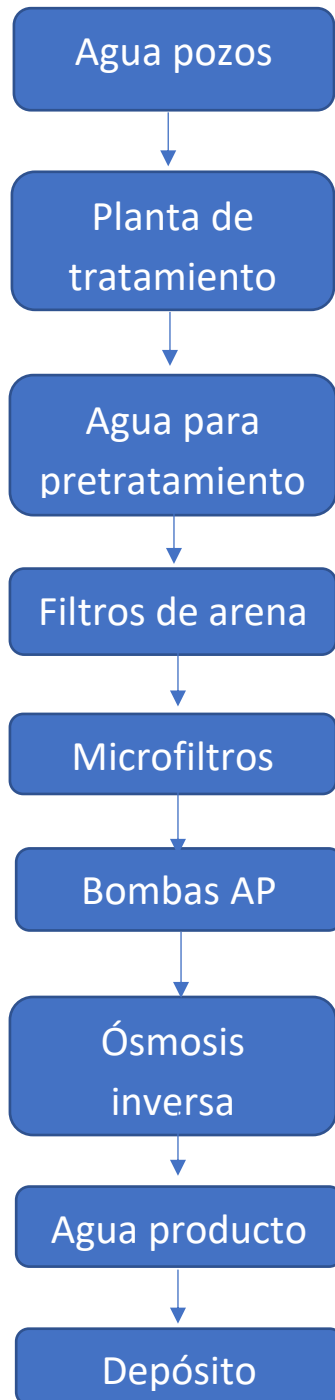


Fig. 1 Esquema simplificado de la línea de agua de la planta

## 2.2 Porque se utilizan este tipo de bombas

Las bombas que se utilizan para esta parte del proceso son bombas centrífugas de cámara partida, la cual se puede ver en la imagen (Fig. 2). Este tipo de bombas suelen soportar bien la abrasión y la corrosión ya que el cuerpo está hecho de hierro fundido, como se ha comentado anteriormente el líquido que suele llegar a las bombas suele contener cierta cantidad de sal, así como productos químicos usados para el tratamiento del agua. Además, otra característica por el que se suele utilizar es por el rango amplio de funcionamiento que tienen, cosa muy importante en el proceso, porque al ser bastante habitual la variación de caudales, se necesita una bomba que no tenga problemas con estos cambios.

Otro dato interesante es que puede llegar el agua con cierta cantidad de aire, por eso también se utilizan este tipo de bombas, porque no suelen presentar problemas en este tema. También es importante que la bomba a la hora del mantenimiento sea sencilla y que las piezas no sean especialmente difíciles de intercambiar, siendo otro punto importante que ofrecen las bombas de cámara partida. Una de las grandes ventajas a la hora del mantenimiento es que al estar montadas en dos partes (una superior y una inferior), es bastante sencillo desmontarlas y acceder al interior, pero por otra parte esto también tiene una desventaja, que si la presión de salida aumenta considerablemente la estanqueidad de la bomba se pone en riesgo, lo cual implicará el uso de sellos de gran grosor.

En la siguiente imagen se puede ver un tipo de bomba centrífuga de cámara partida que se puede usar con bombeos de agua.



Fig. 2. Bomba centrífuga horizontal de cámara partida.

### 2.3 Descripción del mantenimiento actual

El departamento de mantenimiento de la planta está formado por el jefe de mantenimiento y un técnico de mantenimiento, los cuales se reparten las diferentes actuaciones a llevar a cabo en toda la planta. Las oficinas donde tendrán los ordenadores se situarán en la planta alta del edificio tal y como se puede ver en la figura 24. Del mantenimiento de las bombas se encarga el técnico de mantenimiento ya que es el especialista en temas mecánicos.

Actualmente el mantenimiento que se le aplica a las bombas de alta presión se basa sobre todo en una inspección visual diaria de que esté todo correcto y que no haga ruidos raros. Otra actuación que se lleva a cabo es que cada vez que se pone en marcha la bomba después de estar parada se rellenan unas tablas con una serie de parámetros, siendo el cambio de bombas cada dos semanas. En estas tablas se apunta la temperatura de los rodamientos las cuales se llevan a cabo con un pirómetro, tanto el del lado del acoplamiento como el del contrario, la temperatura ambiente y se apuntan las vibraciones que tiene la bomba, las cuales se toman en los dos rodamientos y en los apoyos de la bancada con la ayuda de un vibrómetro. Unas vibraciones elevadas se considerarían cuando estas superasen los 2mm. Después cada dos meses, en otra tabla se toman las medidas de la potencia a la cual está funcionando la bomba, el porcentaje del variador (con el cual sabiendo a los rpm máximos que puede ir la bomba se obtienen los rpm a las que está yendo en ese momento), la intensidad a la que está funcionando y la presión de salida de la bomba; con estos datos se mira si hace falta el cambio de aceite, el cual se hace cada 3.600h de funcionamiento o en su defecto cada año.

Además, cada 2 años se pintan las bombas por fuera con pintura especial a la cual se le aplica una doble capa de epoxi reticulado con poliamida especial, para evitar que aparezca la corrosión.

Tienen un almacén para recambios de piezas y otro para las herramientas. En el almacén de recambios de piezas suelen tener juegos de rodamientos, juegos de camisas y juegos completos de aros de rozamiento y protección. Actualmente el mantenimiento específico de las bombas de alta presión está subcontratada a la empresa fabricante que suministró las bombas y, el mantenimiento que lleva a cabo es básicamente ir cuando alguna de las bombas falla para ver qué le pasa o según lo que le digan desde la planta que está fallando llevar ya el equipo y las piezas de recambio necesarias para reparar esa avería, además de una vez al año van a comprobar que la alineación de la bomba sea correcta y aprovechan para hacer una revisión general de la misma.

Una vez el operario haya acabado de hacer la actuación sobre la bomba tiene la obligación de rellenar la correspondiente orden de trabajo. La documentación disponible tanto para el operario como para el jefe de mantenimiento son las especificaciones técnicas del equipo sobre el que hace la actuación, así como el histórico de ordenes de trabajo relacionadas con la máquina.

## CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE LAS AVERÍAS

### 3.1 Análisis averías

El análisis de averías se lleva a cabo para poder inspeccionar la frecuencia de los fallos que se dan y prevenir problemas futuros que se produzcan de manera similar, así como optimizar el rendimiento del proceso.

#### 3.1.1 Síntomas de averías

A continuación, se detalla una lista de las consecuencias de averías más habituales que se producen en las bombas de alta presión:

- Al arrancar se para la bomba porque hay un punto con cierta dureza
- Aceite de la cajera sale de color gris
- Se gripa cajera del lado rodamiento del motor
- Manguito del eje motor gripado
- Fallo variador
- Prisioneros del casquillo porta-rodamientos sueltos
- Obstrucción cajeras

También se suelen producir una serie de modos de fallo:

- Rotura del cierre mecánico del lado opuesto al acoplamiento
- Fuga cierres mecánicos

#### 3.1.2 Elementos que conforman las partes donde se produce fallo

- Eje: Es el elemento que transmite la energía del motor a la bomba. Es el elemento que a veces se queda gripado al arrancar la bomba de la manera habitual teniendo que recurrir a una llave para hacerla girar manualmente y así después poder arrancarla.
- Cierres mecánicos: Son un tipo de sellos con los que se consigue que no se produzcan fugas por el agua bombeada entre la carcasa y el eje. Este tipo de cierres no deberían fugar en ninguna circunstancia, con lo cual, cualquier fuga sería indicativa de un problema, que difícilmente irá a mejor, con lo que si no se les hace el mantenimiento adecuado acabarán rompiéndose porque no se estarán refrigerando de la manera adecuada.



- Cajeras: Este es el elemento en el cual están los rodamientos. Es un elemento que debe estar muy bien lubricado, ya que está sometido a un constante rozamiento, con lo cual que se gripen quiere decir que por alguna razón no se está lubricando correctamente igual en el caso de que el aceite salga de color gris.
- Manguito: Es el elemento que sirve de acoplamiento entre la bomba y el motor. Es un elemento que también sufre de rozamiento por eso cuando se gripa no deja arrancar la bomba.
- Variador: Es el elemento con el cual se regula la potencia de salida de la bomba mediante el control de la velocidad del motor, consiguiendo así que la bomba no esté trabajando siempre al 100%, sin ser necesario la mayoría de las veces, o evitando tener que regularla estrangulando las válvulas, con el consiguiente desgaste que sufren estas.
- Prisioneros del casquillo porta-rodamientos: Son los tornillos que se encargan de que el casquillo vaya unido al rodamiento.

### 3.1.3 Descripción y enumeración de los síntomas de las averías

- Al arrancar se para la bomba porque hay un punto con cierta dureza:
  - Descripción: Cuando la bomba se encuentra parada ya sea porque estaba en funcionamiento otra o por cualquier otro motivo, una vez se intenta volver a poner en marcha se encuentra que no gira, que se queda agarrotada en un punto del eje. En ese momento se prueba con una llave para liberarla de ese punto de dureza, y se consigue poner en funcionamiento, pero cuando se vuelve a hacer una parada y más tarde se intenta volver a arrancar vuelve a pasar lo mismo. Este problema suele ir acompañado de valores altos de vibraciones en el motor.
  - Posible causa: Posiblemente este problema puede ser debido porque ha habido un excesivo rozamiento en ese punto, lo cual ha provocado que en ese punto no haya lubricación o que se haya desgastado la pieza.
- Aceite de la cajera sale de color gris:
  - Descripción: Cuando se extrae la cajera de los rodamientos para comprobar su estado se ve que el aceite sale de color gris. Este problema suele provocar un aumento de temperatura en las cajeras.

- Posible causa: La principal causa que puede derivar en que el aceite salga de color gris es que, debido al aumento de la temperatura, causado por que se ha gripado, el lubricante se desgaste, con lo que se provoca un contacto metálico, con lo que se desprenden impurezas del rodamiento, yendo a parar al lubricante.
- Otra posible causa es que la pintura que recubre el elemento no sea la adecuada tanto para el tipo de aceite como para la temperatura de trabajo.
- Se gripa cajera del lado rodamiento del motor:
  - Descripción: Al poner en marcha la bomba se nota que la cajera de los rodamientos del lado del motor se ha quedado gripada.
  - Posible causa: El hecho de que la cajera se haya quedado gripada puede ser debido a que ha habido un cierto desgaste que ha provocado un aumento significativo del rozamiento de la cajera. Este elevado rozamiento puede ser porque se haya quedado sin lubricante o que este no se haya aplicado de manera correcta.
- Manguito del eje motor gripado:
  - Descripción: Una vez se pone en marcha la bomba después de estar parado se nota que el manguito se encuentra gripado.
  - Posible causa: Que el manguito se haya quedado gripado puede ser debido a un excesivo rozamiento, el cual puede estar provocado por el aumento de vibraciones.
- Fallo variador:
  - Descripción: Cuando se intenta arrancar la bomba no se puede, entonces se ve que el variador da fallo, en concreto “fallo límite intensidad de arranque”, lo cual es debido a que la intensidad proporcionada para arrancar el motor es superior a la soportada por el variador, de ahí que la bomba no funcione.
  - Posible causa: Esto puede estar causado porque haya habido un problema con el circuito eléctrico que suministra la energía a este variador.
  - Otra posible causa es que en algún momento haya habido una subida de corriente en el suministro provocando que el sistema del variador quede fuera de servicio.

- Prisioneros del casquillo porta-rodamientos:
  - Descripción: Se nota que estos tornillos prisioneros se encuentran sueltos.
  - Posible causa: Esto puede estar causado porque los prisioneros se encuentren desgastados.
  
- Obstrucción de las cajas:
  - Descripción: Se realiza una medición de la temperatura producida en el lado del acoplamiento del motor y en el lado opuesto y se ve que esta temperatura es más elevada de lo habitual, llegando hasta los 54 °C, cuando en condiciones normales deberían de rondar entre 44-48 °C, con lo cual se extraen las cajas y se ve que el orificio de entrada del lubricante está obstruido de impurezas.
  - Posible causa: La obstrucción del circuito de lubricación de las cajas puede ser debido a que el rozamiento provocado por los rodamientos es muy elevado, provocando que la temperatura aumente demasiado y así se desprenda pintura o a que el eje está vibrando demasiado con lo que provoca que los rodamientos golpeen las paredes y se desprenda pintura o pequeños trozos del rodamiento.
  
- Rotura del cierre mecánico del lado opuesto al acoplamiento:
  - Descripción: Después de estar un tiempo en funcionamiento los sellos de la bomba, en este caso se tratan de cierres mecánicos, se encuentran rotos, lo cual hace que por ahí este fugando la bomba. La bomba queda totalmente fuera de servicio.
  - Posibles causas: Esta rotura puede ser debida a que haya habido cambios repentinos en el rango de utilización de la bomba.
  - Otra posible causa puede ser debida a un mantenimiento inadecuado de estos sellos.
  
- Fuga cierres mecánicos:
  - Descripción: Con la bomba en funcionamiento se ve que gotea agua por los cierres mecánicos, lo cual no es habitual en este tipo de sello mecánico, con lo cual nos indica que hay algo mal. Puede ser simplemente que tengan algo de desgaste y que simplemente haya que apretarlos, y otras veces que se trate de un problema mayor y hay que cambiarlos.

- Posible causa: Ha habido vibraciones, con lo que es posible que las caras del sello se hayan abierto, es decir, la distancia entre las dos caras de los sellos se ha abierto demasiado con lo que las partículas de suciedad que puede llevar la película lubricante se meten en el hueco con lo que la desgastan. O que una pieza ha fallado.

### 3.2 Análisis del histórico de fallos de la bomba

En este apartado se va a detallar el número de averías que se han producido en una bomba de alta presión durante un período de 8 años viendo el coste que provoca cada una, así como el tiempo medio que hay entre averías y el tiempo medio de una reparación.

Síntomas de averías y modos de fallo	Nº averías	Tiempo parada (horas)	Tiempo reparación (horas)	Coste avería	Coste total por avería	Código
Bomba parada al arrancar	2	1	0,75	100,00 €	200,00 €	9
Rotura cierre mecánico LOA	1	504	120	5.500,00 €	5.500,00 €	3
Fuga cierres mecánicos	4	1	0,5	100,00 €	400,00 €	7
Color gris aceite cajera	7	6	4	1.250,00 €	8.750,00 €	1
Cajera lado rodamiento motor gripada	1	120	72	800,00 €	800,00 €	4
Manguito eje motor gripado	1	120	72	600,00 €	600,00 €	5
Fallo variador	2	504	336	3.500,00 €	7.000,00 €	2
Prisioneros casquillo porta-rodamientos sueltos	1	48	24	350,00 €	350,00 €	8
Obstrucción cajeras	2	2	1	300,00 €	600,00 €	6

Fig. 3 Tabla resumen para el análisis de los fallos de la bomba (Fuente: Propia)

- Tiempo de funcionamiento de la bomba durante el período (2013-2021):

A continuación, se va a hacer un resumen del tiempo que la bomba ha estado en funcionamiento durante este período, así como el tiempo total que ha estado parada por avería y por reparación.

Tiempo total actividad en el intervalo (h)	34.560
Tiempo parado por avería en el intervalo (h)	1.306
Tiempo reparación por avería en el intervalo (h)	630

- Gráfico de Pareto:

En el siguiente gráfico se va a poder ver cuáles son aquellas averías que acumulan el mayor porcentaje de paros de la bomba, para poder asignar un orden de prioridades en la toma de decisiones y así centrarnos en aquellos fallos más críticos.

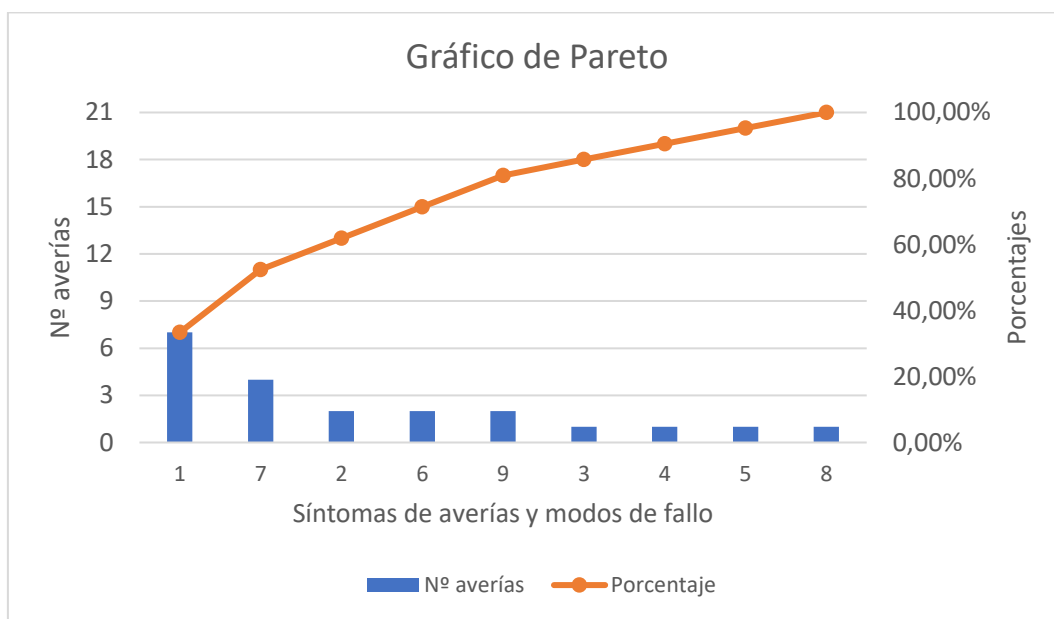


Fig. 4 Gráfico de Pareto

- Gráfico de Pareto con los costes:

En el siguiente gráfico se podrá ver claramente el coste que produce cada avería o síntoma de avería, así como el porcentaje que representa cada una respecto del coste total, quedando patente cuáles son las que más coste produce.

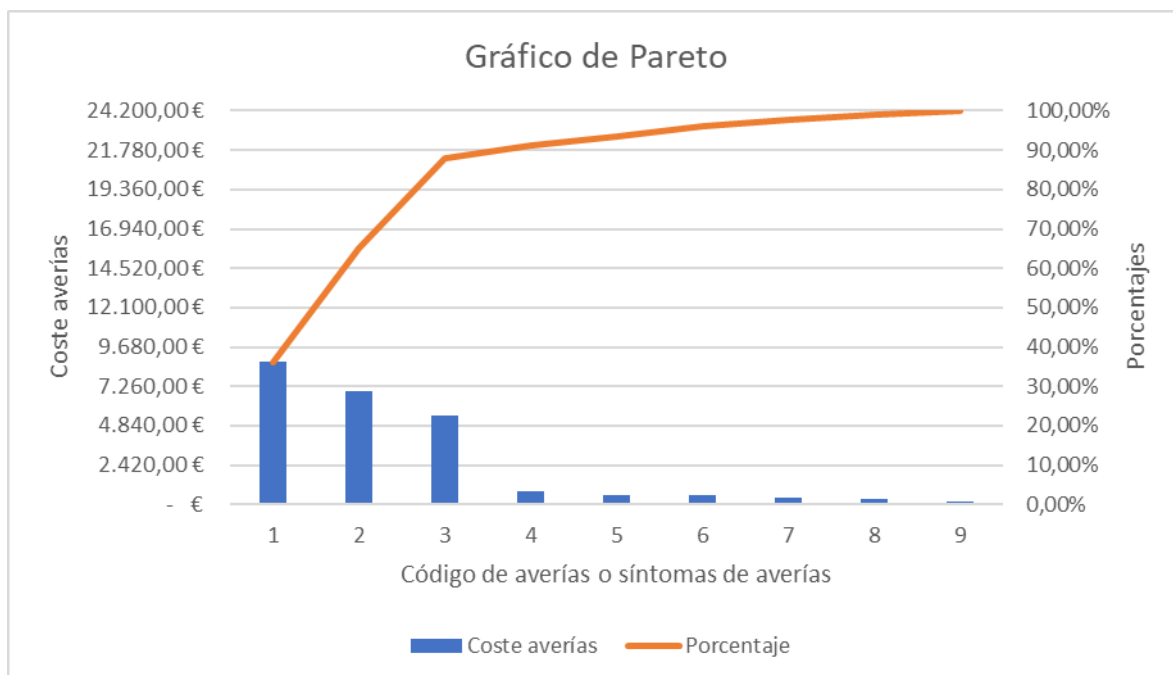


Fig. 5 Gráfico de Pareto coste averías

- Tiempo medio entre averías (MTBF):

El MTBF representa el tiempo promedio que hay entre dos averías, cuanto mayor sea este valor mejor, porque querrá decir que no ha habido muchas averías. Para el caso de estas bombas en este tipo de plantas nos interesa que sea realmente elevado, con lo cual un valor aceptable de este parámetro sería alrededor de 3450h, que sería alrededor de cada 5-6 meses de funcionamiento. El tiempo medio entra averías se calcula de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Número de paradas}}$$

Fig. 6 Fórmula para el cálculo del MTBF

El valor que se obtiene con los datos aportados anteriormente y aplicando la fórmula es de un MTBF igual a 1584h, con lo cual se puede observar que es un valor bastante inferior al objetivo.

- Tiempo medio de reparación (MTTR):

Este parámetro corresponde al tiempo medio que se tarda en reparar una máquina. En este caso nos interesa que este valor sea lo menor posible, porque así querrá decir que no se pierde mucho tiempo en reparar los fallos. Este valor se obtiene de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

Fig. 7 Fórmula para el cálculo del MTTR

Con los datos aportados anteriormente y aplicando la fórmula se obtiene un valor MTTR de 30h con lo cual podemos decir que también es relativamente elevado.

Estos valores de MTBF y MTTR son los valores globales, con lo que para cada fallo habrá unos valores particulares, los cuales se van a representar a continuación, para poder llevar a cabo los cálculos se van a utilizar los datos de la tabla 1 (Fig. 8 y 9):

Síntomas de averías y modos de fallo	MTBF
Prisioneros casquillo porta-rodamientos sueltos	34.536
Cajera lado rodamiento motor gripada	34.488
Manguito eje motor gripado	34.488
Rotura cierre mecánico LOA	34.440
Bomba parada al arrancar	17.280
Obstrucción cajeras	17.280
Fallo variador	17.112
Fuga cierres mecánicos	8.640
Color gris aceite cajera	4.937

Fig. 8 Tabla resumen MTBF de los síntomas de averías y modos de fallo

Como se ha dicho anteriormente el valor objetivo debe ser 3450h, con lo que se puede ver que se obtienen valores mucho más elevados de los deseados en todas las averías o síntomas de averías.

Síntomas de averías y modos de fallo	MTTR
Cajera lado rodamiento motor gripada	630
Bomba parada al arrancar	630
Obstrucción cajeras	630
Fuga cierres mecánicos	630
Prisioneros casquillo porta-rodamientos sueltos	315
Fallo variador	315
Color gris aceite cajera	315
Manguito eje motor gripado	158
Rotura cierre mecánico LOA	90

Fig. 9 Tabla resumen MTTR de los síntomas de averías y modos de fallo

Como se ha dicho anteriormente el valor objetivo debe ser 30h, con lo que se puede ver que se obtienen valores mucho más elevados de los deseados en todas las averías o síntomas de averías.

### 3.3 Análisis de Pareto

En este apartado se va a llevar a cabo un análisis de Pareto, el cual nos permite obtener una clasificación de mayor a menor relevancia, para así poder reconocer cuales son los problemas más críticos y enfocarse en ellos.

Primero de todo habrá que ordenar los fallos de mayor a menor según el coste que produce, además de ver con la frecuencia que se produce cada avería, además de la frecuencia acumulada para poder ver en cada zona que tipos de avería se encuentran entre otras cosas.

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

Síntomas de averías y modos de fallo	Coste total por avería	Coste acumulado	Porcentaje costes	Porcentaje costes acumulados
Color gris aceite cajera	8.750,00 €	8.750,00 €	36,16%	36,16%
Fallo variador	7.000,00 €	15.750,00 €	28,93%	65,08%
Rotura cierre mecánico LOA	5.500,00 €	21.250,00 €	22,73%	87,81%
Cajera lado rodamiento motor gripada	800,00 €	22.050,00 €	3,31%	91,12%
Manguito eje motor gripado	600,00 €	22.650,00 €	2,48%	93,60%
Obstrucción cajeras	600,00 €	23.250,00 €	2,48%	96,07%
Fuga cierres mecánicos	400,00 €	23.650,00 €	1,65%	97,73%
Prisioneros casquillo porta-rodamientos sueltos	350,00 €	24.000,00 €	1,45%	99,17%
Bomba parada al arrancar	200,00 €	24.200,00 €	0,83%	100,00%

Número averías	Nº fallos acum.	% fallos acum.	Frecuencia acum.
7	7	33,33%	33,33%
2	9	9,52%	42,86%
1	10	4,76%	47,62%
1	11	4,76%	52,38%
1	12	4,76%	57,14%
2	14	9,52%	66,67%
4	18	19,05%	85,71%
1	19	4,76%	90,48%
2	21	9,52%	100,00%

Fig. 10 Tabla resumen para el cálculo de las averías que producen mayores costes

Una vez ya está la tabla hecha se produce a hacer el gráfico que nos va a indicar cuales son aquellas averías que producen los mayores costes.

Antes irá la tabla en la cual cada avería tendrá un código numérico:

Síntomas de averías y modos de fallo	Código
Color gris aceite cajera	1
Fallo variador	2
Rotura cierre mecánico LOA	3
Cajera lado rodamiento motor gripada	4
Manguito eje motor gripado	5
Obstrucción cajeras	6
Fuga cierres mecánicos	7
Prisioneros casquillo porta-rodamientos sueltos	8
Bomba parada al arrancar	9

Fig. 11 Tabla códigos síntomas de averías y fallos



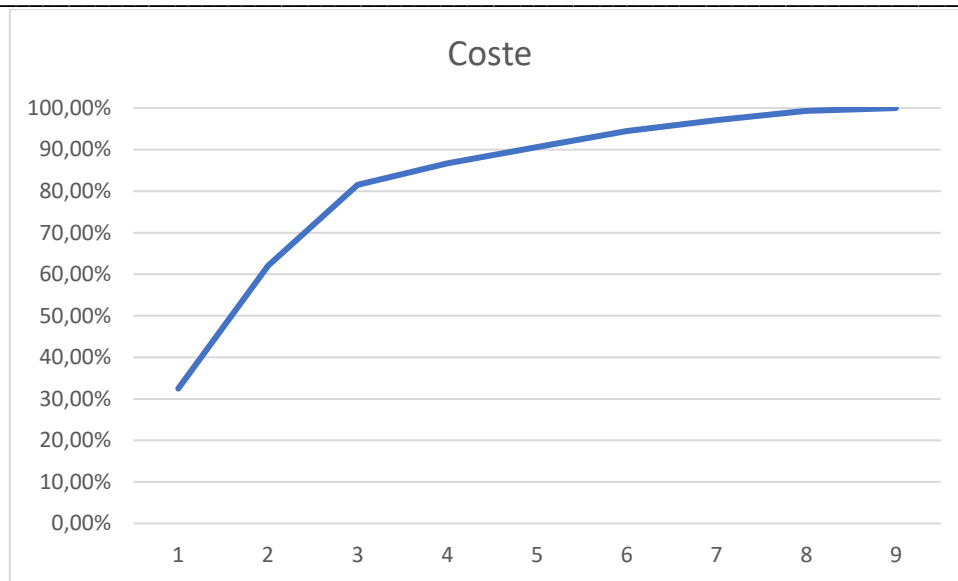


Fig. 12 Gráfico representación averías frente al porcentaje de costes que producen

Después de llevar a cabo los diferentes pasos para poder hacer el análisis de Pareto, se puede ver en el gráfico de Pareto (Fig. 4), que aquellos síntomas o modos de fallo que están provocando gran parte de las averías son:

- Aceite de la cajera de color gris (Código 1), con un porcentaje del 33,33%
- Fuga de los cierres mecánicos (Código 7), con un porcentaje del 19,05%
- Fallo variador (Código 2), obstrucción cajeras (Código 6) y al arrancar se para la bomba (Código 9) con un porcentaje del 9,52%

La suma de estos síntomas de averías y modos de fallo están ocasionando alrededor del 80% de las averías de las bombas de alta presión de la planta.

Además, del gráfico que relaciona el porcentaje de costes con las averías (Fig. 12), se puede observar que son 3 averías, o las averías asociadas a 3 síntomas las que son más preocupantes a la hora de costes, ya que provocan el 80% de estos, las cuales son:

- Aceite de la cajera de color gris (Código 1)
- Fallo variador (Código 2)
- Rotura del cierre mecánico (Código 3)

Con lo que con los datos obtenidos se puede llegar a la conclusión que si se interviene sobre estos 3 puntos se podrá solucionar gran parte del problema de los paros de la bomba de manera inesperada.

### 3.3.1 Puntos clave

Después de analizar el gráfico de Pareto (Fig. 5) se pueden identificar una serie de puntos clave, los cuales se van a analizar para poder prevenirlos en un futuro.

- Como se puede ver en la tabla (Fig.10), la avería asociada a un síntoma que más incidencia tiene es que el aceite que lubrica la cajera de rodamientos sale de color gris, además de ser un fallo que se produce con bastante asiduidad por el hecho de que está sometida a constante rozamiento, también nos origina unos costes elevados, aunque por otra parte no nos genera unos tiempos de parada demasiado elevados.
- Otro punto clave es el fallo en el variador, si bien es un fallo bastante costoso ya que el aparato en si tiene un precio bastante elevado, además de que acarrea un tiempo de parada elevado debido a que es un elemento que cuando hay que cambiarlo hay que esperar a que llegue uno nuevo e instalarlo.
- El siguiente fallo clave es cuando se produce la rotura del cierre mecánico, ya que aparte de ser costoso nos produce un tiempo de parada y de reparación bastante elevado, puesto que cuando se rompe para poder cambiarlo hay que desmontar parte de la bomba, esperar a que llegue una pieza nueva en el caso de que en la planta no haya un repuesto y después volver a montarlo en la bomba. Además, una vez ya montado hay que hacer una prueba de puesta en marcha para ver que se ha colocado de manera correcta y no se producen vibraciones elevadas ni fugas por un mal sellado del cierre mecánico.
- Se puede ver que muchos de los demás fallos suelen ser por que ciertos elementos se quedan gripados, con lo cual seguramente con un mejor mantenimiento mediante lubricación podría evitar que algunos de estos fallos se produjese.

### 3.3.2 Explicación de las averías, o averías asociadas a síntomas, que más coste producen

Después de llevar a cabo el análisis de Pareto y de estudiar los puntos clave se puede llegar a las conclusiones para poder elegir los 3 fallos o síntomas de averías más costosos que presentan estas bombas de alta presión.

Los fallos más costosos serían los siguientes:

- Aceite de la cajera de color gris: Esta consecuencia de una avería es un problema ya no tanto por el coste que produce, sino que es un fallo que se da con bastante frecuencia. Además, para poder acceder hay que desmontar parte de la bomba, con lo que conlleva un tiempo de parada y un coste de mano de obra elevado. Otro problema es que una

vez que retiras el rodamiento este ya no se puede volver a poner porque cualquier pequeño defecto que se haya producido al extraerlo no se va a saber hasta que se ponga la bomba en marcha, con lo cual es un coste añadido. El problema de que el color del aceite de la cajera salga de color gris es debido a que algún elemento dentro del rodamiento está sufriendo un desgaste más elevado de lo que debiera, con lo cual este desgaste hace que tanto puedan salir algunos trozos de alguna pieza e incluso de pintura, con lo que, aparte de salir de color gris, puede obstruir la lubricación y si no se está pendiente, el rodamiento al quedarse sin lubricante puede producir un fallo bastante grave en la bomba.

- Fallo variador: Este fallo es uno de los más costosos porque el aparato en sí tiene un precio elevado, además de que obtener uno nuevo lleva un tiempo, con lo cual hace que la bomba tenga que estar parada. El origen de que el variador falle es debido a que ha habido una subida de tensión en la planta y con lo cual el circuito del variador se ha visto dañado, o como los variadores se encuentran en un sitio donde la humedad es muy elevada, esta se va a acumulando y condensando dentro del variador, con lo cual hace que con el tiempo se vea dañado produciendo fallo.
- Rotura cierre mecánico: Este fallo provoca que haga falta desmontar parte de la bomba para poder acceder a ellos, con lo que nos dispara el tiempo de parada y el coste de la mano de obra. Aparte que, si un cierre mecánico se rompe, la bomba empieza a fugar por ahí con los problemas que puede causar en ella y en la planta, por ello es un elemento crítico de la bomba. Este tipo de sellos no deberían fugar, con lo que si se empieza a ver que empieza a fugar y que esta va a más es un signo indicativo de que algo está fallando, con lo cual habrá que parar la bomba. El origen de esta fuga que puede provocar la rotura es debido a que una pieza no está funcionando bien o que no se estén refrigerando de la manera correcta, con lo cual se calientan y pierden su eficacia.

## **CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS DE ALTA PRESIÓN**

### **4.1 Planificación del mantenimiento**

En este apartado se va a pasar a especificar qué tipo de mantenimiento se le va a aplicar a cada uno de los fallos más costosos para evitar que estos fallos o averías asociadas a síntomas vuelvan a ocurrir. Además, se revisarán brevemente los mantenimientos generales que se les debe aplicar a este tipo de bombas, para evitar que se produzcan averías.

A la hora de aplicar el mantenimiento a las máquinas nos encontramos que hay tres tipos: mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo consiste en un tipo de mantenimiento en el cual haces intervenciones prefijadas antes de que ocurra el fallo, el predictivo consiste en realizar constantes inspecciones de la máquina e ir evaluando su estado en cada una de estas y por último el mantenimiento correctivo es aquel en que no intervienes hasta que se ha producido el fallo y tienes que repararlo.

El tipo preventivo se suele utilizar en casos de que la máquina tenga un coste elevado, produzca paradas largas o que el fallo tenga consecuencias graves, el predictivo en aquellos casos en el que el fallo se produzca por degradación ya sean grietas, fracturas, desgastes, contaminación, etc.

Por último, el tipo correctivo se utiliza cuando los fallos no son críticos en cuanto a coste y seguridad o no tiene repercusión en la producción, este tipo de mantenimiento hay que intentar que esté alrededor de un 5%, pero difícilmente se llegará a un 0%, dado que siempre cabe la posibilidad de que tengas un fallo imprevisto y que te veas obligado a repararlo.

#### **4.2 Mantenimiento general**

Aquí se va a explicar los mantenimientos que se le tiene que aplicar de manera general a la bomba de alta presión para que su funcionamiento sea normal.

- Comprobación de manera semanal por parte del operario de mantenimiento de las temperaturas de las cajas de rodamientos el cual se llevará a cabo mediante un pirómetro en la superficie de la cajera de los rodamientos, y de manera diaria durante una semana cuando se vuelve a poner en marcha la bomba, ya sea por una parada programada o por una reparación. Estas comprobaciones son interesantes porque un cambio brusco en la temperatura de las cajas de rodamientos es mucho más indicativo de que existe un fallo que una temperatura elevada constante. La temperatura de los rodamientos no debe superar los 48°C.
- Medidas de vibraciones de manera semanal por parte del operario de mantenimiento con un vibrómetro en los rodamientos y en los apoyos de la bancada de la bomba, en las tres direcciones del eje, cuyos valores de desplazamiento deben situarse entre 1 y 2mm, para ver que la alineación de la bomba sigue siendo correcta y que no hay ningún elemento que se encuentre en mal estado que esté provocando un aumento de estas.
- Comprobar las anotaciones para ver el funcionamiento de la bomba, es decir, las horas que lleva en funcionamiento, para ver si le hace falta una limpieza y engrase de los rodamientos, el cual se llevará cada 3.600 horas de funcionamiento o en su defecto cada año desde la última vez que se llevó a cabo.

- Llevar a cabo por parte de los operarios de mantenimiento el repintado de las bombas por la parte exterior una vez al año, evitando pintar la unión de la tubería con la bomba, ya que sino al secarse la pintura, si hay que sustituir el elemento de unión, es mucho más difícil. Este repintado se lleva a cabo para evitar que la capa protectora se llegue a levantar y así poder evitar la aparición de corrosión.
- Inspeccionar de manera visual el eje y la camisa del eje por parte del operario de mantenimiento cada vez que se haga el cambio de bomba, en la que se acaba de parar, en busca de grietas u oxidación.
- Cada vez que se haga el cambio de bomba, en la que se acaba de parar, el operario de mantenimiento deberá girar dos veces por semana el eje con una llave.

También será interesante llevar a cabo una serie de puntos de inspección, tanto después de la puesta en marcha de una bomba nueva o después de una reparación como otros de manera general.

- Puntos de inspección después de una reparación o al poner una bomba nueva:
  - Comprobar en marcha que:
    - Se cumplen las variables características eléctricas (intensidad y factor de potencia)
    - No se rebasan las temperaturas admisibles en los cojinetes (48°C)
  - Comprobar en reposo:
    - La cantidad de grietas que hay en los asentamientos, determinando su tamaño.
- Puntos de inspección generales:
  - Comprobar en marcha que:
    - Se cumplen las variables características eléctricas (intensidad y factor de potencia)
    - No se rebasan las temperaturas admisibles en los cojinetes (48°C)
  - Comprobar en reposo:
    - La cantidad de grietas que hay en los asentamientos, determinando su tamaño.
    - La alineación del conjunto motor-bomba se encuentra en tolerancias admisibles (0,05 mm)

- Estén firmemente prietos todos los tornillos de fijación para uniones mecánicas y conexiones eléctricas

Para cuando haya un fallo en la bomba, para reducir el tiempo de parada será importante tener en planta una serie de piezas de repuesto de las partes que más problemas pueden acarrear, las cuales serían:

- Un juego de rodamientos
- Un juego completo de casquillos
- Juego completo de camisas
- Juego completo de aros de rozamiento y de protección
- Dos cierres mecánicos

A la hora de llevar a cabo el mantenimiento de la bomba debemos tener en cuenta que habrá que hacer una serie de actuaciones las cuales se dividirán según el tipo de mantenimiento que requieren, es decir, un tipo de mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo.

A continuación, se va a analizar qué tipo de mantenimiento va a necesitar cada avería, o avería asociada a un síntoma, siguiendo los datos obtenidos en el análisis de Pareto.

- Mantenimiento correctivo: Es aquel mantenimiento que consiste en arreglar o reparar la avería una vez se ha producido. Observando los datos obtenidos en la gráfica de la Fig. 12 se puede ver como las averías, o las averías asociadas a un síntoma que apenas produce coste es la que tiene el código 8, con lo que este mantenimiento es el más adecuado. En este tipo de mantenimiento se necesita un parte de avería el cual se puede ver un modelo en el Anexo I.
- Mantenimiento preventivo: Es aquel mantenimiento en el cual se programan las actuaciones a llevar a cabo. En este tipo de mantenimiento estarán englobadas las averías o síntomas de averías correspondientes a los códigos 2, 4 y 9.
- Mantenimiento predictivo: Es aquel mantenimiento en el cual se programan inspecciones periódicas y en función del análisis los datos obtenidos se programa la siguiente actuación. Este tipo de mantenimiento es el más adecuado para el resto de los fallos o síntomas de averías, que son las correspondientes a los códigos 1, 3, 5, 6 y 7.

Las actuaciones para el mantenimiento correctivo serán las siguientes:

- Prisioneros del casquillo porta-rodamientos sueltos: Una vez se produzca el síntoma de la avería, el operario deberá desmontar la cajera del rodamiento, para sustituir el prisionero, para después volver a montarla en la bomba.

Las actuaciones para el mantenimiento preventivo serán las siguientes:

- Fallo variador: El operario deberá aplicar el aerosol en el variador una vez antes del verano, otra a mediados de verano y otra antes de empezar el invierno.
- Cajera del lado del rodamiento del motor gripada: Para evitar que se llegue a gripar el operario de mantenimiento deberá cambiar el aceite lubricante cada 3.600h de funcionamiento de la bomba o en su defecto al año de la última vez que se hizo el cambio anterior.
- Al arrancar se para la bomba porque hay un punto con cierta dureza: En este caso, para evitar que se produzca este síntoma asociado a una avería lo que tendrá que hacer el operario es que cada vez que la bomba esté parada porque le toque a otra bomba funcionar, tendrá que girar el eje dos veces por semana.

Las actuaciones para el mantenimiento predictivo serán las siguientes:

- Aceite de las cajeras de color gris: El operario deberá recoger semanalmente los datos de la temperatura con el pirómetro y vibración con el vibrómetro de los rodamientos y en función de los datos obtenidos valorar si hace falta llevar a cabo la actuación o no. El valor a partir del cual se deberá optar por actuar en la cajera será cuando la temperatura supere los 48°C y las vibraciones sean mayores a 2mm. En el caso de que se superen estos valores habrá que comprobar la correcta alineación del conjunto bomba-motor, además de comprobar que la bomba no esté funcionando a alta carga.
- Rotura del cierre mecánico: Recoger semanalmente los datos de vibraciones con el vibrómetro y analizar los valores. Si la vibración en cualquier punto de medición superase los 2mm, habría que comprobar la alineación del conjunto bomba-motor.
- Manguito eje-motor gripado: Revisar una vez cada dos semanas el nivel del aceite y en el caso de que el operario vea que está por debajo del nivel mínimo rellenarlo entre el valor mínimo y máximo. Además de las vibraciones, que en el caso de superar el valor límite se deberá hacer la misma actuación que en los otros casos.
- Obstrucción de las cajeras: Obtener semanalmente los valores de temperatura con el pirómetro en los rodamientos y analizar los datos obtenidos. En el caso de superar los 48°C habrá que comprobar que la bomba no esté funcionando a alta carga y comprobar la correcta alineación del conjunto bomba-motor.
- Fuga cierres mecánicos: El operario deberá comprobar diariamente que no haya ninguna fuga en los cierres mecánicos. En el caso de que se produzca una fuga, deberá valorar si es una fuga continua o en aumento, si la fuga es continua y no supera los 2,5

ml al día la fuga no representa un problema con lo que la bomba puede continuar funcionando perfectamente. En el caso de que este valor sea mayor o vaya en aumento es cuando se deberá hacer el cambio del sello mecánico.

A continuación, se va a mostrar un tabla resumen con la periodicidad de las actuaciones para que así sea mucho más visual y fácil de comprender:

		Periodicidad							
		Diaria	Semanal	Bisemanal	Mensual	Bimensual	Anual	3 veces al año	3.600 h
Rodamientos	Temperatura		X						
	Vibraciones		X						
Bomba	Repintar						X		
	Recoger datos					X			
	Inspección visual	X							
	Inspección auditiva	X							
Sello mecánico	Comprobar presión		X						
	Limpieza cápsula				X				
	Observar que no hay fugas		X						
Eje	Girar con la llave					X			
Aceite rodamiento	Comprobar nivel			X					
	Cambiarlo								X
	Cambiarlo						X		
Variador	Aplicar spray							X	

Fig. 13 Tabla resumen sobre la periodicidad de las actuaciones

### 4.3 Rutinas de mantenimiento

Las rutinas de mantenimiento consiste en la agrupación de diferentes tareas que tienen elementos en común para facilitar el llevar a cabo y gestionar el mantenimiento. Según las averías o averías asociadas a síntomas, en este caso se pueden tener las siguientes rutinas de mantenimiento:

- Rutina rodamiento:
  - o Rutina mecánica semanal:
    - Comprobar la temperatura del rodamiento
    - Comprobar las vibraciones
  - o Rutina mecánica bisemanal:
    - Comprobar el nivel de aceite del lubricante del rodamiento
  - o Rutina mecánica anual:
    - Cambio del aceite lubricante rodamientos
  
- Rutina de la bomba:
  - o Rutina mecánica diaria:
    - Inspección visual de los cimientos, de las uniones, etc., así como comprobar que no hay ruidos extraños
  - o Rutina de operación bimensual:
    - Recogida de datos de funcionamiento de la bomba (intensidad, factor de potencia, potencia, porcentaje del variador y presión de salida de la bomba)



- Rutina mecánica anual:
  - Repintado de las bombas
  
- Rutina del sello mecánico:
  - Rutina mecánica semanal:
    - Inspección de la presión del sistema de doble sello mecánica a través del manómetro (siempre 1 bar por encima del líquido principal de la bomba)
  - Rutina mecánica mensual:
    - Limpieza del dispositivo donde se presuriza el líquido lubricante del sistema
  
- Rutina del eje:
  - Rutina mecánica bimensual (cambio de bomba):
    - Girar el eje con la llave dos veces por semana hasta que se vuelva a poner en marcha

#### 4.4 Gamas de mantenimiento

En este apartado se va a llevar a cabo las gamas de mantenimiento, las cuales consisten en agrupar las rutinas por su periodicidad. Este proceso se hace para simplificar y que sea más fácil identificar las actuaciones a llevar a cabo en cada gama.

- Gama de mantenimiento diaria:
  - Inspección visual de los cimientos, de las uniones, etc., así como comprobar que no hay ruidos extraños
  
- Gama de mantenimiento semanal:
  - Comprobar la temperatura del rodamiento
  - Comprobar las vibraciones del rodamiento
  - Inspección de la presión del sistema de doble sello mecánica a través del manómetro (siempre 1 bar por encima del líquido principal de la bomba)
  - Comprobar que no hay fugas en el sello mecánico
  
- Gama de mantenimiento bisemanal:
  - Comprobar el nivel de aceite del lubricante del rodamiento
  
- Gama de mantenimiento mensual:
  - Limpieza del dispositivo donde se presuriza el líquido lubricante del sistema de doble sello mecánico.

- Gama de mantenimiento bimensual:
  - Recogida de datos de funcionamiento de la bomba (intensidad, factor de potencia, potencia, porcentaje del variador y presión de salida de la bomba)
  - Girar el eje con la llave dos veces por semana hasta que se vuelva a poner en marcha
  
- Gama de mantenimiento 3 veces al año:
  - Aplicar spray de protección antihumedad en el variador
  
- Gama de mantenimiento 3.600h:
  - Cambio del aceite lubricante rodamientos
  
- Gama de mantenimiento anual:
  - Repintado de las bombas
  - Cambio del aceite lubricante rodamientos

#### 4.5 Mantenimiento específico de los fallos o averías asociadas a síntomas más costosos

Una vez hecho un análisis de los fallos producidos en las bombas de alta presión de la planta y encontrar el origen de estos fallos, en este apartado se va a explicar el mantenimiento que se le debe a hacer a los fallos más críticos que se han obtenido anteriormente para evitar que estos fallos vuelvan a ocurrir.

- Aceite de las cajas de color gris: Como se ha ido comentando a lo largo del trabajo, el problema se empieza a notar porque aumenta la temperatura en los rodamientos debido a que se gripen y además cambia el color del aceite de la cajera. Esto es debido a que la lubricación es deficiente, es decir, se está produciendo contacto metálico en algunos puntos, con lo cual no hay una película uniforme. Esto puede ser debido a que el lubricante que se está utilizando no sea el adecuado en parámetros de temperatura y/o viscosidad, o que el eje esté soportando más carga de la debida. La alineación no sea la correcta, con lo que esté provocando vibraciones altas. Otro problema son que los períodos de cambio son demasiado elevados teniendo en cuenta las características de trabajo del rodamiento. Estos rodamientos se lubrican mediante un baño de aceite, que consiste en que parte del rodamiento está sumergido en aceite, con lo que, al girar, arrastran el aceite y lo reparten por toda la circunferencia del rodamiento. Uno de los problemas de la lubricación en baño de aceite es que debe controlarse de forma regular el nivel de aceite porque en caso de que el nivel aumente más de lo debido, puede producir rozamiento por chapoteo, provocando que aumente la temperatura de los rodamientos, con lo que puede ser que el desgaste haga pasar suciedad al aceite, con lo que disminuye la vida útil.

Por tanto, las actuaciones a llevar a cabo será controlar el nivel de aceite en el que está sumergido el rodamiento una vez cada dos semanas, para ver si está por encima, provocando lo que se ha comentado anteriormente, con lo cual se evitará que se puedan llegar a gripar los rodamientos por culpa de este rozamiento y las temperaturas elevadas. Además de un control semanal de temperatura y vibraciones en el rodamiento.

- Fallo variador:

Como se ha comentado anteriormente el fallo en el variador puede ser producido tanto por una sobretensión en el circuito o por la humedad que hay en la planta. Para proteger a los variadores de una sobretensión se debe instalar un sistema de protección ante subidas de tensión antes de la entrada del circuito en el variador. Con esto se conseguiría evitar que esta sobretensión afecte al variador, consiguiendo que siga funcionando.

En cuanto al problema de la humedad es que se condensa dentro del variador y, como es bien sabido el agua y la electricidad no se llevan especialmente bien, porque si se condensa, puede provocar cortocircuitos, que el aislamiento no funcione correctamente, etc. Actualmente, estos variadores van con un ventilador para evitar temperaturas elevadas y evitar en cierta medida la humedad, pero no es del todo eficaz. Entonces una solución desde el punto de vista del mantenimiento sería la utilización de un aerosol que protege los aparatos electrónicos, como los variadores, de la humedad. Este tipo de aerosol está hecho a base de un material que es hidrofóbico, con lo cual las nanopartículas se adhieren a la superficie, consiguiendo una capa protectora de las partes eléctricas del variador, además de que llega hasta los puntos más difíciles. Este aerosol se utilizará una vez antes del verano, otra a mediados de verano y una vez antes de que empiece el invierno. Esta diferencia radica que en verano la humedad es más elevada.

- Rotura cierres mecánicos: Este tipo de sellos al contrario que otros tipos, como los de empaquetaduras, es que no deben fugar en ningún momento, con lo cual ver que hay fugas ya nos debe poner en alerta.

Una solución para poder evitar estos problemas sería instalar un dispositivo de protección ante sobretensiones en el sistema, que es básicamente un doble sello. Este sistema consiste en que hay dos juegos de caras selladas y se pone un fluido circulante entre los dos en un sistema encapsulado, ya que así elegimos el líquido que lubricará nuestros sellos, puesto que con un solo sello mecánico tenemos que utilizar si o si el producto como lubricante. Además, se presuriza el líquido para evitar que las partículas sucias entren y solo entraría el líquido limpio del sistema. En la imagen se puede ver más claramente el sistema (Fig. 14).

Desde el punto de vista del mantenimiento las actuaciones serían llevar a cabo una inspección semanal por parte del operario de mantenimiento de la presión del líquido presurizado del sistema de refrigeración, el cual se llevará a cabo a través del manómetro incorporado en el sistema. La presión de este sistema debe estar siempre por encima de 1 bar respecto a la que haya dentro de la bomba. La segunda actuación sería la limpieza de manera mensual del dispositivo en el cual se presuriza el lubricante de los sellos mecánicos.

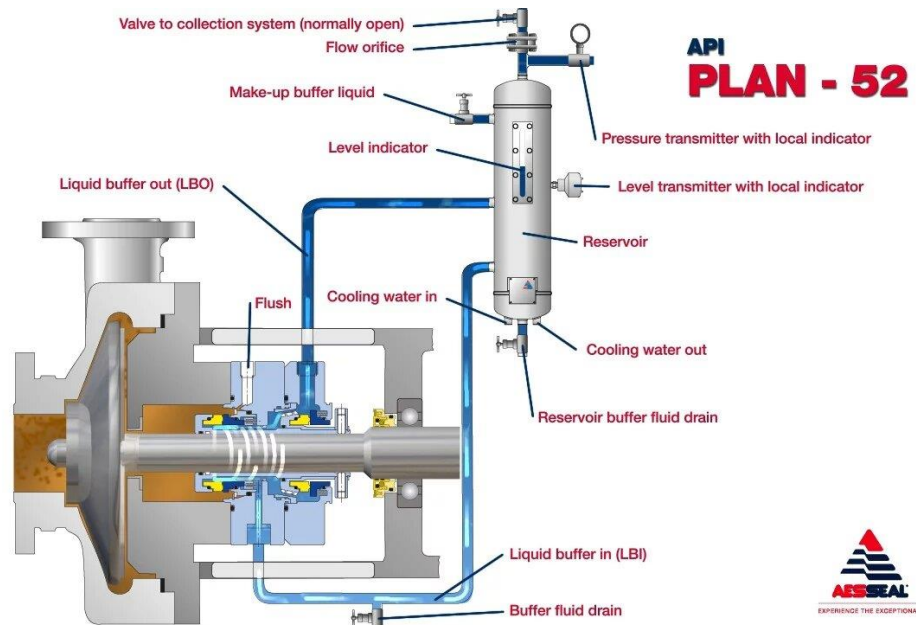


Fig. 14 Sistema de doble sello mecánico. AESSEAL

#### 4.6 Conclusiones

Tal y como se ha ido exponiendo anteriormente, vemos como hay una serie de fallos que ocasionan una serie de paradas que no están planificadas con lo que acarrearán un coste adicional que se podría remediar con un plan de mantenimiento adecuado.

Con los datos obtenidos en el análisis de fallos o síntomas asociados a fallos, vemos que los tres fallos que suponen un coste mayor son: el fallo en el variador, aceite de las cajas de los rodamientos sale de color gris y la rotura de los sellos mecánicos.

A la hora de llevar a cabo la planificación del mantenimiento de la bomba de AP, se ha llevado a cabo una clasificación para tener en cuenta si una tarea de mantenimiento corresponde a un mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo. Una vez ya se ha obtenido esa clasificación se han agrupado las tareas en gamas, para así facilitar el llevar a cabo las actuaciones.

Con esta planificación del mantenimiento, así como alguna mejora en algún sistema para evitar los fallos y así simplificar el mantenimiento, se van a evitar estas paradas inesperadas, es decir, se van a llevar a cabo las paradas cuando estén planeadas según el plan de mantenimiento.



# **PLIEGO DE** **CONDICIONES** **TÉCNICAS**





## PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

### 1. Objeto

El objeto de este pliego consiste en determinar las normas que se han de cumplir a la hora de la utilización de los materiales que se van a necesitar para poder llevar a cabo el mantenimiento.

El alcance de este pliego será la implementación de un plan de mantenimiento en las partes que más problemas causan a la planta.

#### 1.1 Normativa general

Hay una normativa general que debe cumplir cualquier material que se utilice a la hora del mantenimiento en una planta en la cual puede llegar a estar en contacto con agua destinada para el consumo humano.

La norma general que debe cumplir cualquier material es el Real Decreto 140/2003 del 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

El artículo en concreto que trata sobre el tema que nos concierne es el número 14, el cual está específicamente dedicado a los productos de construcción, en contacto con el agua de consumo humano, expresa: Que los productos que estén en contacto con el agua de consumo humano, por ellos mismos o por las prácticas de instalación que se utilicen, no transmitirán al agua de consumo humano sustancias o propiedades que contaminen o empeoren su calidad y supongan un incumplimiento de los requisitos especificados en el Anexo I, o un riesgo para la salud de la población abastecida. Los parámetros establecidos del Anexo I son límites cuantitativos de determinadas sustancias cuya concentración no debe ser superada por razones sanitarias, por razón de toxicidad, o por su valor como indicadores de contaminación microbiológica, química o física.

Otro principio fundamental de este artículo es que los materiales de construcción no pueden estar compuestos por sustancias peligrosas para la salud. Dentro de los materiales se incluyen todas aquellas sustancias empleadas como soldaduras, pegamentos, juntas, colas, lubricantes, grasas, siliconas, etc.

## 1.2 Normativa específica

En cuanto a ciertos materiales que se van a utilizar en el mantenimiento hay una normativa específica que habrá que tener en cuenta.

Relativo al aceite lubricante que se va a utilizar deberá cumplir la norma ISO 6743 que establece una clasificación detallada de los fluidos de la familia H (Sistemas Hidráulicos) que pertenecen a la clase L (lubricantes, aceites industriales y productos relacionados). El aceite deberá ser un aceite ISO VG 46 el cual funcione a elevadas presiones y que tenga unas excelentes características anti-desgaste.

En cuanto a la grasa se deberá cumplir la norma UNE-EN 12873-2 que establece la influencia de los materiales sobre el agua destinada a consumo humano. Influencia de la migración. Parte 2: Método de ensayo de materiales aplicados in situ, excepto los materiales metálicos y los materiales a base de cemento.

Para el spray que se va a utilizar para los variadores la normativa a cumplir será el Reglamento (CE) 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de diciembre relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos. Reglamento (CE) 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

En cuanto al vibrómetro este deberá cumplir la normativa ISO 10816 que establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo.

El pirómetro deberá cumplir la Directiva CE de baja tensión 2006/95/CE y la Directiva CE 2004/108/CE sobre compatibilidad electromagnética.

La pintura que se utilizará para el repintado de las bombas deberá cumplir la norma UNE-ENV 12633:2003, que, aunque está anulada no se ha sustituido por otra, pero aún sigue referenciada en el CTE, con lo que sigue siendo de obligado cumplimiento, esta norma va sobre el método para la determinación del valor de la resistencia al deslizamiento/resbalamiento de los pavimentos pulidos y sin pulir. También debe cumplir la norma UNE-EN 1542:2000 sobre productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la adhesión por tracción directa, la norma UNE-EN ISO 7784:2016 sobre pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la abrasión, la norma UNE-EN ISO 9239-1:2011 sobre resistencia al fuego Bfl-s1. Ensayo del panel radiante de suelos y la norma UNE-EN ISO 11925-2:2011 sobre ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción.

Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única.

### **1.3 Normativa sobre gestión de residuos**

El aceite usado habrá que desecharlo en base al Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites usados.

Para el envase de spray se seguirá el artículo 12 de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases.

Objetos como los guantes utilizados a la hora de aplicar el spray, los envases de pintura utilizados, así como los trapos manchados con aceite y/o grasa serán considerados residuos peligrosos, con lo que a la hora de desecharlos se deberá seguir la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

### **1.4 Normativa de seguridad y salud**

A la hora de utilizar el spray nos hará falta utilizar guantes desechables y gafas protectoras. Los guantes deberán cumplir la norma UNE-EN ISO 347, sobre guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Las gafas deben ser ajustadas con protección lateral, cumpliendo la norma UNE-EN 166, sobre protección individual de los ojos.

Los guantes que se utilizarán para manipular aceites y/o grasas deben cumplir la normativa EN 388, sobre guantes de protección contra riesgos mecánicos, la norma EN 407, sobre guantes de protección y otros equipos de protección para las manos contra riesgos térmicos (calor y/o fuego) y, la norma EN 420, sobre guantes de protección. Requisitos generales y métodos de ensayos.

Además, se deben llevar zapatos protectores y antideslizantes, que cumplan la normativa UNE-EN ISO 20345, sobre equipo de protección individual. Calzado de seguridad.

## 1.5 Orden de Trabajo

En este apartado se van a presentar las diferentes órdenes de trabajo para llevar a cabo el mantenimiento de las bombas de alta presión

- RUTINA 1:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1			
RUTINA 1 (DIARIA)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		TAMAÑO	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CIMENTOS	GRIETAS			
	ASENTAMIENTOS			
BOMBA GENERAL	INSPECCIÓN VISUAL			
	INSPECCIÓN AUDITIVA			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA		UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2			
RUTINA 1 (DIARIA)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		TAMAÑO	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CIMENTOS	GRIETAS			
	ASENTAMIENTOS			
BOMBA GENERAL	INSPECCIÓN VISUAL			
	INSPECCIÓN AUDITIVA			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES		
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3			
RUTINA 1 (DIARIA)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		TAMAÑO	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CIMENTOS	GRIETAS			
	ASENTAMIENTOS			
BOMBA GENERAL	INSPECCIÓN VISUAL			
	INSPECCIÓN AUDITIVA			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES		
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4			
RUTINA 1 (DIARIA)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		TAMAÑO	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CIMENTOS	GRIETAS			
	ASENTAMIENTOS			
BOMBA GENERAL	INSPECCIÓN VISUAL			
	INSPECCIÓN AUDITIVA			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA		UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

Fig. 15 Orden de trabajo

- RUTINA 2:

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES												
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC												
DATOS DE LA O.T.				DATOS ECONÓMICOS								
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN			Nº DE OPERARIOS: 1								
Nº DE O.T.:	NNN/AA											
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA											
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM											
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1											
RUTINA 2 (SEMANAL)												
DATOS DE LA MÁQUINA												
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN											
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA											
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR												
		TEMPERATURA	VIBRACIONES							PRESIÓN	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
			H1	Y1	Z1	H2	Y2	H3	Y3			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
APOYO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR VIBRACIONES											
SELLO MECÁNICO	COMPROBAR PRESIÓN											
	COMPROBAR FUGAS											
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA						UNIDADES					
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:										

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES												
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC												
DATOS DE LA O.T.				DATOS ECONÓMICOS								
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN			Nº DE OPERARIOS: 1								
Nº DE O.T.:	NNN/AA											
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA											
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM											
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2											
RUTINA 2 (SEMANAL)												
DATOS DE LA MÁQUINA												
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN											
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA											
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR												
		TEMPERATURA	VIBRACIONES							PRESIÓN	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
			H1	Y1	Z1	H2	Y2	H3	Y3			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
APOYO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR VIBRACIONES											
SELLO MECÁNICO	COMPROBAR PRESIÓN											
	COMPROBAR FUGAS											
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA						UNIDADES					
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:										

Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES												
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C												
DATOS DE LA O.T.				DATOS ECONÓMICOS								
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN			Nº DE OPERARIOS: 1								
Nº DE O.T.:	NNN/AA											
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA											
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM											
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3											
RUTINA 2 (SEMANAL)												
DATOS DE LA MÁQUINA												
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN											
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA											
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR												
		TEMPERATURA	VIBRACIONES							PRESIÓN	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
			H1	Y1	Z1	H2	Y2	H3	Y3	Z3		
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
APOYO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR VIBRACIONES											
SELLO MECÁNICO	COMPROBAR PRESIÓN											
	COMPROBAR FUGAS											
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES										
Vº Bº OPERADOR:				Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:								

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES												
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C												
DATOS DE LA O.T.				DATOS ECONÓMICOS								
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN			Nº DE OPERARIOS: 1								
Nº DE O.T.:	NNN/AA											
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA											
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM											
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4											
RUTINA 2 (SEMANAL)												
DATOS DE LA MÁQUINA												
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN											
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA											
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR												
		TEMPERATURA	VIBRACIONES							PRESIÓN	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
			H1	Y1	Z1	H2	Y2	H3	Y3	Z3		
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR TEMPERATURA											
	COMPROBAR VIBRACIONES											
APOYO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR VIBRACIONES											
SELLO MECÁNICO	COMPROBAR PRESIÓN											
	COMPROBAR FUGAS											
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES										
Vº Bº OPERADOR:				Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:								

Fig. 16 Orden de trabajo



*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

- RUTINA 3:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1		
RUTINA 3 (BISEMANAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
ACEITE ISO VG-46		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2		
RUTINA 3 (BISEMANAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
ACEITE ISO VG-46		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3		
RUTINA 3 (BISEMANAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
ACEITE ISO VG-46		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MMAAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4		
RUTINA 3 (BISEMANAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	COMPROBAR NIVEL ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
ACEITE ISO VG-46		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

Fig. 17 Orden de trabajo

- RUTINA 4:

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1		
RUTINA 4 (MENSUAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
SELLO MECÁNICO	LIMPIAR CÁPSULA PRESURIZADA		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2		
RUTINA 4 (MENSUAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
SELLO MECÁNICO	LIMPIAR CÁPSULA PRESURIZADA		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3		
RUTINA 4 (MENSUAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
SELLO MECÁNICO	LIMPIAR CÁPSULA PRESURIZADA		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4		
RUTINA 4 (MENSUAL)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
SELLO MECÁNICO	LIMPIAR CÁPSULA PRESURIZADA		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

Fig. 18 Orden de trabajo

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

- RUTINA 5:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES										
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC										
DATOS DE LA O.T.			DATOS ECONÓMICOS							
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN		Nº DE OPERARIOS:	1						
Nº DE O.T.:	NNN/AA									
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA									
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM									
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1									
RUTINA 5 (BIMENSUAL)										
DATOS DE LA MÁQUINA										
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN									
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA									
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR										
			INTENSIDAD	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA	PORCENTAJE DEL VARIADOR	CAUDAL DE SALIDA	PRESIÓN SALIDA BOMBA	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
BOMBA GENERAL	RECOGIDA DE DATOS									
EJE	GIRAR EJE CON LA LLAVE STILLSON 36°									
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES								
Vº Bº OPERADOR:			Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:							

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES										
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: AC										
DATOS DE LA O.T.			DATOS ECONÓMICOS							
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN		Nº DE OPERARIOS:	1						
Nº DE O.T.:	NNN/AA									
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA									
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM									
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2									
RUTINA 5 (BIMENSUAL)										
DATOS DE LA MÁQUINA										
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN									
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA									
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR										
			INTENSIDAD	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA	PORCENTAJE DEL VARIADOR	CAUDAL DE SALIDA	PRESIÓN SALIDA BOMBA	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
BOMBA GENERAL	RECOGIDA DE DATOS									
EJE	GIRAR EJE CON LA LLAVE STILLSON 36°									
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES								
Vº Bº OPERADOR:			Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:							

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES										
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C										
DATOS DE LA O.T.			DATOS ECONÓMICOS							
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN		Nº DE OPERARIOS:	1						
Nº DE O.T.:	NNNAA									
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA									
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM									
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3									
RUTINA 5 (BIMENSUAL)										
DATOS DE LA MÁQUINA										
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN									
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA									
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR										
			INTENSIDAD	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA	PORCENTAJE DEL VARIADOR	CAUDAL DE SALIDA	PRESIÓN SALIDA BOMBA	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
BOMBA GENERAL	RECOGIDA DE DATOS									
EJE	GIRAR EJE CON LA LLAVE STILLSON 36"									
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES								
Vº Bº OPERADOR:			Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:							

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES										
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C										
DATOS DE LA O.T.			DATOS ECONÓMICOS							
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN		Nº DE OPERARIOS:	1						
Nº DE O.T.:	NNNAA									
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA									
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM									
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4									
RUTINA 5 (BIMENSUAL)										
DATOS DE LA MÁQUINA										
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN									
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA									
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR										
			INTENSIDAD	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA	PORCENTAJE DEL VARIADOR	CAUDAL DE SALIDA	PRESIÓN SALIDA BOMBA	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
BOMBA GENERAL	RECOGIDA DE DATOS									
EJE	GIRAR EJE CON LA LLAVE STILLSON 36"									
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES								
Vº Bº OPERADOR:			Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:							

Fig. 19 Orden de trabajo

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

- RUTINA 6:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1		
RUTINA 6 (3 VECES AL AÑO)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
VARIADOR	APLICAR SPRAY PROTECTOR ANTIHUMEDAD		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2		
RUTINA 6 (3 VECES AL AÑO)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
VARIADOR	APLICAR SPRAY PROTECTOR ANTIHUMEDAD		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	



*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS:	1
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3		
RUTINA 6 (3 VECES AL AÑO)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
VARIADOR	APLICAR SPRAY PROTECTOR ANTIHUMEDAD		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS:	1
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4		
RUTINA 6 (3 VECES AL AÑO)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
VARIADOR	APLICAR SPRAY PROTECTOR ANTIHUMEDAD		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

Fig. 20 Orden de trabajo

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

- RUTINA 7:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1		
RUTINA 7 (3.600 H)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2		
RUTINA 7 (3.600 H)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3		
RUTINA 7 (3.600 H)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES			
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C			
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS	
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1	
Nº DE O.T.:	NNN/AA		
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA		
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM		
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4		
RUTINA 7 (3.600 H)			
DATOS DE LA MÁQUINA			
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN		
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR			
		HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE		
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES	
SPRAY ANTIHUMEDAD		1	
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:	

Fig. 21 Orden de trabajo

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

- RUTINA 8:

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 1			
RUTINA 8 (ANUAL)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		OXIDACIÓN (S/N)	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CUERPO BOMBA	LIMPIAR OXIDACIÓN			
	REPINTAR BOMBAS			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA			UNIDADES
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 2			
RUTINA 8 (ANUAL)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		OXIDACIÓN (S/N)	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CUERPO BOMBA	LIMPIAR OXIDACIÓN			
	REPINTAR BOMBAS			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA			UNIDADES
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

*Análisis de fallos y planificación del mantenimiento en las bombas de alta presión de una planta de tratamiento de agua salobre*

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 3			
RUTINA 8 (ANUAL)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		OXIDACIÓN (S/N)	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CUERPO BOMBA	LIMPIAR OXIDACIÓN			
	REPINTAR BOMBAS			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES		
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES				
ORDEN DE TRABAJO. ESTADO: A/C				
DATOS DE LA O.T.		DATOS ECONÓMICOS		
INSTALACIÓN:	BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	Nº DE OPERARIOS: 1		
Nº DE O.T.:	NNN/AA			
FECHA DE FINALIZACIÓN DE O.T.:	DD/MM/AAAA			
TIEMPO EMPLEADO:	HH:MM			
CÓDIGO:	BOMBA ALTA PRESIÓN 4			
RUTINA 8 (ANUAL)				
DATOS DE LA MÁQUINA				
MÁQUINA:	BOMBA DE ALTA PRESIÓN			
UBICACIÓN:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA			
DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS A REALIZAR				
		OXIDACIÓN (S/N)	HECHO (S/N)	ESTADO (B/M)
CUERPO BOMBA	LIMPIAR OXIDACIÓN			
	REPINTAR BOMBAS			
RODAMIENTO LADO OPUESTO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
RODAMIENTO LADO ACOPLAMIENTO	CAMBIAR ACEITE			
DENOMINACIÓN PRODUCTO	REFERENCIA	UNIDADES		
Vº Bº OPERADOR:		Vº Bº RESPONSABLE MANTENIMIENTO:		

Fig. 22 Orden de trabajo



# **PRESUPUESTO**





## PRESUPUESTO

### 1.1 Presupuesto general

Código	Capítulo	Presupuesto [€]
C01	Partida nº1: Medios materiales. Coste de los materiales necesarios para llevar a cabo el mantenimiento.	880,93
C02	Partida nº2: Medios humanos: Coste humano para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.	16.305,94
C03	Partida nº3: Almacén. Coste de tener ciertos recambios en almacén en previsión para el mantenimiento.	4.177,56
C04	Partida nº4: Coste de elaboración del proyecto	2.763,12
<b>TOTAL EJECUCION MATERIAL</b>		<b>24.127,55 €</b>
	13 % Gastos generales	3.136,58 €
	6 % Beneficio Industrial	1.447,65 €
	SUMA DE G.G. y B.I.	4.584,23 €
	<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA SIN IVA</b>	<b>28.711,78€</b>
	21 % IVA	6.029,47 €
	Honorarios del Proyecto (5% PEM)	1.206,38 €
	21 % IVA	253,34 €
	<b>TOTAL HONORARIOS</b>	<b>1.459,72 €</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>		<b>36.200,97€</b>

## 1.2 Presupuesto y mediciones

### CAPÍTULO C01 PARTIDA Nº1:

#### EQUIPOS MATERIALES NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO EL MANTENIMIENTO

Código	Descripción	Cantidad	Precio [€]	Importe [€]
01.01	Pirómetro	1	130,00	130,00
01.02	Vibrómetro	1	550,00	550,00
01.03	Trapos	20	0,20	4,00
01.04	Llave Stillson de 36"	1	75,00	75,00
01.05	Pintura	1	50,90	50,90
01.06	Brochas de distinto tamaño	2	6,00	12,00
01.07	Aceite lubricante ISO VG-46	1	29,63	29,63
01.08	Spray antihumedad	2	14,70	29,40

TOTAL CAPÍTULO C01 PARTIDA Nº1

880,93 €

El coste necesario de los equipos y medios materiales para empezar a llevar a cabo el plan de mantenimiento propuesto son **OCHOCIENTOS OCHENTA EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS (880,93€)**.

**CAPÍTULO C02 PARTIDA Nº2**

**COSTE HUMANO NECESARIO PARA LLEVAR A CABO EL MANTENIMIENTO**

Código	Descripción	Cantidad	Precio [€]	Importe [€]
02.01	Oficial de 1ª, con lo que le corresponde el Grupo Profesional 2 – Nivel A, que según el convenio estatal de captación, depuración y distribución de agua el sueldo total anual son 20.033,29€. Añadiendo el coste de SS, el coste para la empresa son 27.044,90€. Según convenio el máximo de horas a trabajar son 1.752h anuales.	2	15,44	10.051,44
02.02	Ingeniero, según convenio estatal de captación, depuración y distribución de agua el sueldo total anual son 23.192,43€. Añadiendo el coste de SS, el coste para la empresa son 31.309,78€. Según convenio el máximo de horas a trabajar son 1.752h anuales.	1	17,87	6.254,50

**TOTAL CAPÍTULO C02 PARTIDA Nº2**

**16.305,94 €**

El coste para la empresa de los medios humanos para poder llevar a cabo el plan de mantenimiento anual asciende a **DIECISEIS MIL TRESCIENTOS CINCO EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS (16.305,94€)**.

**CAPÍTULO C03 PARTIDA Nº3**

**PREVISIÓN DE RECAMBIOS EN EL ALMACÉN PARA LLEVAR A CABO EL MANTENIMIENTO**

Código	Descripción	Cantidad	Precio [€]	Importe [€]
03.01	Juego de rodamientos	1	94,40	94,40
03.02	Juego completo de casquillos	1	58,16	58,16
03.03	Juego completo de camisas	1	240,00	240,00
03.04	Juego completo de aros de rozamiento y de protección	1	35,00	35,00
03.05	Dos cierres mecánicos	2	1.875,00	3.750,00

**TOTAL CAPÍTULO C03 PARTIDA Nº3**

**4.177,56 €**

El coste de tener una previsión en el almacén de ciertos recambios para reducir el tiempo de parada de las bombas de alta presión son **CUATRO MIL CIENTO SETENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS (4.177,56€)**.

#### CAPÍTULO C04 PARTIDA Nº4

#### COSTE DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Código	Descripción	Cantidad	Precio [€]	Importe [€]
04.01	Coste de elaboración del proyecto. Según el convenio estatal de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos, el sueldo anual de un diplomado y titulado 1º ciclo universitario, jefe superior son 20.424,25€. Añadiendo el coste de SS son 27.572,74€. El máximo de horas anuales son 1.792h.	1	15,39	2.462,40
04.02	Coste administrativo de redacción del proyecto. Según convenio estatal de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos, el sueldo anual de un Oficial de 1ª administrativo son 16.627,17€. Añadiendo el coste de SS son 22.446,68€. El máximo de horas anuales son 1.792h.	1	12,53	300,72

TOTAL CAPÍTULO C04 PARTIDA Nº4

2.763,12 €

El coste de elaboración del proyecto “Análisis de fallos y planificación del mantenimiento de bombas de alta presión en una planta de tratamiento de agua salobre” son **DOS MIL SETECIENTOS SESENTA Y TRES EUROS CON DOCE CÉNTIMOS (2.763,12€)**



# **PLANOS Y** **ESQUEMAS**

## 1. ESQUEMAS SITUACIÓN DE LAS BOMBAS DE AP EN LA PLANTA Y DE LAS OFICINAS DE MANTENIMIENTO

- Planta baja

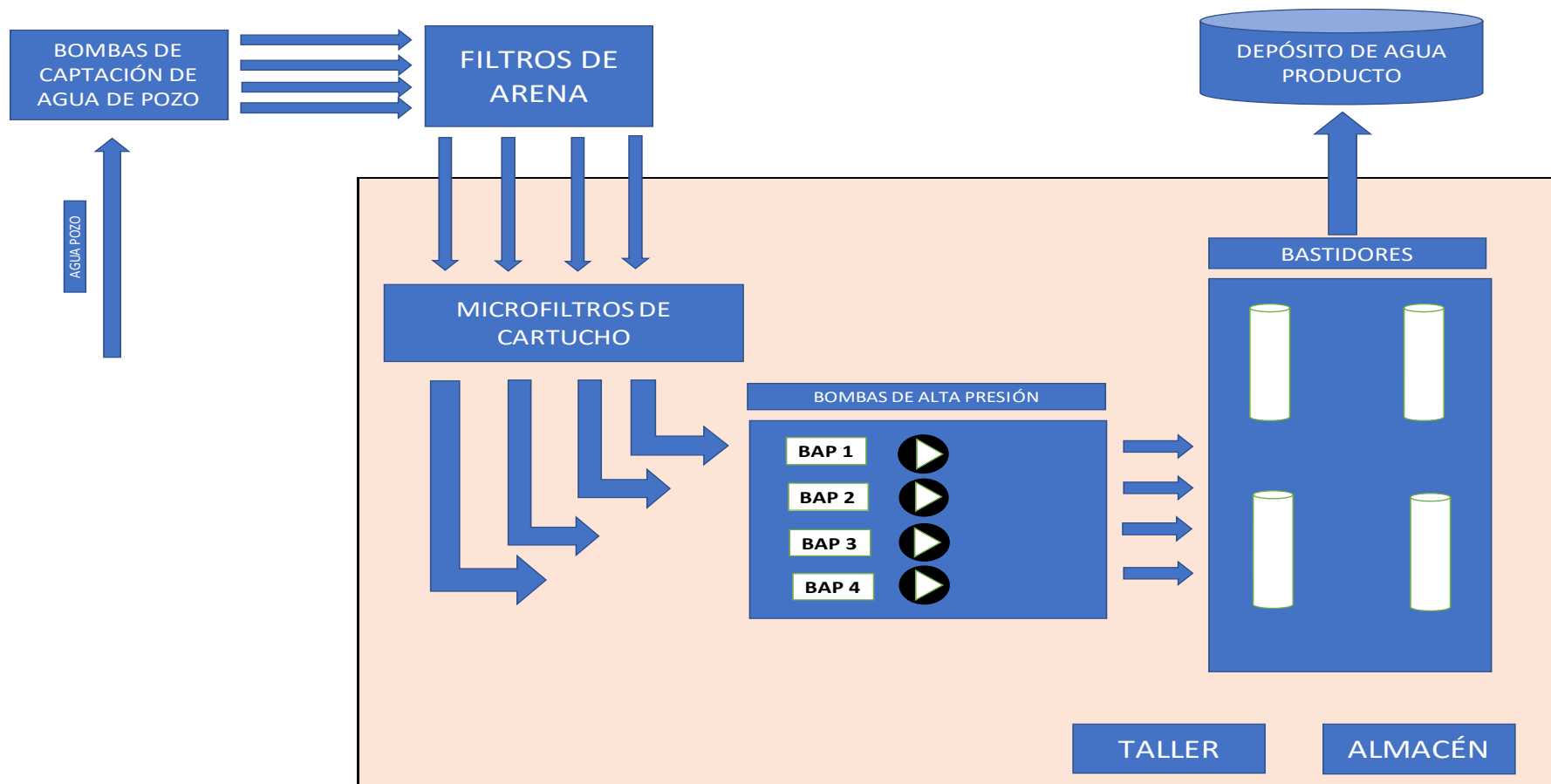


Fig. 23 Esquema de la situación de las bombas de AP en una planta de tratamiento de agua



- Planta alta (Oficinas mantenimiento):

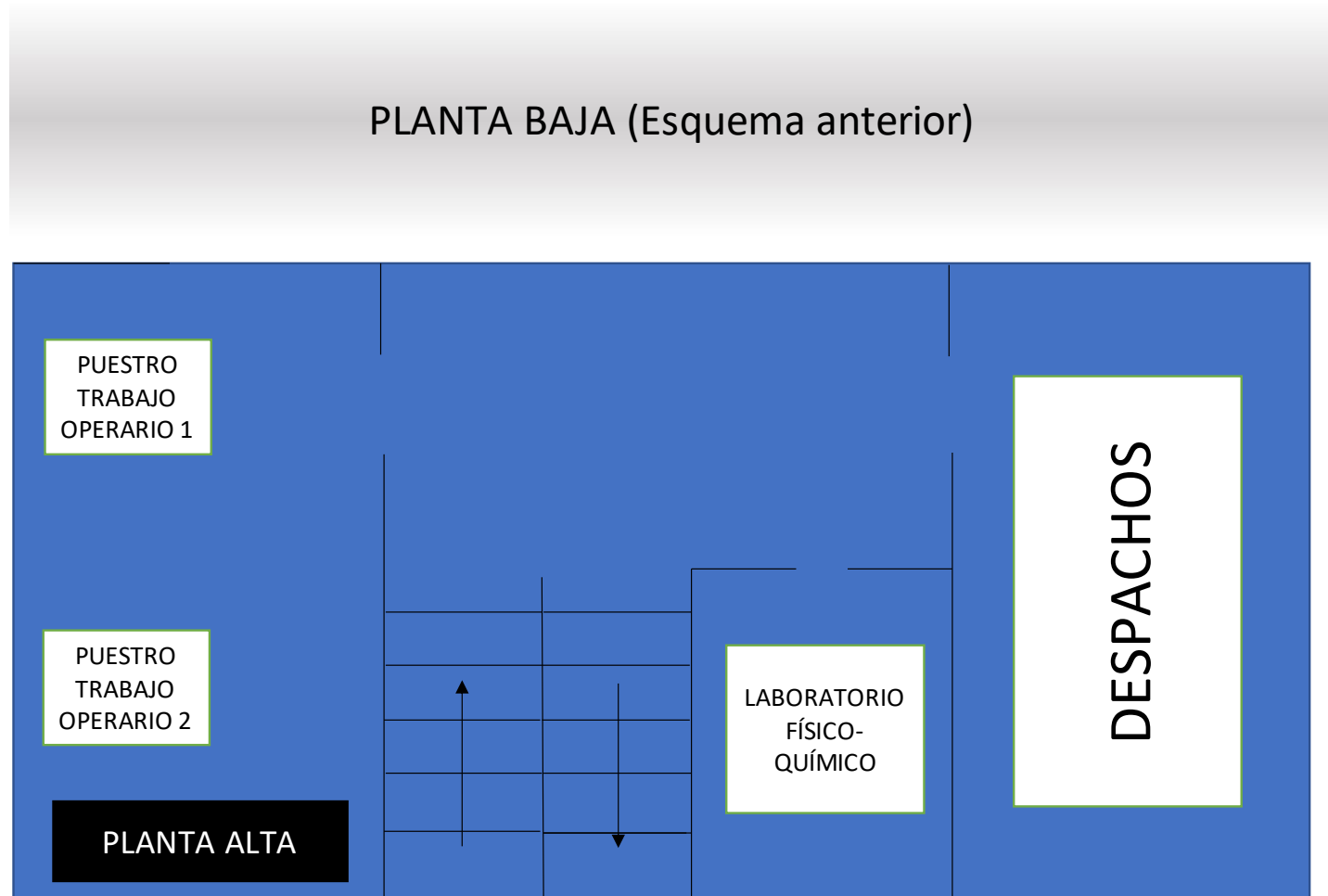


Fig. 24 Esquema situación oficinas mantenimiento en una planta de agua

# **ANEXOS**

1. ANEXO I: Modelo de parte de avería

## Parte de Avería

Parte Avería N.º \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Máquina: \_\_\_\_\_ Operario: \_\_\_\_\_

Elemento que presenta la avería (Señale con una X):

- |   |                           |                       |
|---|---------------------------|-----------------------|
| 1. ___ Rodamiento LOA                       | 2. ___ Rodamiento LA      | 3. ___ Sello Mecánico |
| 4. ___ Cápsula presurizadora sello mecánico | 5. ___ Eje                | 6. ___ Variador       |
| 7. ___ Sistema lubricación rodamiento       | 8. ___ Apoyos de la bomba |                       |

9. \_\_\_ Otro (Indíquese) \_\_\_\_\_

Identificación de máquina. Código: \_\_\_\_\_

Síntoma: \_\_\_\_\_

¿Ha habido fugas de agua? (S/N) \_\_\_ ¿Cantidad? (aprox.) \_\_\_\_\_

¿Se ha tenido que recircular el agua a otra bomba? (S/N) \_\_\_\_\_

Avisa a: \_\_\_\_\_

Descripción de la avería / Pieza averiada

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Reparado por: \_\_\_\_\_ Inicio (fecha / hora) \_\_\_\_\_

Fin (fecha / hora) \_\_\_\_\_

Material / piezas empleadas	Cantidad

VºBº: (Firma y fecha)

## 2. ANEXO II: Bibliografía

Explicación bombas centrífugas de cámara partida

<https://areamecanica.wordpress.com/2013/04/21/ingenieria-mecanica-bombas-centrifugas-de-camara-partida/> (Consultado por última vez el 15/02/2022)

Sellado bombas centrífugas

<https://areamecanica.wordpress.com/2011/09/22/ingenieria-mecanica-el-sellado-de-ejes-en-bombas-centrifugas/> (Consultado por última vez el 24/02/2022)

Spray antihumedad para proteger los variadores. Nanoprotech

<https://nanoprotech.es/industria-electrico/> (Consultado por última vez el 05/04/2022)

Normativa UNE-EN y normativa ISO. AENOR

<https://tienda.aenor.com/normas/buscador-de-normas> (Consultado por última vez el 18/03/2022)

Convenio colectivo estatal del ciclo integral del agua (2018-2022)

[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-14143](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-14143) (Consultado por última vez el 10/05/2022)

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua para el consumo humano

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596> (Consultado por última vez el 20/03/2022)

Sistema doble sello mecánico

<https://www.youtube.com/watch?v=qzQSaagsg94> (Consultado por última vez el 02/03/2022)

Explicación plan API-52

<https://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-52> (Consultado por última vez el 05/03/2022)

Convenio colectivo estatal del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-14977> (Consultado por última vez el 15/05/2022)