

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING EN EL  
MANTENIMIENTO DE EDARs**

**Memoria**

**XAVIER SAMANIEGO ROCHA**  
**PONENTE: JULIÁN HORRILLO TELLO**

**CURSO ACADÉMICO 2018-2019**



## **Dedicatoria**

A mi familia, y en concreto a mi mujer y a mi pequeña terremoto. Sin todos ellos no hubiera sido posible.



## Agradecimientos

En primer lugar, desearía ofrecer mi agradecimiento a mi tutor, Julián Horrillo Tello. Por la paciencia demostrada ante cualquier tropiezo o duda que el presente proyecto me ha suscitado. Gracias a la ruta que me marcó, he podido trazar el camino que ha llevado a la consecución del presente documento. La orientación y dedicación aportada ha influido positivamente en mi motivación por el tema elegido. Por todo ello, ha sido un privilegio contar con su apoyo.

Así mismo, extender el agradecimiento a la enseñanza y dedicación, que todos los docentes del grado de Ingeniería Industrial Mecánica me han aportado durante los cursos que he impartido en la EUPMT.

Por último, no me podía olvidar de las personas que han hecho que mi deseo se convierta en realidad, mi familia. Mil gracias por el apoyo recibido por mis padres, los cuales, aunque tomé muy tarde la decisión de retomar los estudios, nunca dudaron de mis posibilidades. Mi más sincero agradecimiento a Sandra, mi mujer, por ser el mástil que ha mantenido siempre erguida la vela que me ha llevado a conseguir mi objetivo. Por otro lado, no podía pasar sin acordarme de mi pequeña estrella, mi hija Paula, con la que una simple sonrisa ha hecho desaparecer cualquier atisbo de preocupación o dudas que me hayan podido surgir.



## **Resumen**

Los cambios que a día de hoy se están dando en el sector de la industria y, por ende, al del mantenimiento, hacen que las empresas deban adaptarse a las nuevas tecnologías. Generadas éstas, por la influencia de la industria 4.0. Esta denominada cuarta revolución industrial crea la obligación, en las empresas que no quieran quedarse atrás, de hacer acopio de los nuevos avances que esta propone. Para ello es de gran utilidad el uso de la filosofía Lean, la cual permite establecer unos estándares de organización, planificación y sistema de realización de tareas. Con la búsqueda de este binomio entre filosofía Lean e industria 4.0 se presenta este proyecto, con el que se persigue dotar de esa teórica utilidad que la filosofía Lean ofrece, orientándola a los procesos que los mantenimientos de las EDARs precisan.

## **Resum**

Els canvis que el dia d'avui s'estan donant al sector de la indústria i, per extensió, al del manteniment, fan que les empreses hagin d'adaptar-se a les noves tecnologies. Generades aquestes, per la influència de la indústria 4.0. Aquesta denominada quarta revolució industrial crea l'obligació, a les empreses que no vulguin quedar-se enrere, de fer aplec dels nous avenços que aquesta proposa. Per això és de gran utilitat l'ús de la filosofia Lean, la qual permet establir uns estàndards d'organització, planificació i sistema de realització de tasques. Amb la cerca d'aquest binomi entre filosofia Lean i indústria 4.0 es presenta aquest projecte, amb el que es persegueix dotar d'aquesta teòrica utilitat que la filosofia Lean ofereix, orientant-la als processos que els manteniments de les EDARs precisi.

## **Abstract**

The changes that nowadays are taking part in the industry sector and therefor in the maintenance, make companies must be adapted to the new technologies. This are generated by the influence of industry 4.0. The fourth industrial revolution creates the obligation in the companies that don't want to be left behind, to incorporate the new advances that it proposes. For this, it's very useful use the Lean philosophy, which allows establish organizational standards, planification and a system for doing tasks. This is the aim of this project, with which it is pursued to endow with that theoretical utility that the Lean philosophy offers, orienting it to the processes that require the EDAR's maintenance.





## Índice.

Dedicatoria .....	I
Agradecimientos.....	III
Resumen .....	V
Resum .....	V
Abstract.....	V
Índice de figuras. ....	XI
Índice de tablas. ....	XIII
Glosario de términos. ....	XV
Normas y Reglamentos. ....	XVII
1. Objetivos del proyecto .....	19
1.1. Propósito del proyecto .....	19
1.2. Finalidad del proyecto .....	19
1.3. Objeto del proyecto .....	19
1.4. Alcance del proyecto .....	19
1.5. Contexto en las líneas de investigación y transferencia de conocimiento del Tecnocampus .....	19
2. Introducción.....	21
3. Revisión de Antecedentes .....	23
3.1. ¿Qué es una EDAR?.....	23
3.1.1. Tipos de EDAR.....	23
3.1.2. Proceso de depuración de aguas residuales .....	24
3.1.3. Necesidades en el mantenimiento de EDARs.....	26
3.2. Concepto de Lean Manufacturing .....	27
3.2.1. Historia del Lean Manufacturing .....	27
3.2.2. Objetivos del Lean Manufacturing .....	29
3.2.3. Herramientas del Lean Manufacturing .....	31
3.3. Nuevas tendencias en el mantenimiento.....	37
3.4. Concepto de Industria 4.0.....	38
3.4.1. Historia que guía hacia la industria 4.0.....	38
3.4.2. Papel de la filosofía Lean en la industria 4.0 .....	42

3.4.3. Relevancia de la industria 4.0 a día de hoy .....	44
3.4.4. Objetivos de la industria 4.0 .....	45
4. Alcance detallado .....	49
5. Objetivos de detalle y especificaciones técnicas.....	51
5.1. Objetivos .....	51
5.2. Especificaciones técnicas .....	53
6. Tipos de mantenimiento .....	57
6.1. Mantenimiento Correctivo .....	57
6.2. Mantenimiento Preventivo .....	59
6.3. Mantenimiento Predictivo .....	61
6.4. Mantenimiento de Mejoras.....	64
6.5. Mantenimiento Legal .....	64
6.6. Mantenimiento de Obra civil.....	64
7. Herramientas Lean disponibles .....	67
7.1. Implementación de Kaizen.....	67
7.2. Implementación de Jidoka.....	70
7.3. Implementación del Poka-Yoke .....	71
7.4. Establecimiento de KPIs .....	72
7.5. Uso del Internet of Things.....	73
7.6. Uso del Big Data .....	75
7.7. Implementación del Kanban.....	76
7.8. Histórico de averías .....	78
7.9. Implementación del Six Sigma.....	79
7.10. Uso de la curva de la bañera.....	80
7.11. Uso del Just in Time.....	82
7.12. Introducción a las 5s.....	83
7.13. Implementación de SMED .....	85
7.14. Uso del TPM .....	86
7.15. Empleo del TQM.....	88
7.16. Estandarización de equipos .....	89
7.17. Valor del uso de las herramientas en mantenimiento.....	90

8. Metodología del mantenimiento .....	91
8.1. Bombeo de entrada .....	93
8.2. Pretratamiento.....	98
8.3. Decantación primaria.....	100
8.4. Bombeo intermedio .....	103
8.5. Reactores biológicos.....	104
8.6. Soplantes.....	105
8.7. Decantación secundaria .....	107
8.8. Espesado .....	109
8.9. Digestión.....	113
8.10. Deshidratación .....	115
8.11. Agua tratada.....	118
8.12. Herramientas Lean de uso global durante el proceso .....	119
9. Planificación .....	121
9.1. Planificación del anteproyecto.....	122
9.2. Planificación del Proyecto de Detalle.....	124
9.3. Diagrama de Gantt.....	130
9.3.1. Anteproyecto.....	130
9.3.2. Proyecto de detalle .....	131
10. Impacto ambiental .....	133
10.1. Acuerdo de París.....	133
10.2. Filosofía Lean y medioambiente .....	135
10.3. Resultados y conclusiones del estudio de impacto medioambiental .....	137
11. Conclusiones .....	141
11.1. Desviaciones .....	142
11.2. Riesgos.....	142
11.3. Futuras líneas de trabajo .....	143
12. Bibliografía.....	145



## Índice de figuras.

Fig. 3.1. Procesos de una EDAR biológica.....	24
Fig. 3.2. Eiji Toyoda.....	28
Fig. 3.3. Taiichi Ohno.....	28
Fig. 3.4. Herramientas Lean.....	32
Fig. 3.5. Revoluciones industriales.....	38
Fig. 3.6. Evolución tratamiento de datos.....	42
Fig. 3.7. Ámbito de acción de la industria 4.0.....	45
Fig. 7.1. Diagrama de Ishikawa.....	66
Fig. 7.2. Evolución hacia Jidoka.....	68
Fig. 7.3. Organización Kanban.....	75
Fig. 7.4. Tablero Kanban.....	75
Fig. 7.5. Ejemplo de bandejas Kanban.....	76
Fig. 7.6. Curva de la bañera.....	79
Fig. 7.7. 5s.....	82
Fig. 7.8. Los 8 pilares del TPM.....	84
Fig. 7.9. Etapas de implementación del TPM.....	86
Fig. 8.1. Sinóptico completo de EDAR.....	90
Fig. 8.2. Sinóptico Bombeo de entrada.....	91
Fig. 8.3. Sinóptico pretratamiento.....	95
Fig. 8.4. Sinóptico Decantación primaria.....	98

Fig. 8.5. Sinóptico Bombeo intermedio .....	100
Fig. 8.6. Sinóptico Reactores .....	101
Fig. 8.7. Sinóptico Soplantes .....	102
Fig. 8.8. Sinóptico Decantación secundaria .....	105
Fig. 8.9. Sinóptico Espesado I .....	106
Fig. 8.10. Sinóptico Espesado II .....	108
Fig. 8.11. Sinóptico Digestión .....	110
Fig. 8.12. Sinóptico Deshidratación .....	112
Fig. 8.13. Sinóptico Agua de salida .....	114
Fig. 9.1. Diagrama de Gantt del anteproyecto .....	126
Fig. 9.2. Diagrama de Gantt del proyecto de detalle .....	127
Fig. 10.1. Porcentaje de emisiones de CO2 mundiales en 2015 .....	129
Fig. 10.2. Claves del acuerdo de París .....	130

## Índice de tablas.

Tabla 3.1. Áreas de influencia de la industria 4.0 .....	44
Tabla 7.1. Ejemplo de documentación de averías .....	77
Tabla 8.1. Leyenda del sinóptico completo de EDAR .....	90
Tabla 8.2. Leyenda del sinóptico del bombeo de entrada .....	92
Tabla 8.3. Leyenda del sinóptico de pretratamiento .....	95
Tabla 8.4. Leyenda del sinóptico de decantación primaria .....	98
Tabla 8.5. Leyenda del sinóptico de espesado I .....	106
Tabla 8.6. Leyenda del sinóptico de espesado II .....	108
Tabla 8.7. Leyenda del sinóptico de digestión .....	110
Tabla 8.8. Leyenda del sinóptico de deshidratación .....	112
Tabla 9.1. Duraciones totales del proyecto .....	117
Tabla 9.2. Planificación del anteproyecto .....	118
Tabla 9.3. Fechas memoria intermedia y proyecto de detalle .....	121
Tabla 10.1. Acciones impactantes .....	138
Tabla 10.2. Acciones ambientales impactantes .....	138
Tabla 11.1. Riesgos del proyecto .....	135





## **Glosario de términos.**

ATEX	Atmósfera de gas explosiva
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales
IoT	Internet de las cosas
JIT	Just in Time
LEAN MANUFACTURING	Manufactura esbelta
PLC	Computador lógico programable
SCADA	Supervisión, control y adquisición de datos
TIC	Tecnologías de la información y comunicación
TPM	Mantenimiento Productivo Total
TQM	Gestión de Calidad Total



## Normas y Reglamentos.

UNE-EN 982	Requisitos de seguridad para sistemas y componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas. Hidráulica.
UNE-EN 983	Requisitos de seguridad para sistemas y componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas. Neumática.
UNE-EN 12100	Evaluación del riesgo y reducción del riesgo
UNE-EN 626-1 y 2	Reducción de riesgos para la salud debido a sustancias peligrosas emitidas por las máquinas
UNE-EN ISO 14122	Medios de acceso permanentes a máquinas
R.D. 842/2002	Reglamento electrotécnico para baja tensión
R.D. 1890/2008	Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07
MIE-APQ-01	Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles
MIE-APQ-05	Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión
Real Decreto 656/2017	Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10
MIE-APQ-07	Almacenamiento de líquidos tóxicos
ITC EP-1	Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias
R. D. 1215/1997	Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo

R. D. 2267/2004                      Reglamento de seguridad contra incendios en los  
establecimientos industriales

# 1. Objetivos del proyecto

## 1.1. Propósito del proyecto

El propósito con el que se expone el presente proyecto consiste en ofrecer la muestra de posibilidades que el uso de las herramientas Lean puede ofrecer en la tarea de mantenimiento de las EDARs.

## 1.2. Finalidad del proyecto

Marcar el camino de la implantación de dichas herramientas, para poder servirse de los beneficios que, la optimización de los procesos proporciona.

## 1.3. Objeto del proyecto

Presenta un estudio pormenorizado de las herramientas que la Filosofía Lean ofrece, todo ello enlazándolo en un entorno tecnológico, como el que ofrece el contexto de la industria 4.0. La guía de la implantación y uso de las mismas, ofrecerá un aporte de valor a las empresas, las cuales hagan uso de ellas.

## 1.4. Alcance del proyecto

En este documento se sientan las bases sobre las que planificar el mantenimiento, llevando a cabo un estudio de todo lo que concierne a las tareas que para tal efecto se llevan a cabo en las estaciones depuradoras, haciendo que, para lograr dicho objetivo, se haga uso como hilo conductor tanto la industria 4.0, como de las herramientas Lean

En el proyecto no se contempla la acción de la implantación física de las herramientas estudiadas. Esta tarea sería realizada por la empresa a la que se le ofrezca el proyecto.

## 1.5. Contexto en las líneas de investigación y transferencia de conocimiento del Tecnocampus

La concepción de Filosofía Lean, engloba vastamente todos los procesos, planificaciones o sistemas organizativos que la industria pueda abarcar. Teniendo en cuenta que, ofrece la posibilidad de gestionar dichos procesos, de una manera más eficaz y eficiente.

Otorgando a la industria en la que se implanta dicha filosofía, de unos márgenes tanto de planificación, como de rentabilidad que, favorece poder atacar la competitividad desde otra posición.

Si a esta idea, se la dota de las posibilidades que la industria 4.0 ofrece, se obtiene un control muy preciso de los procesos a tratar. Para ello, el proyecto pone su empeño en unificar ambos conceptos. La monitorización y control que la revolución industrial actual aporta, hace capaz a los sistemas organizativos de las empresas a optimizar todos los procesos en los que estas nuevas tecnologías intervengan.

Por ello, se hace muy difícil de entender, el uso de herramientas de Lean Manufacturing, sin parapetarse previamente en la utilización de las nuevas tecnologías que la industria 4.0 presenta.

## 2. Introducción

El presente proyecto se marca como objetivo la optimización de los procesos de mantenimiento que precisan los equipos existentes en una EDAR. Atendiendo a la necesidad de replanteamiento que dichos procesos necesitan, y a las nuevas exigencias que un entorno de industria 4.0 plantea.

Para poderlo llevar a cabo esta optimización, se plantearán técnicas y herramientas procedentes del Lean Manufacturing. Dando lugar a que, el proyecto se centre en la búsqueda del lugar donde encajar dichas herramientas, dotándolas del sentido necesario para ofrecer su utilidad en las tareas que el mantenimiento requiere.

De forma que se presenta como objetivo principal, analizar y optimizar el proceso del mantenimiento. Basándose en la aplicación de una metodología que se fundamente en la busca intensiva de la mejora continua, así como de desprenderse de todo aquello que no aporta valor a la empresa.

De la misma forma, se incidirá en las técnicas que permiten reducir los problemas derivados de los costes, tiempos empleados o mejoras de los sistemas de calidad.

Gracias a las herramientas Lean, se podrá atender a la recaudación de datos y tratamiento de los mismos, para ofrecer una mejora de la calidad, pasando a impulsar un algoritmo de resolución de problemas, basados en históricos de los equipos a tratar.

Realizando una optimización del mantenimiento preventivo, se evitarán largas paradas de los equipos, todo ello, estableciendo un mantenimiento acorde con los tiempos de funcionamiento de los equipos. Teniendo en cuenta que mediante esta optimización se evitará tener un stock desmesurado de recambios.

Se marcarán las pautas para crear los vínculos necesarios entre diferentes estamentos de la empresa para aportar voz y voto a todos los trabajadores, puesto que una de las premisas de la filosofía Lean, defiende que todos los integrantes de la empresa o compañía, deben sentirse parte de la solución.





### 3. Revisión de Antecedentes

Como punto de partida a la hora de poder llevar a cabo una definición clara, tanto del propósito que se desea alcanzar, como de las herramientas que posteriormente se vayan a utilizar, es indispensable, hacer acopio de información sobre el tema. Para llevarlo a cabo, en este capítulo, se introducirán los conceptos de EDAR, Lean Manufacturing e Industria 4.0.

Para poder comprender que información se presta como relevante a la hora de realizar el proyecto, se estudiarán las necesidades de información. Estas guiarán hacia donde se debe enfocar la búsqueda.

#### 3.1. ¿Qué es una EDAR?

En primer lugar, anotar que sus siglas atienden a; estación depuradora de aguas residuales. Como la propia etimología de estas palabras indica, se habla de plantas dedicadas a la depuración de aguas residuales, ya provengan estas, de la industria o de una población.

Estas aguas son enviadas mediante colectores a las mismas plantas, en las cuales recibirán determinados tratamientos, que más adelante se comentarán, para poder llevar a cabo la depuración. Cuando mediante diferentes análisis, se comprueba que su nivel de contaminación o toxicidad ha disminuido, las aguas son enviadas mediante colector, a un medio receptor como podría ser el río, mar, embalse, etc. [1].

##### 3.1.1. Tipos de EDAR

Dejando de lado que la proveniencia de las aguas a tratar puede venir tanto de industria como de aglomeración de población, así como de medios rurales, también se pueden clasificar las EDARs, según el tratamiento de depuración con el que trabajen:

**Físico-químicas:** Esta se realiza mediante la utilización de reactivos químicos. Dichos reactivos, durante el tratamiento, se añaden al agua a tratar. De esta forma, se ayuda a que el líquido decante los sólidos que posee en suspensión.

**Biológicas:** Como su propio nombre indica, serán procesos biológicos, de los que se harán uso en este tipo de EDAR. El agua a depurar, posee materia orgánica e inorgánica, sobre la que

actuarán los microorganismos. Todo ello, convirtiéndolos en sólidos fáciles de sedimentar, haciendo mucho más sencillo el separarlos.

### 3.1.2. Proceso de depuración de aguas residuales

Las depuradoras de aguas residuales se rigen por un circuito por el que se hace pasar el producto a depurar, que dista muy poco de unas a otras, únicamente atendiendo a simultaneidades de procesos o situación de las maquinarias en las diferentes plantas.

Aquí se puede observar el esquema de procesos que sigue una EDAR del tipo biológica.



Figura 3.1 Procesos de una EDAR biológica

Fuente: [2]

En todo este proceso se puede dividir en ocho subprocesos:

- Pretratamiento; una vez recibida el agua, ya sea por bomba o tornillo Arquímedes, se pasará por el desbaste de finos, de gruesos, así como por el desarenador. En los desbastes, mediante unos tamices, que actuarán a modo filtros, se separarán los

desperdicios que sean visibles directamente. El desarenador se encargará de retener la arena que al agua transporta.

- Este subproceso tiene como finalidad la eliminación de sólidos en suspensión. En numerosas EDARs existe el elemento llamado decantador primario, en el cual se hace uso de la gravedad para que se realice la consecuente sedimentación.
- Será durante el tratamiento secundario, cuando se trate al agua biológicamente. Convirtiendo en agua la parte orgánica de la misma, pudiendo transformarla en gases o en la generación de energía. En concreto se hablará de espacios denominados reactores, con los que se hace uso de la suficiencia que los organismos de menor tamaño presentan a la hora de adquirir parte orgánica.
- Decantación; también conocido como decantador secundario o clarificador. Aquí se separará el agua depurada de los fangos generados durante el proceso biológico.
- Por lo que respecta a la línea de fangos, en este subproceso entrará en actuación el espesador de fangos. Permitiendo la reducción del volumen de fangos, extrayendo el máximo posible de agua. El espesador podrá actuar por flotación o por gravedad-decantación.
- Será en el digestor, donde se produzca la eliminación de organismos patógenos, materia orgánica u olores. Todo ello, en virtud de la reducción de los riesgos que los posibles residuos puedan generar sobre nuestra salud. Atendiendo a si existe o no, oxígeno durante el proceso, se podrá hablar de digestión aerobia o anaerobia.
- Los gases generados en el digestor, son habitualmente almacenados en gasómetros (los excesos se queman en antorchas), pudiendo hacerse uso de la cogeneración para obtener fuente de energía eléctrica.
- Para finalizar el proceso de depuración, los fangos son deshidratados para su posterior envío a plantas secadoras o cultivo en los campos. El proceso más habitual para realizar la deshidratación reside en el proceso del centrifugado. Como su nombre

indica, mediante fuerza centrífuga, (y con la utilización del polielectrolito), separa el agua del fango [3].

### 3.1.3. Necesidades en el mantenimiento de EDARs

La técnica de la depuración, se presenta como un proceso, el cual no puede dejar de prestar servicio. Debido a que una falta de actividad en la planta podría generar un desastre medioambiental, que demandaría otro largo período de actividad para reestablecer los valores iniciales.

Por ello, es necesario prestar un mantenimiento exhaustivo tanto de las instalaciones, como de los equipos, así como posibles variaciones en los procesos. Para poder llevar a cabo dicha tarea, es indispensable atender a los mantenimientos correctivo, preventivo y predictivo.

- Mantenimiento correctivo; se presenta como la última herramienta a utilizar. Se expresa como la última herramienta, puesto que, al ser el correctivo, refiere que ya no existe forma de subsanar el problema, si no es reparando o substituyendo. Es un mantenimiento muy difícil de planificar y de presupuestar. Los tiempos de actuación entre actuaciones, aún y siendo sobre el mismo equipo, pueden variar considerablemente.
- Mantenimiento preventivo; suele ser planificado por períodos (semanal, mensual, semestral...). Es muy útil para prevenir posibles roturas y/o averías, puesto que muchas de las intervenciones que se realizan, pueden aportar información sobre malos funcionamientos, reduciendo así el correctivo. Generalmente, un equipo con un preventivo llevado al día, suele poseer una vida útil mucho más elevada que uno del que no se preste atención. Algunas de las actuaciones que se pueden llevar a cabo pudieran ser cambios de aceite, correas, filtros, anotación de diferentes parámetros, etc.
- Mantenimiento predictivo; este sistema de mantenimiento se presenta como aquel capaz de detectar una avería, rotura o fallo, sin que estos hayan llegado ni siquiera a producirse. Mediante el análisis de tendencias o estudios de espectros es posible anticiparse a dichas averías. Permite la reducción de correctivo, aunque si se detecta cualquier anomalía, originaría la acción del preventivo.

- Diferentes técnicas que se pueden encontrar en el mantenimiento predictivo podrían ser la termografía (permite determinar temperaturas a distancia y captarlas gráficamente), el análisis de lubricantes (a la búsqueda de partículas que no pertenezcan a los mismos), análisis de vibraciones (el estudio del espectro resultante permite diferenciar multitud de averías como, desalineación, holguras, desequilibrios, fallos de origen eléctrico...), etc. [3]

## **3.2. Concepto de Lean Manufacturing**

Se presenta como un concepto ya implantado y conocido en el argot industrial. Su expresa definición vendría a nombrarla como fabricación esbelta, o ajustada.

Esta teoría o filosofía se centra en la búsqueda continua de la optimización de procesos, mejorando tiempos o reduciendo gastos. Todo ello, haciendo que el proceso perciba una mejora.

Su primordial finalidad reside en intentar eliminar todo aquello que, al cliente, usuario, o a uno mismo, no le aporte valor. De forma que, ocasione que la atención se centre hacia el foco que precise de más esfuerzo.

Una forma sencilla de explicar el concepto consiste en hacer uso de lo estrictamente necesario, utilizando el mínimo tiempo para llevar a cabo la tarea encomendada. Para tal propósito, es de vital importancia que todos los estamentos de la empresa trabajen al unísono, manteniendo el camino que la estrategia Lean marque, desde el directivo de mayor rango, hasta el operario con las tareas más triviales.

### **3.2.1. Historia del Lean Manufacturing**

Teniendo en cuenta que los orígenes del Lean Manufacturing se encuentran en Japón, cabe contextualizar que, las empresas japonesas tuvieron que hacer frente al hándicap de volver a construir la competitividad industrial, que la segunda guerra mundial había hecho desaparecer.

El presente ambiente de postguerra, propició que se estudiaran nuevos sistemas para poder obtener los máximos beneficios posibles, teniendo en cuenta que ese aumento de productividad no hiciera desprenderse de una gran cantidad económica. Para entender los orígenes del Lean Manufacturing, es necesario presentar las figuras de Eiji Toyoda y Taiichi Ohno. Ingenieros japoneses pertenecientes a la empresa Toyota Motor Company.



Figura 3.2 Eiji Toyoda

Fuente: [4]



Figura 3.3 Taiichi Ohno

Fuente: [5]

La empresa Toyota por aquel entonces no se encontraba en la cresta de la ola del sector ni por asomo, un ejemplo de ello se encuentra en la diferencia del número de vehículos que hacia el 1950 tenía fabricados respecto a Ford. Fabricando 2685 frente a los 7000 de Ford.

A la vuelta de una visita a las instalaciones en Rouge, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, aseguraron que, aun presentándose la producción en masa como la mejor alternativa en aquel momento, constituía un modelo de producción mejorable. La duda que se les presentaba a ambos ingenieros consistía en que no veían viable la instauración de la producción en masa en Japón. Ese tipo de producción no sería rentable puesto que la demanda que ellos preveían consistía en modelos que no supusieran un gran desembolso para los usuarios, y que, estos modelos no podían presentar unas dimensiones de vehículo tan grandes.

De esta forma, Taiichi Ohno, conocido como el padre del Lean, llegó a desarrollar el método “Just in time”. Éste viene a decir que se producirá exactamente lo que el cliente requiera, y en el momento que lo precise. Produciendo consecuentemente la reducción de stocks, de

determinadas pérdidas, incluso realizando un empleo de las capacidades humanas mucho más rentable.

Se puede remarcar que, en el 2012, Toyota se convirtió en el mayor fabricante de vehículos, obteniendo unas ventas aproximadas de 9,8 millones de automóviles. Estos datos demuestran como el esplendor que Detroit poseía sobre los años 50, gracias a la fuerza del mercado japonés, han convertido la ciudad estadounidense en la más viva imagen de la decadencia y deterioro. Un ejemplo claro del cambio de mentalidad, se muestra en la dificultad de encontrar un hogar de Estados Unidos, que no posea un coche japonés. [6]

### **3.2.2. Objetivos del Lean Manufacturing**

La producción Lean busca la eliminación los deshechos o desperdicios, todo ello haciendo uso de herramientas para la mejora de la producción, presentando la posibilidad de reducir los costes que dicha producción comporte. Así pues, conseguir la obtención de una buena crítica por parte de los clientes, manteniendo un margen de beneficios aceptable. Con las herramientas que Lean ofrece, las empresas pueden hacer frente al bajo coste, rapidez y calidad, que el mercado actual requiere.

Para atender a los fines que persigue el Lean Manufacturing, se pueden diferenciar entre 4 objetivos principales: mejora de calidad, reducir tiempos, reducir costes y eliminación de desperdicios.

#### **I. Mejora de calidad**

La posibilidad de complacer las exigencias de los clientes, se encuentra en el concepto de calidad. Dando una importancia muy relevante a la opinión de dichos clientes, ya que de ellos dependerá la competitividad de las mismas.

Cabe remarcar, que será el cliente quien pautе que es lo que necesita, para que, de esta forma, la organización se pueda adaptar a dichas necesidades, haciendo que cada proceso pueda diferir del inmediatamente anterior y/o posterior.

Es necesario dar comienzo a las tareas que proporcionen la mejora de calidad, atendiendo a los deseos del cliente. En este punto, es necesario comprobar si lo que se le ofrece al cliente, cumple las exigencias previas. Pasando a determinar los puntos negros o cuellos de botella,

donde se pueden generar errores que ralenticen el proceso. Se debe prestar atención a cómo actuar ante un defecto, identificando su foco. Para finalmente pasar a establecer un método de ensayos para poder estimar la idoneidad de nuestro servicio o producto.

## II. Reducir tiempos

Como su propio nombre indica, se referirá a desprenderse de todos esos tiempos muertos existente en todos los procesos. Un ejemplo que muestra que todo proceso es susceptible de presentar una pérdida de tiempo, puede encontrarse en las cadenas de montaje, donde el operario ha de moverse para poder alcanzar la pieza que desee instalar en el equipo a montar. Bien, pues ese período desde que el operario piensa en que debe montar la pieza, hasta que está de vuelta con la pieza y se decide a montarla, se puede tomar como un desperdicio de tiempo, fácil de corregir. Dando lugar a una mayor productividad y una reducción de costes.

Seguidamente se introduce el concepto Lead Time (tiempo de ejecución), el cual se puede dividir en tres partes:

- Tiempo de ciclo; tiempo en fabricar una pieza simple o proceso sencillo.
- Retraso del lote; tiempo que pasa entre la fabricación de la primera pieza y la finalización de la última (en un lote de piezas o piezas en serie).
- Retraso del proceso; consiste en el tiempo de espera entra la finalización de una tarea y el inicio de la siguiente.

## III. Reducir costes

La producción genera unos costes directos e indirectos (estos costes aumentan a medida que sube el volumen de servicio) que marcarán finalmente los costes totales. Efectuando una reducción de tiempos, y eliminación de desperdicios, se favorece la reducción de costes, originando que la empresa consiga más cuota de mercado, dado que los costes de producción habrán disminuido.

Como todo el entorno Lean expresa, para una buena implementación del mismo, es importante que todos los componentes de la compañía se involucren, y en el presente apartado se referirá a hacer un uso inteligente del dinero.



Uno de los grandes costes que se generan es el mantenimiento de grandes almacenes. Coste que se vería disminuido si se fabricara simple y únicamente lo que la demanda solicitase.

#### IV. Eliminación de desperdicios

Cualquier acción o actividad que al llevarla a cabo consume recursos económicos, de personal o de tiempo, innecesarios, constituirán un desperdicio del cual desprenderse. Otra forma de identificarlos, consiste en evaluar si la actividad referida, aporta algún valor al proceso. Uno de los propósitos que Lean persigue, consiste en que cualquier tarea, proceso, producto o actividad que se preste al cliente, debe ser del agrado del mismo, ya desde la primera entrega.

Las tareas se realizan sólo porque el cliente haya expresado la necesidad de la misma. Asegurándose que no exista ningún proceso defectuoso, dejando al mismo tiempo, el inventario a cero. Produciendo todo ello, que el suministro al cliente se inmediato. Se puede efectuar un listado de los desperdicios más comunes:

- Sobreproducción: Al finalizar un pedido, la producción continua y se genera la sobre producción.
- Espera: La falta de material para realizar determinadas tareas puede acarrear pérdidas de tiempo innecesarias.
- Transporte: Desplazamientos innecesarios de material o productos.
- Inventario: El exceso de materia prima, producto en proceso o producto acabado, constituyen un coste extra.
- Movimientos: Una mala situación de los equipos de trabajo o de la misma materia prima puede causar movimientos innecesarios.
- Defectuosos: No conformidades, presentadas por la empresa que causan insatisfacción y mala imagen de cara al cliente. [7]

### **3.2.3. Herramientas del Lean Manufacturing**

En el presente subapartado se comentan algunas de las principales herramientas de que se hacen uso para la implantación de la filosofía Lean.

## I. Kaizen

Este método vio la luz en Japón ante la necesidad de equipararse al potencial que en aquel entonces atesoraban los países occidentales. Kaizen se presenta como la antítesis del conformismo, presentando un método de gestión orientado a la mejora del sistema empleado por la empresa. Presentando como premisa, la exploración de la forma de suprimir las posibles deficiencias de un sistema productivo.



Figura 3.4 Herramientas Lean

Fuente: [8]

Gracias a la sencillez de aplicación del método, así como la clara visión que este ofrece, permite que las empresas experimenten un notable aumento del nivel de calidad, así como una reducción de sus costes de producción. De esta forma, se hace posible combatir la competencia que hoy en día se experimenta, favorecida por los numerosos avances tecnológicos.

Entrando en la parte etimológica de Kaizen, se podría traducir en algo similar a “cambio a mejor”, abriendo el camino a lo que se conoce como mejora continua de procesos. Este método no se presenta tan solo aplicable al sistema industrial, sino que es adaptable al ámbito social, de negocios y/o empresarial.

Una de las principales características del método, se centra en que es necesario que todos los estamentos de una empresa u organización, sean cuales sean, han de involucrarse de igual manera a la implantación del mismo. De lo contrario no sería posible mantener los sistemas organizativos ni operacionales que se proponen [9].

## II. JIT

La filosofía Just in Time, en español “Justo a Tiempo”, se presenta como un método perseguido por multitud de compañías. Se presenta como un método muy fácil de exponer o explicar, pero muy complicado de conseguir o mantener. Esta dificultad radica en el hecho que la filosofía JIT se centra en analizar el momento adecuado de realizar el proceso de fabricación, atendiendo a la cantidad exacta del mismo.

Para el proceso que se persigue se incide en la minimización máxima de stocks, dotando de mayor eficiencia a todo el proceso productivo y optimizando costes. Todo ello, teniendo posibilidad de poder ofrecer al cliente la mayor calidad de producto posible, y con una gran velocidad de entrega [10].

## III. Kanban

Comenzando por el origen del Kanban, puede denominarse como “tarjetas visuales”, viniendo “visual” del “Kan”, y “tarjeta” del “ban”. El rasgo principal de este método de trabajo, reside en la facilidad de asimilación, y posterior utilización, por parte del equipo responsable del proceso.

Al tratarse de un sistema basado en tarjetas visuales, en las que se implementan las tareas distribuidas mediante un sistema de colores, hace posible que se gestione el proceso con un simple golpe de vista.

Con esta metodología no se busca la velocidad, sino que lo que realmente interesa, es que las tareas o procesos que se realicen, tengan un resultado óptimo desde el primer intento. Kanban se respalda en esta teoría, teniendo como premisa que es más costoso el reparar un proceso defectuoso que realizarlo bien a la primera, aunque implique más tiempo de ejecución.

Aplicando el principio de la reducción de desperdicios, obliga al proceso a realizar cada tarea una sola vez, originando una mejora del desarrollo de los procesos [11].

## IV. 5s

Esta metodología tiene como fin principal, conseguir un aumento del nivel de calidad de los procesos. Las fases que la componen son; Seiri (eliminar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (disciplina)

- Seiri; esta fase implica la clasificación y/o eliminación de todo lo que no se presenta como necesario para realizar una tarea en el puesto de trabajo. Teniendo de esta forma, un mejor aprovechamiento de los espacios disponibles, evitar traslado de material innecesario, menor inventario y reducción de tiempo para la búsqueda de herramientas.

- Seiton; se basa en la instauración de un orden u organización de todo aquello que el proceso productivo requiere. Favoreciendo la reducción de tiempo que la búsqueda de recursos demanda. Para que sea afectiva, es básico que cada zona de trabajo, así como la comunicación entre ellas, debe estar claramente definida, otorgando un lugar concreto para cada cosa.

- Seiso; se centra en la limpieza y posterior inspección para la búsqueda de posibles defectos. Hace uso de la limpieza como una tarea más del proceso, otorgándole gran importancia. Puesto que, gracias a esta tarea se hace posible la detección precoz de posibles fallos que, se encaminen a una falla del equipo o proceso. Se podría equiparar, en algunos aspectos, a lo que es conocido como mantenimiento preventivo. Dando como ejemplo, la limpieza de un equipo, y que este en un corto plazo volviera a presentar manchas de aceite. Esto sería una señal inequívoca de que el equipo tiene una fuga.

- Seiketsu; consiste en la realización de procedimientos donde se plasme lo experimentado y mejorado gracias a las anteriores fases. Estos nuevos procedimientos se ven beneficiados por la estandarización de los procesos que, posibiliten una mayor asimilación de los objetivos a alcanzar. Este proceso tiene éxito, siempre y cuando, las tareas sean asignadas individualmente, y asimiladas por el operario. De esta forma, se consigue que la implantación de la filosofía 5s perdure en el tiempo.

- Shitsuke; esta fase tiene como premisa principal que, todo lo realizado e inspeccionado en las cuatro fases anteriores, se automatice y entre en la rutina del proceso productivo [12].

## V. KPIs

Son las siglas en inglés de “Indicador clave de rendimiento”, se trata de un indicador o medidor. Se presentan como indicadores, que permiten llevar un seguimiento de los objetivos a alcanzar, mediante la monitorización de diferentes parámetros. Dando muestra de lo

acertado o alejado que se está del camino hacia la consecución de los objetivos, pudiendo generar una posibilidad de cambio en la estrategia para afrontar los procesos.

Al centrarse en metas a conseguir mediante indicadores, algunos ejemplos de KPIs que se pueden establecer serían; aumentar el número de ventas en un 10% o el número de clientes fidelizados [13].

## VI. Jidoka

Este término procedente del japonés viene a argumentar la “automatización con un toque humano”. Dicha automatización persigue la inspección del proceso durante su transcurso, evitando tener que realizar una inspección final, aumentando la calidad y fiabilidad.

La finalidad que este sistema persigue, comienza con la detección de un posible defecto, dando lugar a una inevitable parada. Dicha parada puede ser ordenada, ya sea por la misma máquina automáticamente, o por el operario responsable de la misma. Pasando a la corrección de manera inmediata del problema. El último paso que Jidoka propone consiste en investigar por qué ha ocurrido, corrigiendo posteriormente la causa raíz [14].

## VII. TPM

El acrónimo TPM se refiere al Mantenimiento Productivo Total, presentándose este como un sistema de trabajo que permite a las empresas, eliminar o minimizar todo aquello que no aporta nada a su cadena de valor, optimizando los recursos y las máquinas que se emplean.

De la misma forma que en numerosas herramientas Lean, la puesta en marcha de este sistema, no reside en una única figura, sino que la responsabilidad que llegue a buen puerto es de todo el personal que intervenga, de una forma u otra, en el proceso productivo.

Como premisa final a perseguir se podría resumir en los denominados tres ceros; cero defectos, cero averías y cero accidentes [15].

## VIII. Poka-Yoke

Este término japonés está compuesto por “Poka” (error no intencionado) y “Yoke” (evitar), así es posible traducir en el propósito de “evitar equivocaciones”. Esta técnica de calidad se

centra en evitar posibles errores ocurridos en un proceso productivo, de forma que solo que la posibilidad de realizarlo de manera correcta.

Permite la detección de errores, posibilitando la prevención durante el proceso, con el fin de fin de alcanzar una producción con cero defectos. Un ejemplo sencillo de dispositivo Poka-Yoke se puede encontrar en un dispositivo de almacenamiento USB, el cual tan solo permite una única posición correcta, de lo contrario no permite su inserción.

## IX. TQM

La abreviatura hace referencia al “Total Quality Management”, referente a la creación de una conciencia de calidad como estrategia de gestión de una empresa. Con esta estrategia se busca que la calidad no sea responsabilidad de un solo departamento, sino que sean todos los integrantes del proceso productivo, los que se involucren en dicha tarea. Abarcando no tan solo a la calidad del servicio que se ofrece, o del producto que se vende, sino también de la calidad de todo el proceso que se lleva a cabo para ofrecer el servicio final.

## X. Six sigma

Esta metodología tiene como finalidad la mejora continua de los procesos, reduciendo y eliminando los defectos o fallos en los procesos. El ingeniero de Motorola, Bill Smith, fue quien acuñó el término Six Sigma.

Sistema fundamentado en el estudio de datos que controla la parametrización referente a todo el proceso, y que busca la excelencia como premisa. Una de sus principales características, es que se corrigen los errores o deficiencias, antes de que estos aparezcan. Plantea como objetivo alcanzar una cifra mínima de defectos.

## XI. SMED

Single-Minute Exchange of Die, viene a proponer un sistema que permite reducir los desperdicios presentes en un proceso productivo, referente a la sustitución de equipos, herramienta o inicio de proceso. El tiempo que se marca como objetivo, con el fin de la mejora del sistema productivo, se marca en 10 minutos.

Tomando como concepto del tiempo empleado para la sustitución, como aquel que pasa entre que acaba la última pieza (en buen estado), y que acaba la primera pieza (en buen estado) de la siguiente serie. [16]

### **3.3. Nuevas tendencias en el mantenimiento**

Hace ya unos años comenzó, la que se conoce como cuarta revolución industrial, consecuencia del proceso de transformación digital que se da a día de hoy. Dando lugar una especie de simbiosis entre lo digital, físico y biológico. Esta fusión ha sido posible por la irrupción de factores como la robótica, impresión 3D, IoT, biotecnología... entre otras. Todos estos avances han propiciado el afianzamiento, y en algunos casos la irrupción, de diferentes técnicas del mantenimiento, donde se podría destacar el predictivo.

El antiguo enfoque que se le prestaba al mantenimiento preventivo consistía en la planificación de un mantenimiento periódico, que atajaba determinados puntos de la máquina a inspeccionar. Dando lugar a los sistemas de planificación utilizados en la actualidad, los cuales, mediante software inteligente, planea el mantenimiento estrictamente necesario para la buena conservación de los equipos.

Uno de los avances proporcionados por la industria 4.0, que más utilidad presenta, consiste en el uso de la IoT. Aportando la posibilidad de interconectar todos los equipos, cosas o instalaciones, pudiendo estar permanentemente al día del estado del proceso. En cuanto a la interconexión de la maquinaria, puede hablarse de la importancia del mantenimiento predictivo. La monitorización de diferentes datos que se pueden extraer de la maquinaria, ofrece la posibilidad de anticiparse, no tan solo a una posible avería, sino a poder realizar una predicción de que máquinas y en qué momento, necesitarán una intervención de forma preventiva.

Todos los datos recogidos de temperaturas, análisis de vibraciones, consumos..., serían inviábiles de tratar debido al volumen de datos que producen. Para tal cuestión se presenta el conocido como BIG DATA. Este nuevo sistema de tratamiento de datos, ofrece la posibilidad de maniobrar tal volumen de información, sin la necesidad de contratar diferentes sistemas alternativos.

Muchas son las técnicas empleadas en el análisis del estado de la maquinaria. Una de las más llamativas sería la inteligencia artificial. Dando al proceso la posibilidad de aprender autónomamente de posibles errores o averías producidas sobre el mismo.

### **3.4. Concepto de Industria 4.0**

Fue en Alemania donde se acuñó el concepto, el cual engloba temas como; la ciberindustria, la industria interconectada o la industria inteligente. Aunque estas ideas suenen a algo intangible o futurista, no es más que la conectividad entre todos los equipos de una empresa (sean máquinas, ordenadores, sensores...). Creando una red que proporcione la posibilidad de gobernar todo proceso, desde el lugar que se quiera, y en el instante que se precise.

Una forma sencilla de explicar en qué consiste la industria 4.0, podría resumirse en la creación de una fábrica inteligente. Adaptándose a este nuevo concepto de fabricación, se persigue alcanzar un elevado nivel de eficacia en los procesos.

Para que la industria llegue a adquirir esta “inteligencia”, se hace uso de la digitalización de los procesos. Haciendo vincular la parte real o física, con la virtual, por tal de, hacer más flexible y auto gestionable la producción.

Dentro de esta interconexión que se experimentan las industrias, cabe destacar el papel que tienen las TIC, con las que este traspaso bidireccional de información y/o datos, se hace de forma sencilla y rápida. [17]

#### **3.4.1. Historia que guía hacia la industria 4.0**

Para poder llevar a cabo un buen análisis del camino que ha llevado a lo que hoy se conoce como industria 4.0, es necesario tener en cuenta los cambios originados durante las revoluciones industriales que, hasta el día de hoy, se han vivido. Teniendo en cuenta que la industria 4.0 se enmarca en el contexto de la cuarta revolución.



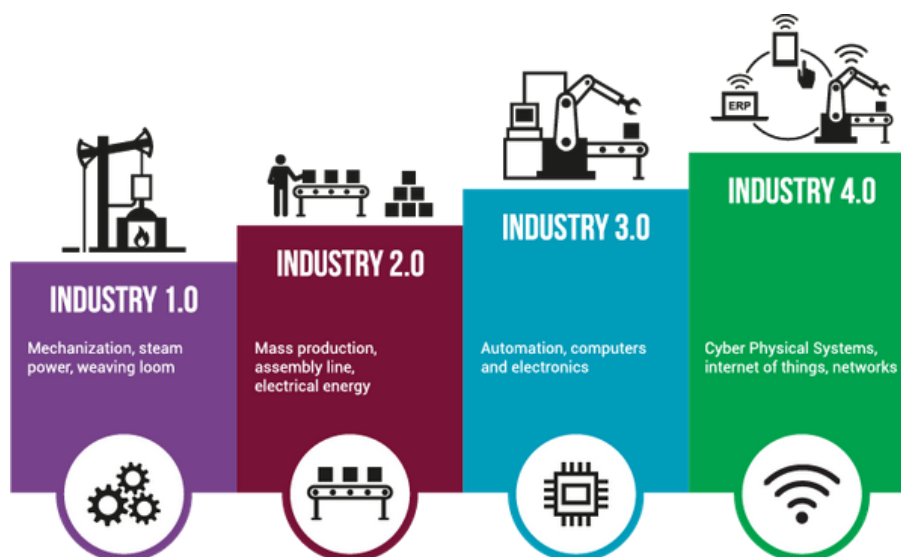


Figura 3.5 Revoluciones industriales

Fuente: [18]

### I. Primera revolución industrial

El inicio del desarrollo de la primera revolución, es posible enmarcarla en el entorno de Inglaterra. Donde se dieron por aquel entonces, las circunstancias que favorecieron el crecimiento del sistema capitalista de producción.

Un gran número de empresas manufactureras ya se encontraban en funcionamiento a mediados del siglo XVIII, teniendo mayor protagonismo la manufactura del textil. Momento en el que se puede fechar el comienzo de dicha industrial.

La primera revolución tuvo entre sus principales puntas de lanza, la introducción de la mecanización tanto de la agricultura y la industria. La inclusión del concepto de fuerza motriz en la industria. Un mayor crecimiento de las comunicaciones y los transportes. Todo ello, originando un crecimiento del dominio capitalista.

Pudiéndose destacar durante esta etapa algunos inventos de vital importancia que, sentaron la base de numerosa maquinaria utilizada a día de hoy:

- Máquina de tejer hidráulica, dando lugar a la posterior máquina mecánica y automática.

- James Watt (1782) dio a luz a la máquina de vapor. Gracias a su invento, produjo que la industria experimentara un crecimiento de la producción, y al mismo tiempo, la transformación del transporte.
- Robert Fulton (1807) y George Stephenson (1825), aplicaron la máquina de vapor a los barcos y a los ferrocarriles, respectivamente. [19]

## II. Segunda revolución industrial

Esta experimentó sus inicios a mediados del siglo XIX (1850 - 1970), y supuso un crecimiento en los campos de la industria química, eléctrica, de petróleo y de acero. Es durante este período que se desarrolló el avión, la locomotora de vapor, los alimentos enlatados o la producción en masa, entre otros.

Se puede considerar esta revolución como un seguimiento de la anterior, puesto que técnicamente, constituyó un fortalecimiento y afianzamiento de la primera. A Inglaterra se le unieron la ya fuerte Francia, contando con Estados Unidos y Alemania, como nuevos valores emergentes. Haciendo que las ciudades tomaran más importancia, al contrario que la población del campo.

Se llevó a cabo el hallazgo del petróleo y la electricidad, como fuentes de energía. Ocasionando la sustitución del vapor por las nuevas fuentes. Se introdujo las máquinas cuya complejidad excedía las existentes hasta el momento, puesto que eran capaces de hacerse funcionar unas a otras. Viendo la luz el concepto de líneas de producción, facilitando la producción en masa de bienes de consumo.

Durante este período pueden destacarse algunos inventos de vital importancia:

- La Electricidad, por Tomas Alva Edison (1847-1913). Adaptándola al alumbrado público, hizo que la población de entonces, experimentara una mejora de las condiciones de vida.
- El Cinematógrafo, por los hermanos Luis y Augusto Lumiere.
- El Aeroplano, tras las pruebas de Montgolfier y Giffard, fueron los hermanos Wright quienes dieron a luz al aeroplano.

El Telégrafo eléctrico. Ofrecía la posibilidad de transmitir de forma inmediata, haciendo uso de rayas y puntos con los que se construía un alfabeto, que representaban las letras. [20]

### III. Tercera revolución industrial

Fue durante este período después de la segunda mitad del siglo XX, donde se experimentan el cambio, evolución social y económica. Dando lugar a la aparición de la microelectrónica y las nuevas tecnologías.

Los trabajadores pasaron a tener un perfil mucho más especializado en sus empresas. Favoreciendo que se diversificara la localización de la producción, orientando la economía hacia los servicios. Todo ello, haciendo uso de nuevas fuentes de energía, tomando especial relevancia las renovables.

Surgieron industrias informáticas y electrónicas. Ofreciéndose una mayor flexibilidad en los horarios de los empleados. Experimentando la globalización de la economía.

Durante este período se pueden destacar algunos inventos:

- Fuentes de energía renovables. Descubriendo que, tras ser utilizadas, estas se pueden regenerar de manera natural o artificial.
- Se abre un nuevo horizonte para la microelectrónica gracias al silicio.
- Aparecen internet, el fax o la televisión, como una serie de nuevos medios de comunicación. [21]

### IV. Cuarta revolución industrial

En el mercado que hoy en día se vive, la competitividad de las compañías, tiene mucho que ver con la capacidad para desarrollar y adecuar las nuevas tecnologías en sus servicios y/o productos. De forma que, atendiendo a que esta revolución industrial incide en la totalidad de la cadena de valor, la industria 4.0 se presenta como compañera de viaje indispensable para poder flexibilizar la producción o hacer más eficaz la cadena productiva.

Cada vez más, los clientes piden una mayor personalización, un servicio rápido y efectivo. Hecho que genera en el mercado una sensación de inestabilidad del mismo. Todo ello, hace

encaminar a las empresas y a altos estamentos como gobiernos, o las principales instituciones económicas, a subirse al tren del entorno de la industria 4.0.

Algunas de las tecnologías que posibilitan el cambio de los elementos físicos; Impresión en 3 dimensiones, diseño de robots, biotecnología, Materiales de nueva generación, IoT<sup>1</sup>, Big Data o nuevas formas de provisión y retención de energía [22].

Por otro lado, algunas de las tecnologías que favorecen el cambio del sistema digital; Nuevos desarrollos informáticos, realidad virtual o la Inteligencia Artificial.

### 3.4.2. Papel de la filosofía Lean en la industria 4.0

La máxima premisa de la filosofía Lean consiste en trabajar para reducir pérdidas o desperdicios. Una de las principales herramientas con las que hacerle frente, se encuentra en la información. Poseer una buena base de datos, así como el saber de qué forma procesarla será indispensable.

Desde siempre este proceso se había realizado mediante la utilización de papel, pasando por el procesado de las hojas de cálculo. El problema se presenta cuando el proceso en el que se trabaja precisa ahondar más, y hacer todos esos datos más fiables.

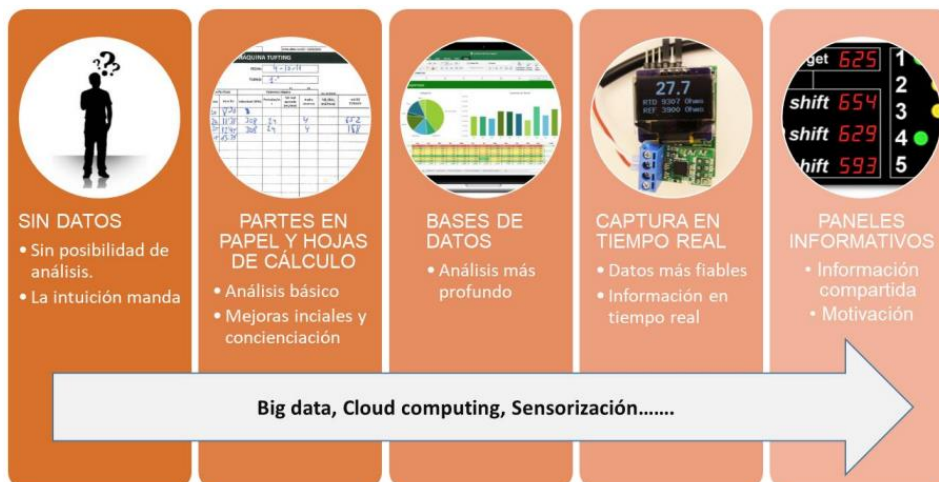


Figura 3.6 Evolución tratamiento de datos

Fuente: [23]

IoT<sup>1</sup>, interconexión de elementos u objetos usados en el día a día, mediante la red de internet.

Para este fin se presentan dos herramientas de vital importancia para el tratamiento de datos. En primer lugar, se haría uso del *big data*, el cual trata unas bases de datos que ya sea por su volumen, complejidad, o velocidad de incremento de los mismos, hacen muy difícil su recogida, tratamiento o estudio.

Por otro lado, se podría hablar del *cloud computing*, el cual dota a las compañías de la posibilidad de acceder a sus datos desde el lugar que se quiera y en el momento deseado. Siendo una herramienta completamente moldeable a la necesidad de la empresa a la que se destine.

Con estos ejemplos se puede afirmar que irremediamente, para la eliminación de desperdicios y/o tiempos muertos, a la hora de búsqueda y tratamiento de información, es necesario hacer uso de las herramientas que ofrece la industria 4.0.

Un gran número de empresas, dedicadas al sector del mantenimiento, han optado por insertar entre sus herramientas, la realidad aumentada. Esta consiste en un feedback inmediato entre la máquina a tratar y el técnico responsable. Ofreciendo que los datos que dicho proceso o máquina proporcionen, puedan ser inmediatamente recabados y/o procesados.

El tratamiento de todos estos datos hace que cada día más, las empresas destinadas al sector del mantenimiento, puedan verter todos sus esfuerzos en la realización de mantenimiento preventivo. Esta afirmación es de fácil entender, dado que al tratar de manera más eficiente los datos, es más sencillo prevenir la máquina de un posible defecto.

Algunas de las herramientas de las que cada vez se hace más uso, poseen relación con el mantenimiento predictivo, el cual permitirá anticiparse a la avería. Se podría hablar de termografía o de análisis de vibraciones como ejemplo de herramientas que la industria 4.0 va introduciendo para el tratamiento que la maquinaria puede ofrecer.

Otro factor que el tratamiento de datos ofrece, consiste en el aumento de fiabilidad de los procesos. Dado que se produce consecuentemente una prolongación de la vida útil de la maquinaria que interviene, así como de la optimización en tareas tan triviales como la búsqueda de material en stock [23].

### **3.4.3. Relevancia de la industria 4.0 a día de hoy**

Se puede afirmar que nuestro alrededor ya se encuentra influenciado bajo la huella de la industria 4.0. Cuenta de ello, es posible encontrarla en todos los enseres de los que se disponen o hacen uso en el día a día. Todos ellos presentan unos adelantos, que son explicables gracias a los adelantos tecnológicos cosechados a lo largo de la historia por el ser humano.

El ejemplo más evidente de la huella que ya en nuestros días se puede percibir, se encuentra en la forma de comunicarse entre las personas y con lo que a su alrededor sucede. Pasando de un entorno completamente analógico, transitando por lo digital, lo informado, hasta llegar al conectado que hoy en día se vive.

Para poder entender como la industria 4.0 influye en las acciones cotidianas, puede fijarse previamente en el entorno más cercano, sin necesidad de entrar estrictamente en el sector industrial. Donde como a modo de ejemplo, se puede tomar la forma en que hace unos años se interpretaban los mapas a la hora de realizar un trayecto o viaje.

Hace ya unos años, no demasiados, era difícil encontrar un vehículo que no fuera equipado con una “guía”, en la que se consultaba el trayecto necesario para viajar de un punto A, a un punto B. Tras varias innovaciones por lo que a los navegadores se refiere, hoy en día se tiene la posibilidad de hacer uso de una generación de navegadores interconectados entre sí, los cuales ofrecen información a tiempo real, que pueden hacer variar nuestros itinerarios mientras se vayan presentando posibles inconvenientes.

Áreas	Conceptos
Internet de las Cosas	Conexión de los dispositivos a Internet
Integración de sistemas	Sistemas departamentales integrados
Biofísica y Ciberseguridad	Unión de los sistemas físicos y digitales
Cloud Computing	Almacenamiento de la información
Big Data	Análisis y procesamiento de los datos de la información
Simulación	Modelación virtual de los escenarios
Impresión 3D	Diseños personalizados y complejos
Realidad virtual	Aprendizaje mutuo entre personas y máquinas
Robótica	Fabricación flexible
Gestión de energía	Ahorro de consumo de energía

Tabla 3.1 Áreas de influencia de la industria 4.0

Fuente: [24]

Así es posible demostrar, y fácil de entender como todas estas innovaciones han llegado al sector industrial dotándolo de esas herramientas necesarias para poder interconectar todos los elementos de un proceso, y al mismo tiempo, disponer de los datos que de él se genere. Datos que se poseen donde y cuando se precise, de forma instantánea [24].

#### 3.4.4. Objetivos de la industria 4.0

Primeramente, remarcar que la industria 4.0 se presenta como la regeneración de sistemas que mezcla métodos operacionales y productivos, con técnicas inteligentes que se incorporan a las compañías y, por ende, a los trabajadores de las mismas.

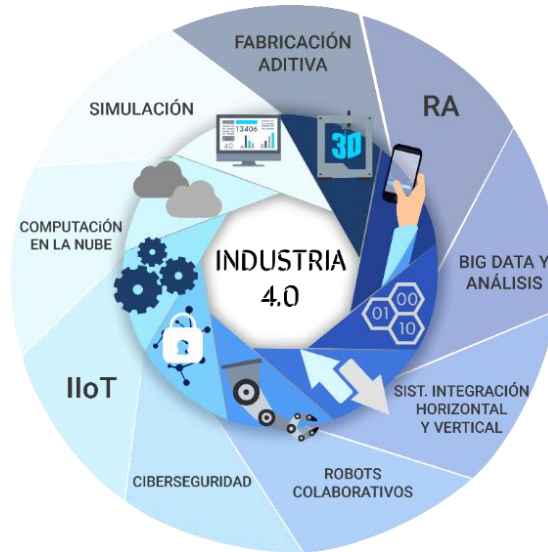


Figura 3.7 Ámbito de acción de la industria 4.0

Fuente: [25]

Algunos de los objetivos que mediante la implantación del modelo de industria 4.0 se pueden establecer son:

- I. Conseguir que el proceso en el que interviene la producción, hace que el volumen de datos digitalizados experimente un incremento. Hecho que facilitaría el tratamiento de dichos datos, teniendo acceso a ellos inmediatamente.
- II. Favorecer la interacción del medio virtual con el entorno físico, haciendo un todo en uno, capaz de ser gobernado y/o monitorizado fácilmente.
- III. La instalación de sistemas dotados de inteligencia, dota al proceso de más autonomía, y posibilidad de autorregulación o reorientación de dichos procesos productivos.
- IV. Un objetivo primordial se centra en la generación de productos inteligentes, los cuales puedan facilitar diferentes tareas o, al menos, diversificar esfuerzos.
- V. Dotar de flexibilidad al proceso, facilitando que la respuesta ante las necesidades del cliente sea mucho más rápida. Esta flexibilidad favorece a la personalización para cada cliente, dotando al proceso de personalización tanto de las fases de proceso, como de las fechas de entrega [17].

La realización del presente proyecto, implica la obtención de determinada información. La cual facilitará la redacción y planteamiento de las posibles alternativas de solución, que las



herramientas Lean ofrecen. De manera que, seguidamente, se marca una pauta de la información necesaria.

Como se ha expresado en puntos anteriores, el proyecto se basa en la introducción de las herramientas Lean, en el mantenimiento de las Edars. Por ello, es indispensable conocer de antemano todo lo relacionado con el proceso que en dichas plantas se lleva a cabo. Sin descuidar los elementos que ofrecen la posibilidad que esos procesos se cumplan.

Teniendo las Edars correctamente definidas, se plantea la necesidad de conocer en que consiste el Lean Manufacturing. Asimilando cuáles son sus objetivos y obteniendo información sobre las herramientas o posibilidades que ofrece.

No cabe duda que, será de vital importancia, en un futuro muy cercano, enmarcar el proyecto dentro del marco de la industria 4.0. Conociendo que significa y/o implica esta nueva revolución industrial, pasando por señalar que huella deja allá donde se implanta. Pasando por último a prefijar los objetivos que dicha revolución industrial persigue.



## 4. Alcance detallado

En este capítulo se marcarán los límites entre los que discurrirá el presente proyecto. El objetivo final del proyecto consistirá en sentar las bases sobre la utilización de herramientas del Lean Manufacturing en el mantenimiento de las EDARs. Siendo la industria 4.0 el entorno en el que se enmarque el proyecto. Atendiendo a las necesidades que dicho mantenimiento requiere, el presente proyecto se presenta como una herramienta indispensable para la organización de las tareas a realizar.

Remarcando que, para llevar a cabo el estudio realizado, se hace uso de una metodología de trabajo basada en la retroalimentación de información, haciendo posible el aprendizaje continuo, y siempre prestando atención a la utilidad de lo expuesto hacia un potencial cliente.

Para poder emprender el camino, se empieza por la ejecución de un estudio, para identificar la información que se precisa para llevar a cabo el proyecto. Teniendo en cuenta el englobe o cabida, que se quiere dar a las herramientas Lean, dentro del entorno de las depuradoras de aguas residuales.

Se llevará a cabo un estudio de las diferentes herramientas que el Lean Manufacturing ofrece, y englobándolas en un marco de industria 4.0, se establecerán los diferentes pesos o importancias, que dentro de las necesidades requieran.

Una vez evaluadas y estudiadas, se establecerá un orden, dando lugar al listado final de herramientas a utilizar. A su vez, se pautará el cómo y cuándo se utilizarán.

Al tener ya seleccionados los instrumentos a utilizar, se tendrá la capacidad de pasar a los estudios de viabilidades. Dando un primer paso con la viabilidad técnica, la cual aportará información sobre la idoneidad de la selección escogida. Pasando por la viabilidad económica, que prestará información sobre las posibles optimizaciones de coste que pueden experimentarse. Acabando con la viabilidad medioambiental, donde se estudiará si las soluciones propuestas significan o no, un impacto hacia el medio ambiente.

Cabe remarcar que, en el presente proyecto, únicamente, se presentarán la utilidad y funcionamiento de las herramientas de Lean Manufacturing en las EDARs en el entorno de la industria 4.0, pero no se realizará la implantación de las mismas. Dicha tarea sería realizada

por la empresa a la que se le ofrezca el proyecto. De forma que, se sientan las bases sobre las que planificar el mantenimiento, pero excluyendo la puesta en marcha de dicha planificación.

## 5. Objetivos de detalle y especificaciones técnicas

En el presente capítulo se centran las ideas o fines, que se buscan para llevar a cabo la consecución del proyecto.

### 5.1. Objetivos

Seguidamente, se presentan los objetivos para poder definir el propósito final de establecer un uso adecuado de herramientas del Lean Manufacturing, integradas en el mantenimiento de EDARs.

**Objetivo 1;** Alcanzar un Mantenimiento autónomo incentivando el incremento de capacidades

Es necesario crear una sensación de responsabilidad, a la hora de poder alcanzar una óptima eficiencia de los equipos en los que se trabajen. Haciendo uso del aprendizaje y la adquisición de conocimiento.

Dotar de capacidad para poder detectar posibles fallos, posibilitando el hecho de analizar los mismos, logrando un ambiente del trabajador, con respecto tanto a compañeros, como a los equipos a tratar, que facilite una mejora de la Seguridad. Dotando al empleado, del sentimiento de integración dentro del proyecto o proceso.

Inciendo en aumentar las capacidades de todo el grupo, se percibirá un incremento de la eficiencia del mantenimiento realizado, así como la consecución de la mejora continua en el proceso llevado a cabo.

**Objetivo 2;** Dotar de utilidad la información recabada en los mantenimientos

Si se hace un uso debido de las informaciones o datos, que se obtienen de las acciones que propone el mantenimiento preventivo, es posible establecer datos estadísticos que ayuden a la prevención más eficiente de fallos. Que posteriormente dará lugar a la obtención de una mejor planificación.

El hecho de planificar más eficazmente, ofrece la posibilidad de reducir una serie de gestos, muy relevantes a la hora de proyectar el proceso.

**Objetivo 3;** Identificar las prioridades de actuación

Establecer un orden de los equipos a los que se les precise realizar un mantenimiento con plazos más cortos, con acciones más específicas, con tiempos de actuación más elevados, con necesidad de demanda de recambios previos al mantenimiento, o por importancia en la cadena de proceso.

Estos son diferentes identificativos de los posibles baremos de medida a utilizar para clasificar los equipos a intervenir.

**Objetivo 4;** Minimizar las acciones de mantenimiento

Evitar realizar tareas innecesarias para mantener el correcto funcionamiento de los equipos. Hay que procurar que se actúe sobre maquinaria que precise el mantenimiento preventivo oportuno.

Evitando es esta manera, que se trabaje sobre equipos que, ya sea por falta de horas de funcionamiento, o por carencia de repercusión en el proceso, no requieran una corta frecuencia de actuación sobre ellos.

**Objetivo 5;** Reducción del tiempo de actuación

Consistirá en llevar a cabo la reducción de los períodos de los que la empresa hace uso para realizar los procesos en los que trabaje. Son muchos los factores que pueden afectar en el uso de un tiempo excesivo, entre los que se podría destacar la recepción de materia prima o el empleado en la organización de las tareas a realizar.

Esta reducción de duración, marca el tiempo necesario para llevar a cabo el mantenimiento, generando una considerable eliminación de desperdicios, y consecuentemente, una reducción del coste total.

**Objetivo 6;** Reducción del coste del mantenimiento

Los costes directos e indirectos, constituirán los costes totales que marcarán las tareas a realizar, con el fin de poder reducirlos. Para poder concienciarse con la filosofía Lean, es necesario deshacerse de los desperdicios y reducir los tiempos operativos.

El conjunto de los componentes de la empresa, deben aportar todo su empeño y volcarse por completo, para conseguir el fin de la reducción de costes. Cabe tener en cuenta, que los gastos que la empresa realice, han de ser estudiados y analizados previamente.

La reducción de costes, vendrán facilitados por la utilización de los recursos, únicamente necesarios, para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

## **5.2. Especificaciones técnicas**

Con el fin de poder alcanzar los objetivos prefijados en el apartado anterior, se presentan la metodologías y herramientas necesarias para conseguir la optimización del mantenimiento en las EDARs.

**Especificaciones para;** Alcanzar un Mantenimiento autónomo incentivando el incremento de capacidades.

- Haciendo uso de la estrategia Kaizen, se puede lograr un ánimo integrador de los trabajadores, que derivará en una dinámica de consecución de mejoras continuas. Favoreciendo que los trabajadores aporten su granito de arena a la organización.
- Establecer el sistema Jidoka, permite diseñar los equipos, de forma que se automatiza parcialmente el proceso, en busca de posibles defectos. Posibilitando que los trabajadores puedan atender a varios equipos simultáneamente.
- La técnica Poka-Yoke reduce la posibilidad de error, presente en la tarea ejercida por el operario. Aportando más seguridad y confianza al trabajador.

**Especificaciones para;** Dotar de utilidad la información recabada en los mantenimientos.

- Establecer un listado de KPIs, que permita monitorizar y elaborar un seguimiento de los fines o propósitos que se pretenden conseguir.
- Trabajar con el “Internet of things”, con la finalidad que exista una conexión entre equipos y procesos, que permita interactuar de forma que, pueda variar los procesos de operación ante cualquier anomalía, defecto o simplemente por un cambio de condiciones de trabajo.
- Hacer uso y tratamiento del “Big Data” generado a partir de mediciones, cálculos o análisis.

**Especificaciones para;** Identificar las prioridades de actuación.

- Instaurar el método Kanban, que permitirá agilizar la organización del mantenimiento, mediante la reestructuración del mismo.
- Promover una recopilación de histórico de averías, que permita identificar los equipos que precisan de un mantenimiento más temprano.

**Especificaciones para;** Minimizar las acciones de mantenimiento.

- Implantar la metodología Six sigma, intentando alcanzar un proceso de mantenimiento con cero defectos. Proporcionando la herramienta necesaria para poder asegurar que el procedimiento que se lleve a cabo no presentará errores ni en su realización, ni en sus componentes.
- Realizar estudio sobre el gráfico de la curva de la bañera, adecuando el momento exacto para llevar a cabo el mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta que este debería realizarse al comienzo del período de fallos por desgaste.

**Especificaciones para;** Reducción del tiempo de actuación.

- Hacer uso del “Just in Time”, utilizado en producción, para poder disponer de los componentes y/o recambios, en el momento que se precisen.
- Promover la implantación de la filosofía 5s, posibilitando la mejora de las condiciones de cada puesto de trabajo, capacitando al personal para poder mantener sus zonas de trabajo, limpias, ordenadas y organizadas.
- Implantar la técnica SMED, la cual te permite la reducción de los períodos que se utilizan para sustituir elementos, procesos o herramientas.

**Especificaciones para;** Reducción del coste del mantenimiento.

- Hacer uso del método TPM, que posibilita sortear las posibles paradas de equipos, ocasionando así una reducción de tiempos muertos, originando una disminución del tiempo de ciclo y motivando la eliminación defectos.
- El empleo del TQM, permite centrar los esfuerzos de los integrantes de una organización, en la búsqueda de un standard elevado de calidad. Este punto hace posible que se experimente una mayor eficiencia en el proceso y una reducción de tiempos, por ende, un desprendimiento de desperdicios.



- Establecer un plan de estandarización de equipos y tareas, favoreciendo una reducción del coste de mantenimiento del stock, por consiguiente, a la reducción de la cantidad de componentes para los que realizar pedidos.



## 6. Tipos de mantenimiento

Para poder alcanzar un óptimo nivel de mantenimiento en EDARs es vital en primer lugar, establecer un asentamiento de tareas útiles para asegurar una elevada disponibilidad de los equipos.

Remarcando que todo ello se ha de buscar teniendo en cuenta que, se ha de hacer uso del menor consumo energético posible, y asegurando una larga vida útil de los equipos. Por ello, es primordial ser conocedores de los requisitos indispensables que han de alcanzarse, enfocándose en las distintas técnicas de mantenimiento que cada equipo pueda requerir.

Para poder atender a dichas necesidades se puede establecer tres grandes grupos de acciones referentes a las tareas a realizar. Estos serían los mantenimientos correctivo, preventivo y predictivo. Teniendo en cuenta que existen otros que, aunque de importancia relevante, son utilizados con mucha menor asiduidad, como podrían ser los mantenimientos de mejoras, legal y obra civil.

Aún y teniendo presentes estos tipos de mantenimiento, es importante comentar que, el uso de herramientas Lean se hace mucho más evidente, y sencillo implementar, en los mantenimientos preventivo y predictivo, los cuales permitirán anticiparse a posibles fallas futuras, que originen una pérdida de tiempo, y consecuentemente una elevación del gasto.

### 6.1. Mantenimiento Correctivo

El objetivo en que se centra esta forma o tipo de mantenimiento, es la subsanación de fallos o averías, a medida que se presentan durante el funcionamiento del proceso.

Sabiendo que atiende a los errores que van surgiendo, es fácil entender que no requiere planificación, únicamente ocuparse de las averías que van surgiendo, y que imposibilitan que el proceso siga el curso que requiere. Pero el hecho de no necesitar planificación, no implica que no se haya de estar atento a dicho mantenimiento, puesto que, al detener el proceso, origina una elevación del tiempo invertido y, por consiguiente, un aumento de los gastos generados.

Para que su huella no presente mucha repercusión, es importante que esté muy bien calculada la capacidad que la sección de mantenimiento posee, ya que se ha de tener en cuenta que ha

de ser capaz de poder afrontar los imprevistos, que en muchas ocasiones obliga a desatender otras tareas, para poder frente a las averías que se presenten.

Un aspecto muy relevante de este tipo de mantenimiento, se centra en tener un nivel óptimo de stock de recambios. El tener un nivel de recambios defectuoso, implica que, ante una avería, es posible que se pierda mucho tiempo en la búsqueda.

A día de hoy existen numerosas empresas que centran su estrategia de mantenimiento en el correctivo, asumiendo de esta forma, un riesgo existente de que el proceso quede parado. Impidiendo en la mayoría de los casos, fundar relación alguna de la causa que origina la avería.

Aunque presenta muchos inconvenientes, este mantenimiento presenta su utilidad para determinadas compañías que posean una baja carga de producción y donde no tengan lugar muchas averías, teniendo en cuenta la naturaleza de tareas que en las que interviene el proceso. De forma que, estos ejemplos mostrarían como en determinados casos el correctivo puede presentarse como solución, puesto que, la presencia de otras estrategias de mantenimiento podría originar más gasto.

Para las EDARs, se presenta como la última herramienta a utilizar. Esta afirmación se sustenta en el hecho que se presenta como un mantenimiento muy difícil de presupuestar, y que puede comportar que, los períodos entre actuaciones, aún y siendo sobre el mismo equipo, pueden variar considerablemente.

Algunas de las averías que se pueden presentar pueden atender a:

- Motores o bombas derivadas a tierra; dando lugar a tener que poseer equipos redundantes, ya que la sustitución de un bobinado implica la acción del bobinador y de la reposición de componentes como, rodamientos, retenes, cierres mecánicos...

Teniendo en cuenta que la derivación a tierra del bobinado viene derivada de otra avería que el mantenimiento correctivo debe investigar para que no se produzca de nuevo.

- Averías mecánicas; numerosos equipos presentan una carga mecánica muy importante durante su funcionamiento, tanto en cuanto a resistencia, como en fatiga a soportar. Estas fallas suelen producir la necesidad del mecanizado de ciertas piezas que,

originan la necesidad de tener el equipamiento de maquinarias necesario, así como los operarios con las capacidades necesarias para hacer uno de ellos.

- Fallos de comunicación; son muy comunes las averías referentes a fallos del sistema Scada<sup>2</sup>, PLCs o comunicaciones entre equipos. En este caso, se suele disponer de componentes de repuesto, puesto que la falta de monitorización del proceso, puede suponer un vertido, que supondría un delito medioambiental.

## 6.2. Mantenimiento Preventivo

El presente mantenimiento se centra en realizar tareas, que tienen como finalidad anticiparse a posibles averías. Facilitando de esta forma que, los equipos se mantengan óptimamente, alargando su vida útil.

La meta que se marca es alcanzar el nivel de prestaciones que presentan los equipos, compensando el desgaste que el tiempo de trabajo puede ocasionar. Todo ello, con anterioridad a la presencia de la avería y previniéndose en un futuro de la misma.

La planificación del preventivo tiene naturaleza sistemática, atendiendo a mantenimientos realizables por períodos de tiempo, horas de funcionamiento, ciclos de trabajo, número de arranques... Para posibilitar dicho mantenimiento, es indispensable poseer un registro de los tiempos aproximados donde equipos presentan más posibilidades de padecer algún tipo de avería. Suele ser habitual que los preventivos se lleven a cabo en períodos donde la empresa experimente una menor carga de tareas.

A grosso modo, se puede decir que el mantenimiento preventivo busca el control, supervisión o inspección de los equipos. Dichas inspecciones otorgan a este mantenimiento, la potestad de evitar posibles defectos.

Los cometidos que implican una menor dificultad, realizadas por el personal de producción, atienden al mantenimiento conductivo. El cual engloba tareas como:

- Lectura de parámetros; tarea que únicamente busca la toma de información mediante el establecimiento de diferentes dispositivos ubicados a lo largo del proceso.

---

Scada<sup>2</sup>, método que supervisa, controla y recopila información remotamente.

Esta toma de referencias puede ser realizada por cualquier operario de la empresa puesto que no implica una formación específica. Cada día más, esta tarea es realizada por el propio proceso, haciendo uso de herramientas como IoT o Big Data.

- Inspecciones sensoriales; operarios con experiencia en el proceso y en los equipos que intervienen pueden llevar a cabo esta labor. Consiste en mantener controlados los equipos mediante la interacción sensorial del operario con la maquinaria. Por ello, la experiencia del operario puede llegar a interpretar que el ruido que un equipo desprende puede evidenciar una posible avería. Esta técnica es cada vez más dejada de lado, en detrimento de otras técnicas del mantenimiento preventivo y predictivo
- Ajustes o configuración de parámetros; los procesos son los que marcan que parámetros deberán ser programados. El tener que ajustar alguno de ellos puede hacer intuir una posible avería, como podría ser el hecho de tener que subir la frecuencia de un variador que gobierne una bomba. Esta acción indica que la bomba ha perdido poder de succión, de forma que evidencia un desgaste ya sea del impulsor, aro de desgaste o uña de anclaje. Otro ejemplo de ello se puede encontrar en la necesidad de variar los parámetros de una centrífuga espesadora, ya que esta no pudiera ofrecer una sequedad de fango óptima.

La parte de mantenimiento que requiere la acción directa sobre la maquinaria, atiende a acciones como:

- Engrases y cambios de aceite; es necesario entender la importancia que tiene el hecho de atender al cambio de aceite y engrase de la maquinaria. Dado que, al realizar un cambio de aceite puede informar, según el estado del antiguo aceite, de alguna anomalía que presente la caja reductora, bomba, compresor o caja de refrigeración. La periodicidad de ambas acciones vendrá dirigida tanto por las recomendaciones del fabricante, como por las horas de trabajo de los equipos.
- Limpiezas; a priori puede parecer una acción que no presente mucha relevancia, pero en el mantenimiento, la limpieza se presenta como una herramienta indispensable para asegurar el buen funcionamiento del proceso. Mantener un equipo limpio puede aportar mucha información, en cuanto a pérdidas de aceite, grasa o corrosión.

- Sustituciones periódicas; existen partes de la maquinaria que reclaman cambios periódicos de algunas de sus piezas. Entre las más usuales se pueden encontrar, correas, casquillos (en caso de soplantes<sup>3</sup> de émbolos), aceites o retenes. Esta parte del preventivo es quizás la más importante, por lo que respecta al tiempo que se tarda en llevarlo a cabo. Debiendo ser realizado por operarios conocedores de las técnicas necesarias para realizar dichos cambios de piezas. De lo contrario, la intervención a este nivel de la máquina, puede derivar en una avería, a priori inexistente.

Para empresas que empiezan a tener un número de equipos considerable, el mantenimiento preventivo se presenta como una opción mucho más rentable que el correctivo.

El hecho de prevenir futuros fallos, posibilita que se experimente un descenso de los costes. Las revisiones que este mantenimiento requiere, origina la problemática de la parada de equipos para intervenir en ellos. Estas paradas pueden ocasionar retardo en tiempos de entrega o cuellos de botella en el proceso productivo. Por ello es habitual que se intente, en la medida de lo posible, intervenir en el equipo que se encuentre en períodos de descanso del proceso.

Es de vital importancia que las revisiones sean planificadas, por lo tanto, que se enmarquen en las planificaciones de las paradas programadas. De forma que, vaya ajustándose la capacidad que el proceso podrá producir, atendiendo a dichas paradas.

### **6.3. Mantenimiento Predictivo**

Este mantenimiento persigue enlazar la condición en la se encuentra la máquina a analizar, con una variable física que permita estudiar el estado del equipo respecto al desgaste o envejecimiento de alguno de sus componentes. Para llegar a tal fin, se fundamenta en la medición, seguimiento y monitorización de los datos tomados, así como el estado en que se encuentra la máquina respecto al proceso. De forma que, se marcan una serie de valores que, estudiados previamente, hacen posible establecer diferentes escalones de criticidad de alarmas.

---

Soplante<sup>3</sup>, máquina generadora de gran caudal de aire, para favorecer la oxigenación del fluido en los reactores biológicos.

Dando a las más críticas o importantes, atendiendo tanto al proceso como a la dificultad de actuación (tiempo y coste), la prioridad de actuación.

Para hacer uso de cualquier método predictivo, es necesario realizar un estudio de las necesidades que el equipo a tratar necesita. Teniendo en cuenta que, los resultados o datos obtenidos han de ser procesables, y que resida en ellos una utilidad que permita predecir una posible falla del equipo.

La tendencia que presentan los valores que se toman, consiste en la fuente más importante que este mantenimiento ofrece. Dado que se puede establecer, con margen de error, el tiempo que tardará el equipo en sufrir un fallo.

Cabe tener en cuenta que, una de las mayores virtudes del mantenimiento predictivo, se centra en el hecho que, mientras que el correctivo y preventivo hacen que se haya de intervenir directamente en la máquina a tratar, en el predictivo no se requieren desmontajes complejos, incluso en muchas ocasiones no se requiere, ni siquiera el paro de la máquina. Pudiendo hablar de un método no invasivo.

Otra ventaja que ofrece la utilización del mantenimiento predictivo, se encuentra en la reducción de stock innecesario, ya que únicamente se realiza la compra de repuestos en los momentos en que se necesiten. Generación de pedidos de repuestos que vendrán precedidos del hallazgo de alguna anomalía durante el análisis permanente.

Los métodos predictivos más conocidos, y más habituales son:

- De las más utilizadas consistiría en el análisis de vibraciones, que mediante a un estudio exhaustivo del espectro resultante del análisis, es posible extraer mucha información del estado del equipo. Entre esta información podría destacarse que, puede informar sobre un desequilibrio, desalineación, cavitación, problemas en rodamientos, problemas eléctricos...

En referente a las EDARs, hasta el día de hoy era muy difícil encontrar sensores de vibraciones en bombas sumergibles, pero este hecho ha sido subsanado, gracias a que diferentes marcas ya equipan a sus equipos con sensores preinstalados, que únicamente visualizando un display es posible conocer la condición del equipo.



Otros equipos en los que puede ofrecer una información muy valiosa podrían ser, bombas de cámara seca, reductoras, multiplicadores, motores o compresores.

- Otra técnica sería la termografía, que se responsabiliza de la adquisición y análisis de la radiación infrarroja, pudiéndose medir a distancia. Toda entidad tiene la característica de emitir radiación infrarroja, todo y que no sea perceptible por el ojo humano. Este hecho se explica en que la longitud de onda en la se emite es diferente a la luz que el ojo humano puede percibir. Todo ello se realiza gracias a la generación de un termograma. Este se consigue transformando la radiación infrarroja en una imagen que, mediante una asignación de colores, se hace fácilmente visible. Algunos equipos o instalaciones donde poder darle uso serian, cuadros eléctricos, motores, bombas, compresores...
- El análisis de aceites se presenta como un método de examen de los equipos el cual exige la necesidad de contar, en muchas ocasiones, con la actuación de una empresa externa que se encargue de dicho análisis. El operario puede realizar inspección visual del aceite, en búsqueda de la emulsión del mismo, presencia de cuerpos extraños, virutas metálicas, color u olor... Si se tiene la sospecha de un mal funcionamiento o se encuentra alguno de los inconvenientes que se acaban de comentar, se debería enviar el aceite para realizar el análisis sobre el mismo. Así se obtendría una información veraz de la condición del aceite, y de si sus características seguían vigentes. Puede ser utilizado en cárteres de bombas o compresores, aunque su utilización más convencional, consiste en el aceite que procede de cárteres de reductores y multiplicadores. La aplicación principal es en estos equipos dado a que, en muchas ocasiones, la reparación de los mismos comporta un coste enormemente elevado, añadiendo el inconveniente del tiempo de paro necesario para realizar la sustitución y o reparación de las piezas que lo conforman.

Por otra parte, se podrían englobar dentro de esta lista, algún método incluido en el mantenimiento preventivo, como serían las lecturas de parámetros, o control visual. [26]

## **6.4. Mantenimiento de Mejoras**

Para poder enmarcar este mantenimiento es necesario haber realizado previamente un estudio de la máquina o instalación a interceder. Dicho estudio se debe a que un mantenimiento correctivo o preventivo realizado anteriormente, muestra evidencias de que la instalación o equipo precisa de una remodelación del mismo.

En muchas ocasiones, el uso del equipo, o accesibilidad al mismo, dan cuenta del requisito de modificación de la infraestructura. Pudiendo ser una de las causas, problemas con la seguridad al operar en o con el equipo.

En alguna situación se denomina mejora-reposición, que se dará cuando la acción a realizar consistirá en el cambio del equipo por uno nuevo. En ocasiones será un simple cambio de equipo y en otras comportará la realización de tareas extras, teniendo en cuenta que, al realizar una reposición, no es posible siempre la sustitución por un equipo igual, ya que puede ser que el antiguo se encuentre obsoleto.

## **6.5. Mantenimiento Legal**

Para poder mantener las instalaciones operativas y en regla, es necesario ceñirse a la reglamentación vigente, sea cual sea su naturaleza. Basándose en inspecciones periódicas o en marcas de conformidad de la entidad certificadora pertinente.

Un ejemplo de dichas reglamentaciones, se encuentra en las inspecciones de baja tensión, las cuales han de certificar diferentes parámetros, que aseguren una funcionamiento y seguridad óptimo de las instalaciones.

Por otro lado, se tienen las marcas de conformidad como podrían ser las placas con las que se identifican determinados calderines o compresores de aire.

## **6.6. Mantenimiento de Obra civil**

Las instalaciones de obra civil, al encontrarse en la mayoría de las ocasiones a la intemperie, precisan de revisiones periódicas, mayormente visuales. Es en este punto, cuando es posible encontrar un defecto o deterioro de la obra.

En este caso se generaría la necesidad de realizar el mantenimiento de obra civil pertinente, pudiendo ser de reparación o regeneración de la existente, o en los casos más requeridos, la construcción de obra nueva.

Las tareas realizadas en obra civil, suelen ser externalizadas, dado que requiere personal y maquinaria que no sería de uso habitual por la empresa.



## **7. Herramientas Lean disponibles**

En este capítulo se tratará la idoneidad de la utilización de herramientas Lean, todo ello atendiendo a los aspectos técnicos que su implantación requiere, a los beneficios económicos o recorte de gastos que proporcione, y del impacto que su uso puede generar en el medioambiente.

Atendiendo en primer lugar a los aspectos técnicos necesarios para poder atender a todos y cada uno de los objetivos que se han fijado anteriormente. Las especificaciones técnicas, marcarán que métodos se han de analizar para corroborar su identidad.

### **7.1. Implementación de Kaizen**

El primer paso a realizar para poder hacer uso de la técnica Kaizen se basa en la selección del tema a tratar. De esta forma se podrá atender más selectivamente al foco que se quiera atender.

Atendiendo a esta premisa se pueden presentar posibilidades como el tema de la seguridad (reduciendo el índice de accidentes), la calidad (atendiendo a los requerimientos del cliente), la productividad (originando una mejora de tiempos) o en el medio ambiente (disminuyendo los desperdicios).

En el caso del mantenimiento, se centrará en el desecho de tiempos muertos, mejora de métodos de trabajo, reprogramación de procedimientos de tareas o reasignaciones de responsabilidades. Para asentarlos es indispensable que los integrantes del equipo a trabajar pertenezcan a diferentes áreas, aportando de esta forma un carácter multidisciplinario al equipo. Este factor es muy importante puesto que, personas de diferentes departamentos o áreas tienen la capacidad de diferentes conocimientos y de la misma forma, aportar diferentes niveles de experiencia.

Para poder mantener la correcta vía de información entre el equipo y la gerencia, el proceso requiere la figura de un líder de equipo, el cual se responsabilizará de coordinar y guiar las sucesivas reuniones.

Será responsabilidad del líder la elección de los integrantes del equipo, atendiendo a que dichos integrantes deben ser los trabajadores más cualificados en el tema a tratar. Usando el

sentido común de no otorgar responsabilidad a un integrante que deba opinar sobre un problema que no atiende para nada a su ámbito de trabajo. Tomando como ejemplo de integrantes de equipo Kaizen de trabajo:

- Líder; Jefe del departamento
- 2o integrante; Mantenimiento
- 3er integrante; Ingeniero Industrial
- 4º integrante; Seguridad
- 5º integrante; Ingeniero de Proceso

Todos los integrantes del equipo reunirán información, por tal de poder establecer más fehacientemente las causas de los inconvenientes a atender. Las dos principales acciones para poder diagnosticar dichas causas:

- Hacer uso del Ishikawa<sup>4</sup> para diagnosticar las probables causas.
- Generar una base de datos con los registros analizados en diagrama de Ishikawa. Pudiendo ser tomada esta información por un ordenador o por un operario.

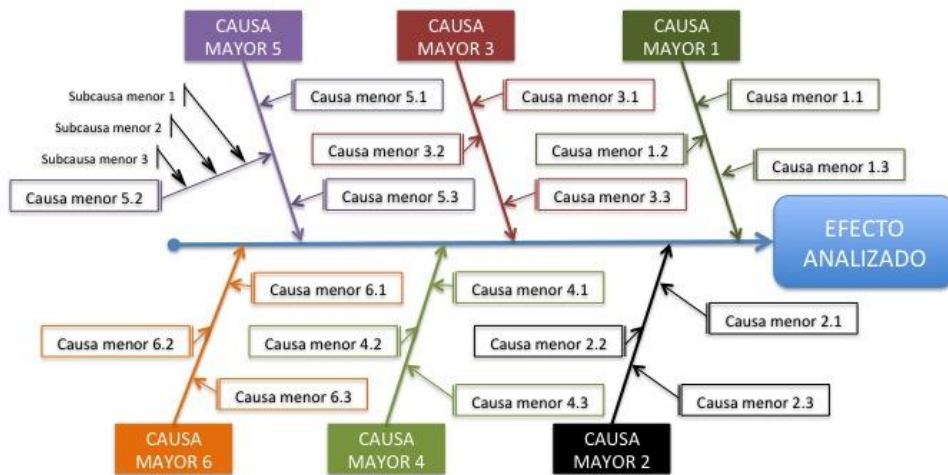


Figura 7.1. Diagrama de Ishikawa

Fuente: [27]

Ishikawa<sup>4</sup>; diagrama de causa-efecto.

Como se dispondrá de esta base de datos, se deberá de conformar los datos en tablas y graficarlos con el objetivo de obtener las tendencias de las máquinas a tratar. Al poseer las tendencias se podrá atender a los fallos más graves, no debiendo atajar todas las causas.

Una vez se tengan los gráficos llega el momento de obtener diagramas de Pareto para cada una de las causas. Estos diagramas permiten ordenar los datos haciendo que queden de mayor a menor, separados por barras y de izquierda a derecha. Otorgando la posibilidad de establecer prioridades entre las causas.

Analizadas las causas entran en escena el Gembutsu y el Gemba. Que se corresponden al equipo o producto a tratar (Gembutsu) y al área donde este se desarrolla o trabaja (Gemba).

Estos términos japoneses hacen referencia a la necesidad de una vez halladas las causas de un posible error, es importante acudir al área de influencia del equipo que se quiere estudiar. Esta acción puede hacer que se entienda mejor el problema existente, o incluso puede hacer que se añadan más variables al sistema.

La tarea de asistir al área físicamente para poder realizar una inspección in situ del equipo y área implicada, ha de ser realizada por el equipo, y sería conveniente realizar más de una observación, por tal de obtener más de una opinión. Estableciendo un modelo útil para documentar todo lo observado durante la inspección. Tomando mayor relevancia los comentarios extraídos de los trabajadores que desempeñan sus tareas en las áreas afectadas.

Mucho más acotadas las causas, llega el momento de la toma de decisiones en cuanto a las medidas a tomar para contrarrestar las causas de los problemas. Para poder tener un registro adecuado de las medidas tomadas cabe documentar, sin error, las fechas cuando se tendrán que implementar las medidas y el responsable de llevarlas a cabo.

Se procederá a realizar el seguimiento por parte del equipo del problema con una corta cadencia, (a poder ser diariamente), para pasar posteriormente a realizar las inspecciones Gembutsu-Gemba.

Se dará por controlado el problema cuando se tengan varios meses de registros sin la presencia del mismo. Todo ello deberá quedar reflejado en procedimientos para posibles errores futuros. De forma que, toda nueva persona que entre a formar parte de la empresa

pueda acceder fácilmente a los procedimientos de histórico de errores y se garantice una mejora.

Otro beneficio que ofrece esta técnica radica en que una vez identificado y solucionado un posible problema, ofrece la posibilidad de utilizar el procedimiento resultante, en otro equipo o departamento de la empresa. [9]

## 7.2. Implementación de Jidoka

Con este método se busca que el propio proceso sea el que controle el proceso de calidad. Todo y que generalmente esté orientado a grandes cadenas de producción, puede extrapolarse a cualquier proceso, mientras éste pueda gestionarse, en su medida, autónomamente.

A parte de corregir errores de forma puntual, ofrece la posibilidad de inspeccionar la causa del error, dando oportunidad a su erradicación e impidiendo que dicho error tenga la posibilidad de repetirse.

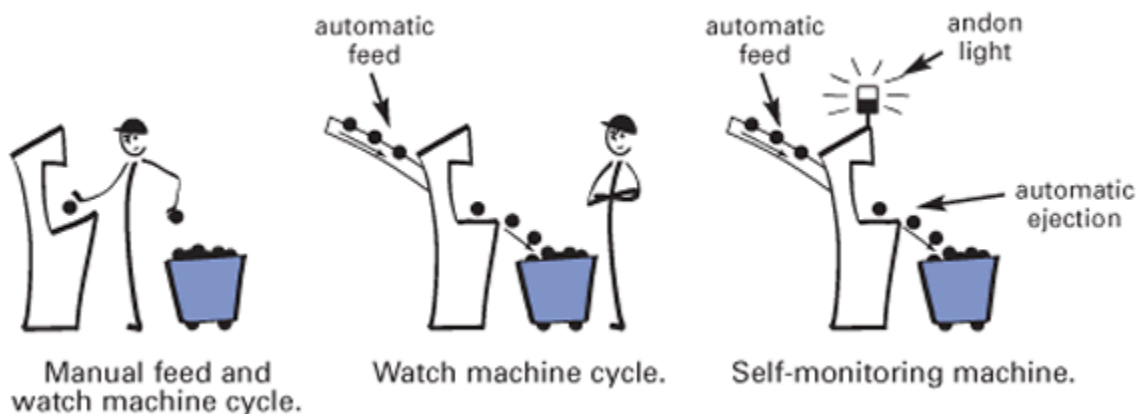


Figura 7.2. Evolución hacia Jidoka

Fuente: [28]

Para poder implementar esta técnica hay que atender a:

- Ubicar el emplazamiento del error. Este puede ser localizado mediante las inspecciones realizadas por los operarios, o mediante sensores que trabajen automáticamente.



- Localizado el problema, es indispensable llevar a cabo la parada del equipo a intervenir.
- Se fijan las medidas necesarias para conseguir que el equipo vuelva a ofrecer la utilidad para la que está instalado.
- Con el equipo ya operativo, se averigua la causa que provocó el error. Esta búsqueda puede suponer mucho tiempo, pero asegura una implantación de la solución final, asegurando que dicho error no vuelva a repetirse.

Por lo que al mantenimiento se refiere, esta técnica permite la instauración de mecanismos de aviso, ya sea manual o automático, que ofrecerán la posibilidad de evitar problemas mayores en los equipos. Todo ello otorgando al operario la importancia de sentirse responsable del aviso de cualquier eventualidad del equipo [14].

### 7.3. Implementación del Poka-Yoke

Como ya se introdujo en anteriores apartados, Poka-Yoke se presenta como la técnica de impedimento de un error no intencionado. Otorgando de una mayor autonomía al equipo en el que se introduzca. Puede ser utilizado con dos fines distintos:

- Para que el error no llegue a producirse, haciendo tareas de función de control. Haciendo estos una parada inmediata de los equipos, posibilitando de esta manera, la intervención en los mismos.
- La otra forma de utilización de la técnica se referiría al uso como función de aviso, el cual daría aviso al usuario de que el error va a producirse, todo y que no pararía el equipo. Presenta una menor efectividad que los Poka-Yoke de función de control, ya que tan solo ofrecería una señal acústica o luminosa para avisar del posible error.

Existen muchos ejemplos claros y fácilmente identificables de sistemas Poka-Yoke que son de uso habitual en el día a día. Alguno de ellos podría encontrarse en el ejemplo de los vehículos, los cuales no permiten su arrancada a no ser que se encuentre en punto muerto. Pasando por elementos electrónicos como podrían ser los dispositivos de memoria USB<sup>5</sup>, o las tarjetas SIM<sup>6</sup> utilizadas en la telefonía móvil.

---

USB<sup>5</sup>; memoria externa para el almacenamiento de datos.

SIM<sup>6</sup>; es una tarjeta con un chip necesaria para acceder a la red de telefonía móvil.

En ambos casos lo que la técnica Poka-Yoke ofrece, consiste en la imposible equivocación a la hora de insertar ambos componentes en sus respectivos dispositivos.

Gracias a la buena implementación de esta técnica, se generará un aumento de calidad, una disminución de retrabajos y, por consiguiente, la obtención de un proceso con menos intervenciones.

#### **7.4. Establecimiento de KPIs**

Se hará uso de los KPIs como la métrica necesaria para cuantificar los objetivos que se marque la empresa. Estos indicadores ofrecerán una valoración del estado de la empresa, atendiendo a factores como la rentabilidad, rendimiento o productividad.

La estrategia que corporativamente quiera perseguir la empresa será la que marque el enfoque de los KPIs a elegir, por tal de afianzar los procesos y conseguir las metas que los objetivos marquen.

Haciendo uso de la herramienta *Balanced Scorecard*<sup>7</sup>, se abrirá la posibilidad de poder conocer en todo momento el estado del proceso, así como el análisis de cualquier aspecto que afecte a los objetivos prefijados.

Para poder establecer una óptima lista de KPIs en primer lugar, hay que definir unos principios básicos que otorgarán la capacidad de poder cuantificar y cualificar, la utilidad y evolución.

Un KPI por definición se debe presentar como único, inequívoco y específico. Otorgando una valoración específica para un objetivo, no pudiendo ser usado para otro. Se ha de presentar como fácilmente medible, como podría ser la cantidad de intervenciones realizadas a un equipo en un intervalo de un año. Siendo el KPI un propósito que se pueda llegar a cumplir, descartando por lo tanto los KPIs sinsentido o que no aporten valor al proceso.

---

<sup>7</sup>Balanced Scorecard; herramienta que permite enlazar estrategias y objetivos de una empresa.

Cabe la posibilidad que se posea un indicador específico, que permita ser medido y que su meta se pueda lograr, pero es indispensable tener en cuenta que, si este indicador no se muestra como esencial a la hora de alcanzar los objetivos, debe ser descartado de la lista. Para finalizar el proceso de selección de indicadores habrá que establecer un intervalo de tiempo limitado durante el que se transcurrirá el proceso, permitiendo la obtención de datos para el posterior análisis.

El que un KPI llegue a buen puerto, se presta como una aportación de valor al proceso y el poder alcanzar los objetivos de la empresa. Será indispensable hacer uso de la comparación para poder acotar bien los indicadores, posibilitando la revisión y análisis del rendimiento y cumplimiento del proceso.

La cooperación entre trabajadores o departamentos, se marca como punto clave para la buena marcha del mantenimiento. Permitiendo analizar las diferencias de rendimiento entre departamentos o el grado de implicación de los integrantes de la empresa.

También cabe remarcar que un KPI no es una herramienta de vigilancia ni de supervisión a los trabajadores, sino que se nutre de ellos para posteriores revisiones de los mismos indicadores. Mediante las sucesivas revisiones de los mismos, atendiendo a que, tras el uso de algunos indicadores se puede llegar a la conclusión que, algún KPI puede haber quedado obsoleto o que algún otro demande una revisión a la baja de sus expectativas.

Hay que atender a los datos y tendencias que los indicadores muestran para poder poner en valor su puesta en marcha. Sino puede suponer una carga de tarea extra y un volumen de información sinsentido totalmente despreciable para el proceso [13].

## **7.5. Uso del Internet of Things**

En la actualidad son numerosas las empresas que hacen uso del IoT para poder mantener todos sus equipos interconectados, favoreciendo una fluidez constante de información.

Ciertos usos de los que se puede atribuir consistirían en; el control de procesos, evaluación de su funcionamiento, muestras de conducta de sus activos, y posibilidad de llevar a cabo la toma de decisiones que hagan posible una optimización del proceso.

Otorgando de esta forma al IoT la capacidad no tan solo de la adquisición y compilación de datos, sino además la modificación o transformación de los mismos, convirtiéndolos en fuente de información muy importantes para el proceso en que intervenga la compañía.

Para lograr una óptima incorporación del IoT en la empresa, se presta como indispensable cumplir los siguientes requerimientos:

- La erradicación de la idea que se basa en evaluar la implementación del IoT como algo que comporte un gasto muy elevado. Uno de los factores que pueden desmitificarlo es la gran oferta que en la actualidad existe en el mercado. Añadiendo el factor que demuestra que, aunque la implementación puede suponer una inversión inicial considerable para la empresa, los beneficios que de él se pueden extraer son cuantificables en muchísimos indicadores.
- No todos los equipos o máquinas intervinientes en un proceso son susceptibles de hacer uso del IoT. Por ello, hay que evaluar objetivamente cuales son los equipos en los que se puede instalar e incorporar elementos como sensores o detectores, que ofrecerán la capacidad de recogida de datos
- Llevar a cabo un ensayo conceptual de los usos que se le darán, así como la idoneidad de los resultados deportados, y posibles mejoras que los receptores o sensores demanden.
- Acotar los departamentos o áreas donde poder implementar la interconexión, será de gran ayuda para poder definir las necesidades específicas que el proceso pueda requerir.
- La selección de dispositivos y sistemas que puedan hacer uso de diferentes plataformas, favorecerá la incorporación y comunicación, aportando una más sencilla estandarización del sistema, y un mayor volumen de adquisición de información.

En la actualidad, la industria tiende a la necesidad de sentirse parapetado por un sistema IoT para poder estar en la cresta de la ola. Las empresas que declinen dicha necesidad se verán

abocadas a la renovación, como pasó en la última década del siglo XX con las empresas que no habían implementado equipos informáticos en sus respectivos procesos.

Como se ha comentado anteriormente, la tecnología permite en la actualidad una fácil accesibilidad, ya sea hablando de poder tenerla a mano de forma inmediata, como de los costes de ésta, que cada vez tienden más a la baja (por la constante obsolescencia de las tecnologías contemporáneas).

## **7.6. Uso del Big Data**

El uso del sistema anteriormente comentado IoT genera una base de datos de grandes proporciones. Es en este punto donde entra a escena el Big Data., el cual ofrecerá la capacidad de análisis necesaria para esa ingente masa de datos. No es tan solo en la tarea de optimizar el proceso, donde el Big Data aporta soluciones, sino que en tareas como la gestión de gastos, puede acontecer como una herramienta de gran utilidad.

Para poder entender el abanico de posibilidades que el Big Data puede ofrecer a la organización de la empresa, se muestran posibles usos del mismo para el proceso:

- Dentro de la multitud de posibilidades de tratamiento de información que se puede realizar, se podría resaltar acciones como la medición y control de las constantes vitales de los integrantes de una empresa. A priori puede parecer que no albergue mucha consonancia con el tema que se trata. Pero si se mira con más detenimiento se puede comprobar que una monitorización de las mismas puede llevar a que los accidentes de trabajo disminuyan. Otro factor, en este caso económico, que aporta esta monitorización consiste en la posible rebaja que se puede experimentar en la contratación del seguro médico que la empresa tenga contratado.
- A través del tratamiento de los datos extraídos de equipos o maquinaria, puede llegar a ofrecer información de posibles averías o errores, previniendo que estos lleguen a producirse. Todo ello gracias a las tendencias que los históricos de averías pueden aportar al sistema. La monitorización del comportamiento de los equipos hace factible la toma de decisiones que programan los mantenimientos preventivos, ahorrando de esta forma la necesidad de realizar mantenimientos correctivos, que provocan mayores costes y paradas de los equipos.

- Gracias al cada vez más exhaustivo tratamiento de datos, ofrece la capacidad de optimizar la gestión de stock, la planificación en todos los ámbitos de la empresa, pudiendo programar los procesos teniendo en cuenta multitud de factores que, sin el tratamiento de estos datos, quedaría totalmente expuesto a posibles errores. Haciendo más visible el estado de una orden de trabajo, ya sea atendiendo al material a emplear, transporte necesario para el mismo o ante acciones a realizar frente a errores que se puedan prever. Al poseer tal cantidad de información pueden reconocerse pérdidas o errores, pudiendo posteriormente determinar acciones para subsanarlos.
- El transporte de equipos, herramientas o recambios puede verse beneficiado por el uso del Big Data. Debiéndose al tratamiento de los datos que ofrecen los trayectos realizados, los consumos de los vehículos, o las condiciones y necesidades de los tipos de vehículo a emplear según la carga a trasladar. Pudiendo generar de esta forma, una optimización del tiempo de traslado, una reducción del carburante a usar, o disminución del desgaste de ciertos vehículos.
- En un espacio no muy dilatado de tiempo, se espera que exista una Marketplace<sup>8</sup> de bases de datos. Esta compraventa de información tomará una relevancia muy importante puesto que existirá la posibilidad de intercambiar datos de unas compañías a otras, otorgando al Big Data de un nuevo sentido de fuente de negocio [29].

## 7.7. Implementación del Kanban

Se puede emplear el método Kanban tan solo haciendo uso de señales durante el proceso. Se encarga de mantener el control de todas las acciones que se realizan, cuantificarlas y ubicarlas en el espacio temporal. Alguna de las principales virtudes que posee este método radica en que asegura que únicamente se actúa cuando es necesario y en el equipo que lo requiera.

Cabe la posibilidad de hacer uso del método para la gestión de stock, haciendo que se mantengan los niveles de recambios necesarios para hacer frente ante posibles eventualidades.

---

Marketplace<sup>8</sup>; Emplazamiento de comercio electrónico donde la información del producto o servicio es provista por múltiples terceros, todo ello encuadrado en un mercado en línea.

Para poder llevar a cabo el uso de este sistema se ha de considerar que trabaja manteniendo unas determinadas pautas. Estas pautas comienzan otorgándole al método toda la gobernabilidad del proceso, de forma que este clasifica el orden de las tareas, no permitiendo pasar a la siguiente sin haber finalizado la anterior. De esta forma se asegura que en primer lugar solo se realizan las actividades que el siguiente paso requiere.

Aquí se puede observar un ejemplo de tablero el cual hace uso del sistema Kanban.

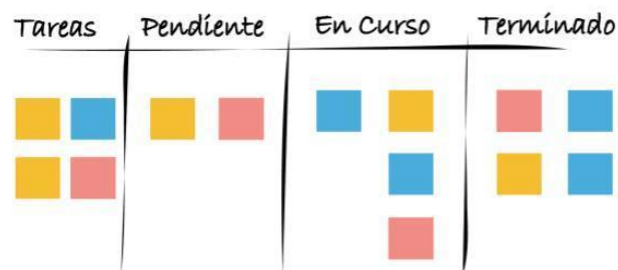


Figura 7.3. Organización Kanban

Fuente: [30]

Para mantener el proceso mediante este método, puede hacerse uso de dos sistemas distintos, mediante tarjetas Kanban, o bandejas Kanban.

Las tarjetas Kanban hacen posible que el estado del proceso o flujo de recambios, sea apreciable simplemente con la inspección visual de las tarjetas. Este método no busca la supresión del intercambio de información entre trabajadores, aunque ofrece la posibilidad de agilizar las gestiones de actividades entre departamentos.



Figura 7.4. Tablero Kanban

Fuente: [31]

Con las bandejas Kanban se hace un uso semejante al de las tarjetas. Aunque en este caso la bandeja se transforma físicamente en Kanban. El etiquetado de éstas será parecido al de las tarjetas, y el estado de las bandejas (llenado de las mismas) dará señal de precisar la reposición de la misma [11].



Figura 7.5. Ejemplo de bandejas Kanban

Fuente: [32]

## 7.8. Histórico de averías

Para una correcta planificación del plan de mantenimiento, es de vital importancia la creación de un histórico de averías. De la misma manera, se ha de documentar cualquier reglaje que se efectúe en los equipos a tratar, ya que puede tratarse de ajustes que se realicen muy a menudo, y requieran un estudio más concienciado de las causas de dicho desajuste.

Todo y que las averías se presentan como el factor más importante en la creación de estos históricos, en ellas se han de incluir cualquier cambio que se realice sobre los equipos o procesos. Haciendo que, ante una posible avería futura, el histórico proporcione datos de recambios o componentes necesarios.

Se ha de crear unas tablas, que estarán a la disposición de los empleados que se encarguen de llevar a cabo las tareas de mantenimiento, para estandarizar la documentación de las posibles averías. Aquí se puede observar una tabla ejemplo de la documentación de averías.



<b>Fecha de la incidencia</b>	27/11/2018
<b>Especialidad</b>	Mecánica
<b>Tipo de fallo</b>	Rotura de acoplamiento
<b>Horas de trabajo</b>	4 horas
<b>Tiempo de máquina parada</b>	7 horas
<b>Síntomas del fallo</b>	Giro motor pero no bomba
<b>Defectos encontrados</b>	Acoplamiento partido
<b>Corrección realizada</b>	Cambio de acoplamiento y alineación de la bomba
<b>Sugerencias para evitar que se repita el fallo.</b>	Alinear debidamente el conjunto motor-bomba

Tabla 7.1. Ejemplo de documentación de averías

Fuente: Elaboración propia

Una vez se posea el histórico, se puede trabajar sobre ellos, analizándolos para poder averiguar en qué partes del proceso o del equipo se requiere mayor atención. De ahí pueden surgir diferentes tomas de decisiones que erradiquen los motivos de error.

Los análisis otorgan la oportunidad de mantener un control sobre que equipos precisan que sean atendidos antes que otros, o que la gestión del control de stock se mantenga de forma óptima. En resumen, un buen mantenimiento del histórico tanto de fallos, como de actuaciones en los equipos, facilitan el correcto funcionamiento de los mantenimientos correctivo, preventivo o predictivo.

## 7.9. Implementación del Six Sigma

El uso de la metodología Six Sigma se basa en la búsqueda de una mejora de los procesos que lleva a cabo una empresa. Aportando un plus de calidad a los servicios que ofrece. Con él se puede llegar a conseguir la reducción de fallos en el proceso, logrando un elevado nivel de eficiencia. La variable que más beneficios experimenta con la implementación de este método

consiste en la disminución de costes, dado que evita el llevar a cabo acciones con errores en sus procesos.

A la hora de llevar a cabo la implementación cabría diferenciar entre 5 etapas, que serían la de la definición, medición, análisis, mejora y control.

- En la etapa de la definición, los integrantes del grupo de trabajo establecen los límites del problema y fijan los objetivos que se quieren alcanzar durante el proceso a tratar. Para poder atender a la consecución de estos objetivos, es indispensable acotar para cada problema planteado, que recursos se requerirán.
- Se llevará a cabo la medición para la recopilación de información, aportando los datos necesarios para poder acotar de forma más exacta el problema. Mediante esta recogida de información se evaluarán las causas que han derivado al fallo. Todo ello permite estimar el grado de cumplimiento que el proceso demanda.
- En el paso del análisis, se procesarán todos los datos que anteriormente ya hayan sido clasificados y medidos. Esta acción otorga la capacidad de poder revelar las verdaderas causas del error, dando pie a la formulación de una posible solución.
- Se dará solución a las causas que los análisis hayan revelado cuando se actúe en la etapa perteneciente a la mejora. Basándose en los pronósticos de los análisis, se aportarán decisiones que darán lugar a las mejoras necesarias para el buen transcurso del proceso.
- Una vez asegurada la buena marcha del proceso, se pasa a la etapa de control. En ella se procederá a la documentación de todo lo sucedido, para evitar posibles reiteraciones de errores, y se establecerán sistemas de gobierno que consoliden el funcionamiento.

## **7.10. Uso de la curva de la bañera**

Este sistema de control se basa en el estudio de la probabilidad de fallo que una máquina o componente puede padecer durante el período de su vida útil.

Muchos son los factores que intervienen a la hora de efectuar los cálculos que permitan trazar la gráfica. De modo que no se presenta como una deducción baladí, y requiere la adquisición de mucha información, y de hacer uso de bases de datos de históricos de averías.

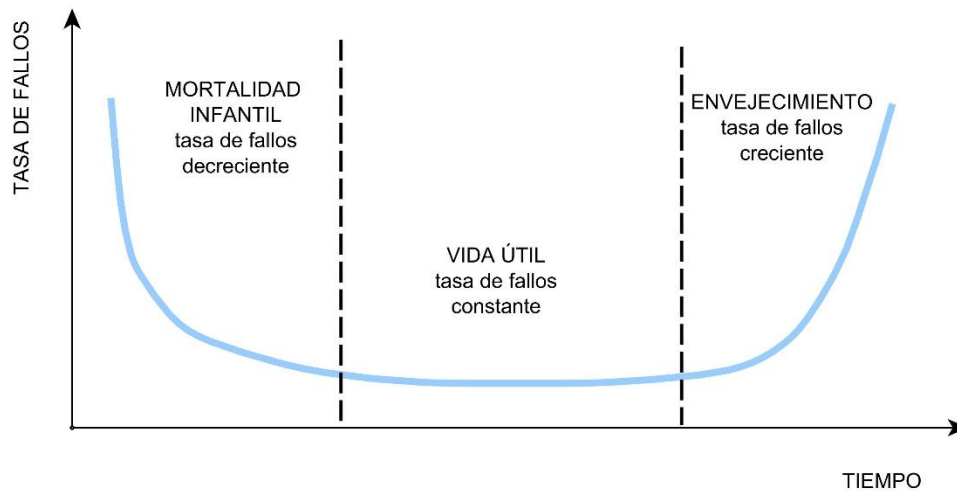


Figura 7.6. Curva de la bañera

Fuente: [33]

Como muestra la propia gráfica, se diferenciará entre tres etapas distintas, atendiendo a la probabilidad de que aparezcan fallos. Éstas serán las de mortalidad infantil (fallos iniciales), (vida útil) fallos normales y envejecimiento (fallos por desgaste).

- La primera etapa recibe el nombre de mortalidad infantil ya que, presenta al inicio una gran tasa de error que disminuye enormemente en un espacio de tiempo muy reducido. Estos errores pueden venir producidos por defectos en el procedimiento de la operación, por defectos en la instalación, o por defectos de la propia fabricación de los equipos.
- La segunda etapa será el período donde el equipo ofrezca su mayor rendimiento y haga bueno el propósito con el que se instaló. Los errores que acontezcan durante este

período pueden venir derivados de un error de operación, por algún incidente fortuito, o por condiciones de contorno que no se adecuen a las normales de trabajo.

- En la tercera etapa o de envejecimiento se dará lugar cuando se experimente un aumento considerable de la tasa de error. Esto es debido a que la maquinaria ya posee muchas horas de trabajo a las espaldas, de forma que, esto hace que el propio desgaste del equipo pueda empezar a originar fallos por sí mismo, sin necesidad de factores externos [33].

## 7.11. Uso del Just in Time

Una de las principales causas que posibilitan que Just in Time se presente como una herramienta muy útil para el mantenimiento, puede encontrarse en la problemática que se presenta ante la coordinación que las empresas tienen con sus proveedores de recambios, dado que en muchas ocasiones el material es necesario tenerlo al instante para realizar un mantenimiento correctivo, y en otras hay que tenerlo para realizar un mantenimiento programado.

Para llevar a cabo el uso de este sistema es primordial que todos los integrantes de la empresa se sientan parte del proyecto, puesto que su buen funcionamiento depende de mantener la actitud frente al nuevo enfoque de trabajo. Empezando por la selección de un equipo JIT, el cual se encargará de realizar un análisis evaluativo del coste/beneficio de la implementación del sistema.

Posteriormente llega el momento de hacer partícipes del proyecto a todos los empleados, proporcionando toda aquella información necesaria para que toda la empresa se comprometa y mentalice de la aplicación del sistema. Posibilitando de esta manera que, cada empleado pueda adaptar este sistema en su puesto de trabajo.

Con la concienciación asegurada, se procede a llevar a cabo la mejora de procesos. Atendiendo ya en este punto a la variación física de los procesos. Cambios que pueden venir dados por la variación de líneas de tráfico de material, reestructuración del mantenimiento preventivo, o la reducción de los períodos de parada de máquinas.

La aplicación de este sistema debe asegurar que, ante la necesidad de realizar un mantenimiento preventivo, es totalmente inviable que hubiera un problema de stock de

recambio. Esta rotura de stock generaría la problemática de que posiblemente la máquina permanezca una parada mucho más larga de lo que precisara. Afectando al proceso, y en algún caso generando un cuello de botella que trasladara el problema a diferentes áreas.

Algunas herramientas que pueden favorecer una mejora en el control, pueden centrarse en la realización de un control centrado en el área específica, tomando datos del mismo para proporcionar posteriormente resultados estadísticos con los que operar. Un instrumento muy importante e hilo conductor de toda la filosofía Lean, se basa en la participación de todos los empleados que, en este caso pueden aportar sugerencias para la mejora de los procesos.

La última pieza a componer para poder obtener un buen resultado del sistema JIT, se fundamenta en la coordinación que debe existir entre la empresa y los proveedores o empresas externas. Una buena coordinación, asegura tener el material siempre a tiempo, ofrece la posibilidad de abaratar costes y, por ende, la calidad experimenta un aumento [10].

## **7.12. Introducción a las 5s**

La metodología de las 5s aglomera un conjunto de tareas que se llevan a cabo con la finalidad de poder realizar los procesos de forma organizada, manteniendo un orden, sin descuidar la limpieza. La inclusión de todos los estamentos de la empresa es condición sine qua non para la concienciación de los buenos hábitos de comportamiento.

En primer lugar, cabe remarcar que, para poder llevar a cabo esta implementación, los estamentos más elevados de la empresa deben estar al corriente de la función que la metodología proporciona y, han de ser los primeros en instaurarla en sus propias tareas.

La primera toma de contacto con la nueva organización ha de ser con elementos sencillos y de baja complicación de ejecución. Elementos como podrían ser el mantener el orden de los despachos o el de las salas de reuniones tras alguna asamblea. De esta forma los mayores estamentos de la organización toman conciencia de las virtudes del mantenimiento del orden y limpieza.

Una vez establecido en los niveles altos de la compañía, llega el momento de hacer partícipe a todos los integrantes de la compañía. Esto se puede llevar a cabo mediante reuniones informativas donde se presentarán las ideas básicas en que se fundamentan las 5s. En estas reuniones se presta como herramienta de aprendizaje, la muestra de fotografías donde sean

visibles los cambios experimentados en los despachos y sala de reuniones. De la misma manera que, la presentación de fotografías de áreas donde implementar las 5s, sería de gran ayuda para concienciar a los empleados.



Figura 7.7. 5s

Fuente: [34]

Finalizada la presentación, no se ha de caer en el error de esperar que los empleados sigan las directrices de las 5s por si solos. Sino que se ha de mostrar el apoyo necesario para hacer de la guía de la metodología, un hábito en el día a día.

Con el fin de obtener los resultados óptimos, se ha de tener en cuenta que no se ha de contar únicamente con los técnicos u operarios que realicen las tareas pertinentes en sus maquinarias, sino que también intervendrán en la delimitación de áreas y tareas, personal de limpieza, mantenimiento o logística.

Determinadas las áreas y delimitadas las zonas a ordenar, se debería elaborar un algoritmo de proceso. Con éste definido, será de gran ayuda para iniciar a nuevos empleados a colocar cada cosa en su sitio y entender que existe un sitio para cada cosa.

Una buena práctica en la metodología se basa en la instalación de tableros y paneles informativos ubicados en las áreas a organizar. En ellos es recomendable enganchar

fotografías mostrando el área en su estado óptimo, dando pie al empleado a mantener el orden en la zona. No se debe caer en el equívoco de mostrar fotografías de imposibles, declinando aquellas que muestren las zonas excesivamente pulcras, puesto que no hay que olvidar que se está hablando de demarcaciones de trabajo, que en muchas ocasiones se genera en ellas muchos desperdicios. En estos paneles se puede establecer ciertas asignaciones de zonas a ciertos empleados, dotándolos de una responsabilidad indispensable para sentirse parte del proyecto.

Con el objetivo de mantener un método o disciplina, pueden asignarse ciertas gratificaciones a aquellas áreas en que se mantenga la metodología más ceñida al mapa de proceso marcado. Estas acciones se llevarán a cabo por medio de comparaciones con las fotografías tomadas en el período de la estandarización.

Con el método en funcionamiento, se ha de establecer ciertas vías de comunicación entre los empleados y los estamentos de toma de decisiones organizativas. Pudiendo de aportar sugerencias e impresiones de los trabajadores respecto a los planes de trabajo existentes en ese momento.

El método no se ha de presentar como rígido, dado que un equipo o instalación es susceptible de cambio al paso del tiempo. Cambios que pueden afectar a las zonas delimitadas por las 5s, debiéndose documentar nuevamente los cambios efectuados mediante la captura de fotografías de las nuevas zonas delimitadas [12].

### **7.13. Implementación de SMED**

Este sistema permitirá disminuir el tiempo empleado en la búsqueda de ciertas herramientas, de recambios para efectuar los mantenimientos, o de procedimientos a seguir. Se entiende por lo tanto que, todo ello generará una disminución del gasto derivado de tiempos desperdiciados.

Para poder llevar a cabo la presente metodología es necesario poseer unas instalaciones ordenadas, y con una limpieza óptima. Para tal efecto, se hace indispensable hacer uso del método comentado en el apartado anterior, las 5s.

Obteniendo así, zonas ordenadas, libres de posibles desperdicios y delimitadas. Delimitaciones que marcan las zonas donde deben estar ubicadas las cosas y que tan solo existe una ubicación correcta para cada cosa.

En este momento entran en escena los Gembutsu-Gemba, que hablan del producto o cosa a tratar y de la zona donde se realiza la tarea. Estos procesos han sido explicados en la implementación del método Kaizen.

Es importante que el análisis de estos factores sea realizado por empleados de distintos departamentos. Esto se debe a que los puntos de vista de cada uno de ellos pueden generar nuevas propuestas que aseguren la mejora del proceso.

Cabe establecer qué tipo de acciones se pueden realizar con el funcionamiento habitual del proceso a tratar, o cuales han de ser llevadas a cabo durante la parada del equipo en cuestión, o con la interrupción del proceso. De forma que es importante poder realizar una buena planificación del plan de acciones a llevar a cabo, así la máquina estará parada menos tiempo.

Como en la mayoría de métodos o herramientas Lean, una vez implementadas se presenta como útil indispensable, la estandarización del método. En este caso, ésta se llevaría a cabo mediante la redacción de procedimientos, o con la confección de videos explicativos del proceso a realizar para llevar a cabo una acción. Mostrándose así, fácil de transmitir a todos los empleados, incluso los de nueva incorporación [16].

## **7.14. Uso del TPM**

El compromiso y manutención de las actividades que intervienen en los procesos debe recaer sobre todos los trabajadores. Desde los administrativos, operarios, técnicos, mandos intermedios, o transportistas, hasta la gerencia.

En todas las figuras expuestas reside la responsabilidad de atender al proceso, trabajar para mantenerlo, y ofrecer posibles mejoras para la optimización del mismo.



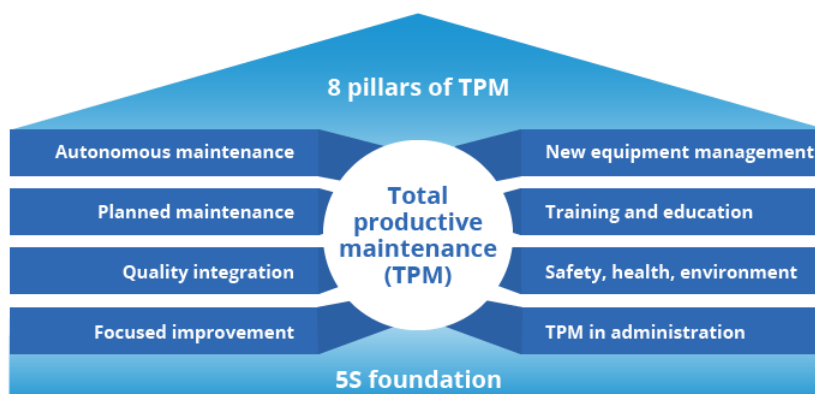


Figura 7.8. Los 8 pilares del TPM

Fuente: [35]

Como muestra la figura 6.8, el uso del TPM se puede resumir en 8 fases o pilares fundamentales que, explican el funcionamiento del método;

- El primer paso a realizar consiste en evaluar cómo se encuentra el proceso con anterioridad a realizar acciones sobre él.
- El informe de las condiciones previas dará paso a la incorporación de todos los empleados al proceso, otorgando la sensación de integración en el nuevo sistema a emplear.
- Para hacer que el proyecto llegue a buen término, es necesario establecer una comisión o equipo, el cual será el encargado de llevar el peso en la implementación del sistema.
- El equipo elegido deberá tener una persona visible que se encargará de encabezar el proyecto. Lo cual no implica que las decisiones sean tomadas por esta figura, sino que serán tomadas por todos los integrantes.
- Se plantea el momento de la confección de la hoja de ruta a seguir, dando lugar a la formulación de los objetivos o metas a alcanzar.

- Para no arriesgar sin tener la certeza de alcanzar resultados óptimos, se establecerá un área de prueba en la que comenzar a operar con el método. Para pasar a crear un listado con los equipos que requieran mayor criticidad.
- Con los procedimientos implantados, la acción de formar y capacitar a todos los empleados se presenta como una herramienta esencial. Con los empleados formados, se hace posible una continua mejora del método, dado que pueden aportar sugerencias o recomendaciones que aporten valor al proceso.
- La puesta en marcha del proceso finaliza cuando el nuevo método es documentado e informado en todos los departamentos y áreas de la organización [35].

## 7.15. Empleo del TQM

El uso del TQM hace necesario llevar a cabo la acción de mantener a los procesos como unos sistemas eficaces, buscando el aumento de valor de las tareas que en dicho proceso se realizan.

Para que la meta se pueda alcanzar es necesaria la colaboración de todos y cada uno de los trabajadores de la organización. Pasando por tres fases la puesta en marchas del mismo, que serían las previas, las de desarrollo y la de control. Dividiéndose cada una en otras tareas las cuales se describen seguidamente.

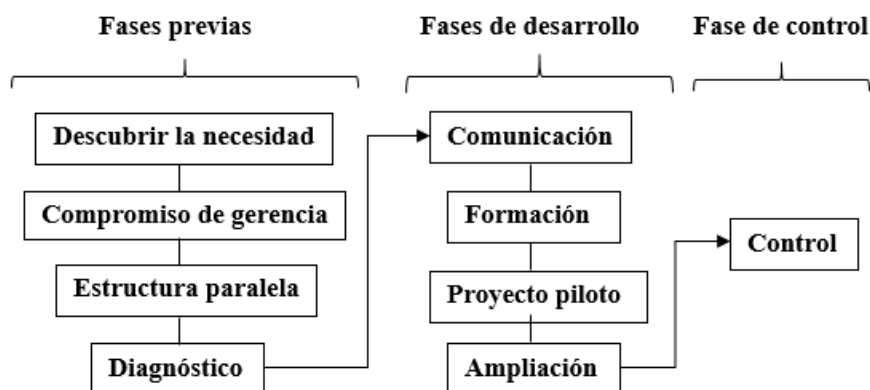


Figura 7.9. Etapas de implementación del TPM

Fuente: Elaboración propia

Como es apreciable en el diagrama de flujos de tareas 6.9, los conceptos a utilizar y llevar a cabo son muy similares a los empleados por la metodología TPM, aunque se podría comentar como elemento diferenciador que, mientras el TPM presenta un enfoque mucho más centrado en el mantenimiento y perfeccionamiento de la producción, el TQM busca una gestión de calidad mucho más global y abarcando cualquier área, ámbito, o tarea en que la organización esté involucrada.

## **7.16. Estandarización de equipos**

No cabe duda que poder estandarizar la maquinaria a utilizar puede reportar numerosos beneficios. Fácilmente cuantificables desde el punto de vista que agrupando ciertos tipos de equipos se consigue una disminución de costes considerables. Algunos de estos beneficios vendrían dados por:

- Disminución de inventario dado que la cantidad de componentes a inventariar se vería menguado.
- El menor número de referencias aportaría más facilidad de coordinación con los proveedores.
- Posibilidad de renegociar los costes de los recambios, al poder realizar pedidos que supongan un lote más grande.
- Gran sencillez para realizar diagnósticos de posibles averías.
- Posibilidad de poseer maquinaria de repuesto que sea sustituible en diferentes áreas.

En algunos casos la estandarización de la maquinaria no es tan trivial como el cambio de un equipo por otro y solucionado. Sino que requiere de modificaciones en las instalaciones, o incluso la reparametrización de ciertos procesos. Siempre será un factor que se deberá evaluar, aunque la estandarización se presenta como la solución más viable.

## **7.17. Valor del uso de las herramientas en mantenimiento**

El uso de las metodologías y herramientas presentadas anteriormente, ofrece la posibilidad de experimentar una mejora continua sobre las tareas de mantenimiento que la compañía lleve a cabo.

Una muestra gráfica de esta mejora se puede observar en que, si se siguen los pasos para el uso de las herramientas, sus beneficios pueden cuantificarse en un 40% de reducción de costes, así como una mejora en la calidad que puede cifrarse en un 50% [36].

Permite de esta forma, obtener una mayor competitividad gracias al deshecho de toda actividad que no aporta valor alguno. Accediendo a que todos los trabajadores se sientan parte importante del proceso, consiguiendo que las tareas se lleven a cabo de una forma más efectiva.

En el caso del mantenimiento no se hablaría de productividad pura, sino que se podría hablar de la efectividad de las tareas en las que se intervienen. Efectividad que se puede experimentar gracias a la reducción de tiempos que las herramientas Lean pueden ofrecer. Originando esos espacios temporales de los que se pueden hacer uso para llevar a cabo la mejora de seguridad, necesaria para poder ofrecer la protección que los trabajadores precisen.

Una de las bondades de hacer uso de estas metodologías, consiste en la capacidad que otorga a los procesos a readecuarse a nuevas demandas, contratiempos o, a diferentes planificaciones. Afirmación fácil de entender, teniendo en cuenta que gracias al Lean Manufacturing se experimenta un elevado desprendimiento de deshechos, que optimizan procesos, tiempos y recursos [37].

## **8. Metodología del mantenimiento**

En el presente capítulo se analizarán los principales equipos intervinientes en el proceso de depuración, intentando establecer un índice de necesidades de mantenimiento que cada equipo puede necesitar. Para poder mantener un orden de localización de los equipos, y al mismo tiempo, ofrecer una guía de la función que desempeña cada uno en el proceso, se trabajará atendiendo a cada zona diferenciada del proceso.

En cada una de las zonas se trabajará por conjuntos de equipos, ya que es posible que en una misma zona exista un número elevado de equipos de la misma naturaleza. Hecho que facilita el otorgar una metodología de mantenimiento para ese conjunto de equipos.

Al mismo tiempo, al final del capítulo se procederá a conectar diferentes herramientas Lean con el mantenimiento a realizar, dando lugar a la optimización de dicho proceso. Es de suponer que una herramienta Lean, como se ha expuesto anteriormente, en otros capítulos, no tendrá repercusión en una sola zona única o identificada, sino que suele ofrecer acción en el sentido más amplio de todo el proceso.

Cabe remarcar que en este capítulo no se atenderá a los mantenimientos de mejoras, ni al de obra civil. Esto se debe a que, para llevar a cabo estos tipos de mantenimiento, se debe entender que se realizarán con el proceso de depuración ya en funcionamiento. Es en este momento en el que el proceso puede dar muestras de alguna deficiencia o falta de algún tipo de subproceso. De ahí partiría el proceso de estudio de mejora del proceso, pudiendo este subsanarse con la sustitución o reajuste de algún equipo, o si el caso lo requiriese, la intervención a nivel de obra civil, necesitando de tareas de mayor envergadura.

En el caso que algún equipo requiera de la atención por lo que a reglamentación de seguridad requiere, se dará a conocer la norma o reglamentación por la que se debe mantener, entendiendo que el equipo puede verse inspeccionado ante una posible auditoría.

Seguidamente se muestra el sinóptico central de una estación depuradora de aguas residuales, en este caso la muestra de sinóptico central, se basa en el proceso de la EDAR de Montornés del Vallés.

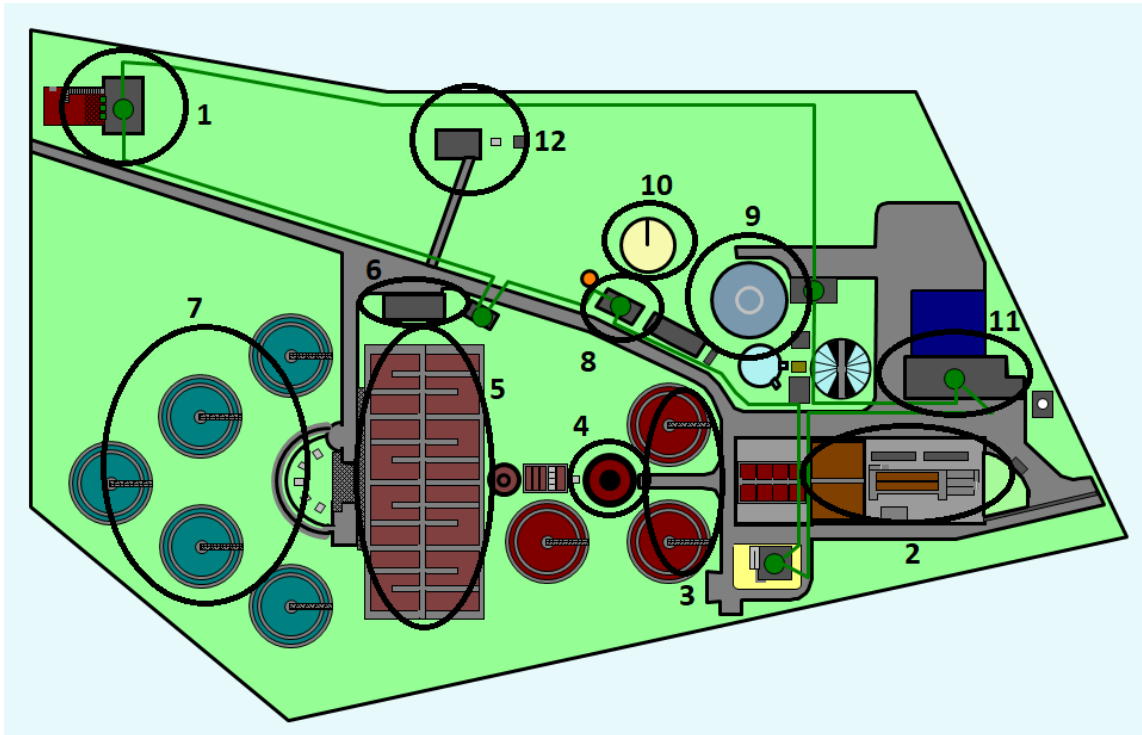


Figura 8.1. Sinóptico completo de EDAR

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

En el sinóptico<sup>9</sup> central de la EDAR se puede observar la delimitación de zonas que se ha efectuado para pasar posteriormente a centrarse en cada una de ellas.

Nº	Descripción	Nº	Descripción
1	Bombeo de entrada	7	Decantación secundaria
2	Pretratamiento	8	Espesado (a)
3	Decantación primaria	9	Espesado (b)
4	Bombeo intermedio	10	Digestión
5	Reactores biológicos	11	Deshidratación
6	Soplantes	12	Agua tratada

Tabla 8.1. Leyenda del Sinóptico completo de EDAR

Fuente: Elaboración propia

---

sinóptico<sup>9</sup>; elemento que muestra los principales elementos de un tema, de forma fácil, dinámica y esquemática.

Antes de incidir en cada uno de los subprocesos que intervienen en el proceso de depuración, sería bueno destacar algún tipo de mantenimiento predictivo que sea susceptible de ser utilizado en diferentes partes de las que consta una EDAR.

Una de estas técnicas consiste en la termografía, con la que se suele realizar las inspecciones preventivas a aquellos equipos en los que un aumento de temperatura puede intuir un posible error o avería. Este sistema de inspección se basa en la captura de imagen cuya cromaticidad de la misma, consiste en una escala de colores que indica la temperatura del elemento a tratar. Ejemplo de uso de la termografía se encuentra en las revisiones periódicas a los cuadros eléctricos, ya que a un simple golpe de vista de la imagen tomada, puede identificarse algún elemento de la maniobra o potencia, que esté trabajando erróneamente.

No cabe decir que, no es necesario que la inspección sea de carácter periódico, es posible atender a un equipo en el que se intuya un mal funcionamiento.

Otra técnica aplicable a un gran número de equipos, consiste en el uso de ultrasonidos. Gracias a ellos, es posible detectar una posible fuga en la instalación, un mal funcionamiento de los rodamientos, arcos eléctricos en cuadros o, la realización de la lubricación exacta y necesaria de rodamientos.

## **8.1. Bombeo de entrada**

La primera zona en la que se incidirá, corresponde a la encargada de la recolección del agua proveniente de los colectores. En ella se podrá identificar claramente los equipos encargados de suministrar a la depuradora, toda aquella agua que se haya de depurar, así como el llevar a cabo el primer tratamiento que estas aguas residuales reciben en la planta.

Primer tratamiento que generará, inevitablemente, los primeros residuos derivados de la depuración. Estos residuos serán los de mayor tamaño y fácilmente identificables, ya que existirán gran número de hilachas y sólidos.

Aquí puede observarse una imagen de la disposición de los equipos, y se nombrará aquellos sobre los que destacar su mantenimiento.

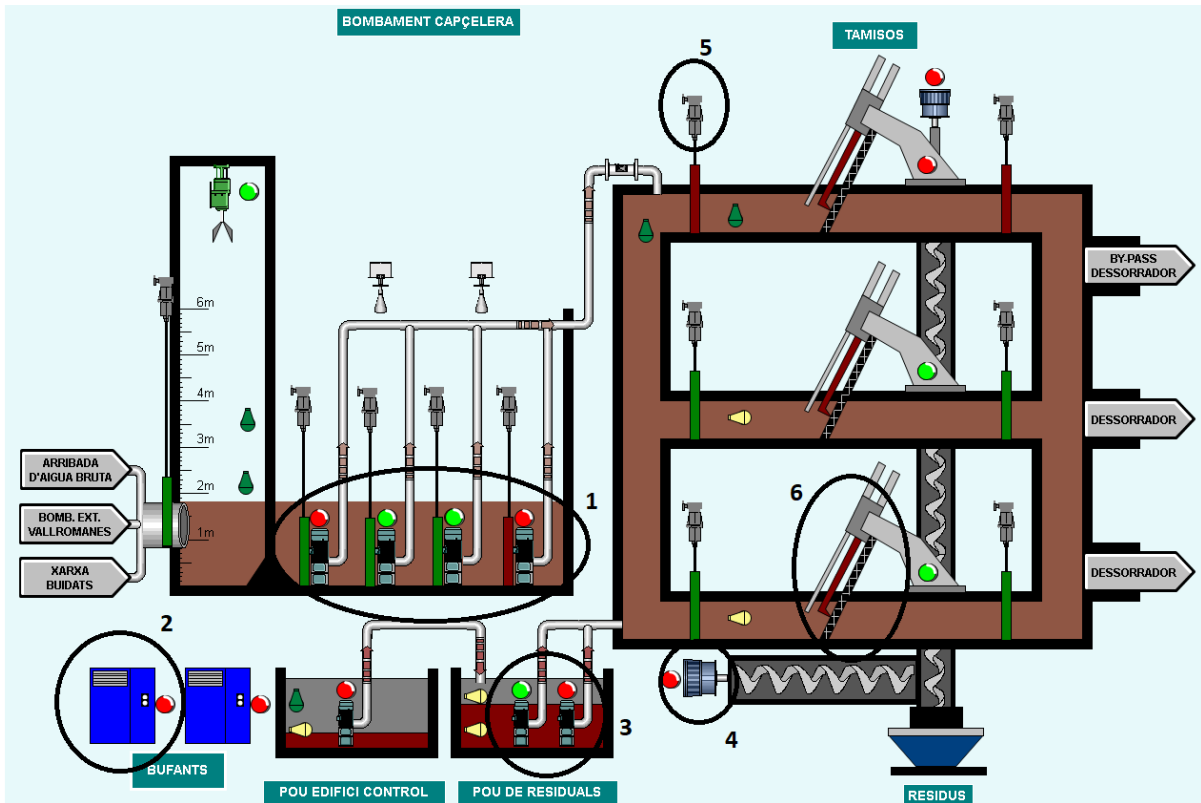


Figura 8.2. Sinóptico Bombeo de entrada

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Bombas de entrada
2	Soplantes
3	Bombas vaciados
4	Reductores sinfines
5	Compuertas
6	Tamiz de gruesos

Tabla 8.2. Leyenda del Sinóptico del bombeo de entrada

Fuente: Elaboración propia



Pasando a enumerar cada elemento y el mantenimiento que éste requiere:

1. Bombas de entrada; Se presentan como uno de los equipos de mayor importancia, y la avería del cual, supone un cuello de botella a toda la planta, y al mismo tiempo obligaría a la evacuación de agua sin tratar al medio río.

Para poder establecer un paralelismo entre averías o establecer un sistema de detección de las mismas, se presenta de gran utilidad el uso de la filosofía Jidoka. Puesto que, mediante la monitorización de diversos parámetros, como temperaturas, vibraciones, o consumos, se podría establecer un diagnóstico a tiempo real del estado del equipo.

Cierto mantenimiento que se realiza sobre este equipo es;

- Sustitución del glicol refrigerador del cierre mecánico.
- Comprobación de desgastes en voluta e impulsor
- Comprobación consumos
- Estado de caja de conexiones y bobinado
- Estado del cierre mecánico exterior

Es de entender que, al ser un equipo de vital importancia, no se puede permitir el hecho que existiera falta de stock de algún de sus recambios. Por esa razón, se hace casi imprescindible hacer uso del SMED, por tal de poseer el recambio necesario para aquel momento que se precise.

La necesidad de mantener el equipo continuamente supervisado hace que, ante una posible avería la causa se pueda analizar más fácilmente. Para eso, se puede hacer uso de los diagramas Ishikawa que, generando una fuente de posibles causas de la avería, genera finalmente unos datos que, siendo analizados mediante Pareto, puede llevar a la conclusión de las prioridades entre las causas.

La monitorización de los análisis de vibraciones de las bombas se presenta como acción primordial para anticiparse ante una posible anomalía del funcionamiento del equipo. La interconexión de los equipos, así como el tratamiento de los datos obtenidos, favorecerá que las acciones preventivas se realicen de forma más eficientes.

2. Soplantes; Son los equipos encargados de generar un burbujeo en el fondo del pozo, con el fin de no permitir que se lleguen a generar sedimentos del agua proveniente de los colectores.

Las acciones que se realizan sobre el equipo son;

- Sustitución de aceite del cárter.
- Comprobación del estado de las correas
- Comprobación del estado de los filtros de aire
- Estado del motor
- Limpieza cabina
- Comprobación consumos
- Análisis de aceite (si es necesario)

3. Bombas de vaciado; Se encargan de devolver al proceso aquellos residuos generados por el mismo personal de la planta, así como el derivado de diferentes procesos, como el del secado. En el caso de las bombas de vaciado, se presenta el inconveniente que, al ser bombas de un tamaño relativamente pequeño, el hacer un mantenimiento preventivo sobre ellas, puede acarrear un coste demasiado elevado, en comparación al coste que la avería de la misma puede suponer.

Para ello es muy útil hacer uso de los históricos de averías, para poder establecer una curva de la bañera, que ayude a aproximar los tiempos límite de uso de las bombas, de esta forma se podría optimizar su vida útil.

4. Reductores sinfines; Recae sobre ellos la tarea de transportar todos aquellos elementos de deshecho que, en una primera selección, el tamiz aparta para su destrucción. Existen varios sinfines a lo largo del proceso de depuración, y sería de gran utilidad la estandarización de los reductores con los que vienen equipados. Hecho que ante una avería que demandase celeridad, o que el defecto del reductor fuese muy importante, posibilitaría la sustitución de uno redundante existente en almacén.

Las acciones a realizar sobre este equipo son:

- Sustitución de aceite del cárter.
- Estado del motor
- Holguras en la transmisión

- Estado de la cuna del sinfín
- Engrase de rodamientos
- Análisis de aceite (si es necesario)

5. Compuertas; Encargadas de otorgar o cerrar el pase del líquido al proceso. Su funcionamiento es automático, únicamente se hace uso manualmente cuando existe un defecto de finales de carrera o del motor reductor de la compuerta. El mantenimiento que se realiza sobre estas tan solo reviste en la comprobación del funcionamiento y del engrase del vástago accionador.

En este caso la estandarización se presenta mucho más sencilla, puesto que la fuerza que han de realizar, o la velocidad de subida y bajada, son comunes en la mayoría de compuertas instaladas durante el trayecto del líquido a tratar.

6. Tamiz de gruesos; Es el primer escollo que se presenta el líquido y que ocasiona que se desprendan los primeros elementos no deseables para el tratamiento del agua. El principio de funcionamiento del tamiz se centra en un número elevado de ejes equipados con hileras de peines plásticos que, mediante unas cadenas grandes laterales, hacen un movimiento perpetuo que, origina la elevación de los gruesos, hasta desprenderse de ellos obre el sinfín anteriormente comentado.

Acciones a realizar sobre ellos:

- Sustitución de aceite del cárter.
- Estado del motor
- Holguras en la transmisión
- Estado de los peines
- Estado de elementos de fricción (cadenas, patines...)
- Engrase de rodamientos
- Estados finales de carrera
- Análisis de aceite (si es necesario)

## 8.2. Pretratamiento

Llegados a este punto donde el agua ya se ha desprendido de los primeros sólidos gracias a los tamices, llega el momento de pasar por los desarenadores. Como su propio nombre indica, permitirá desprenderse de la arena que el agua transporte.

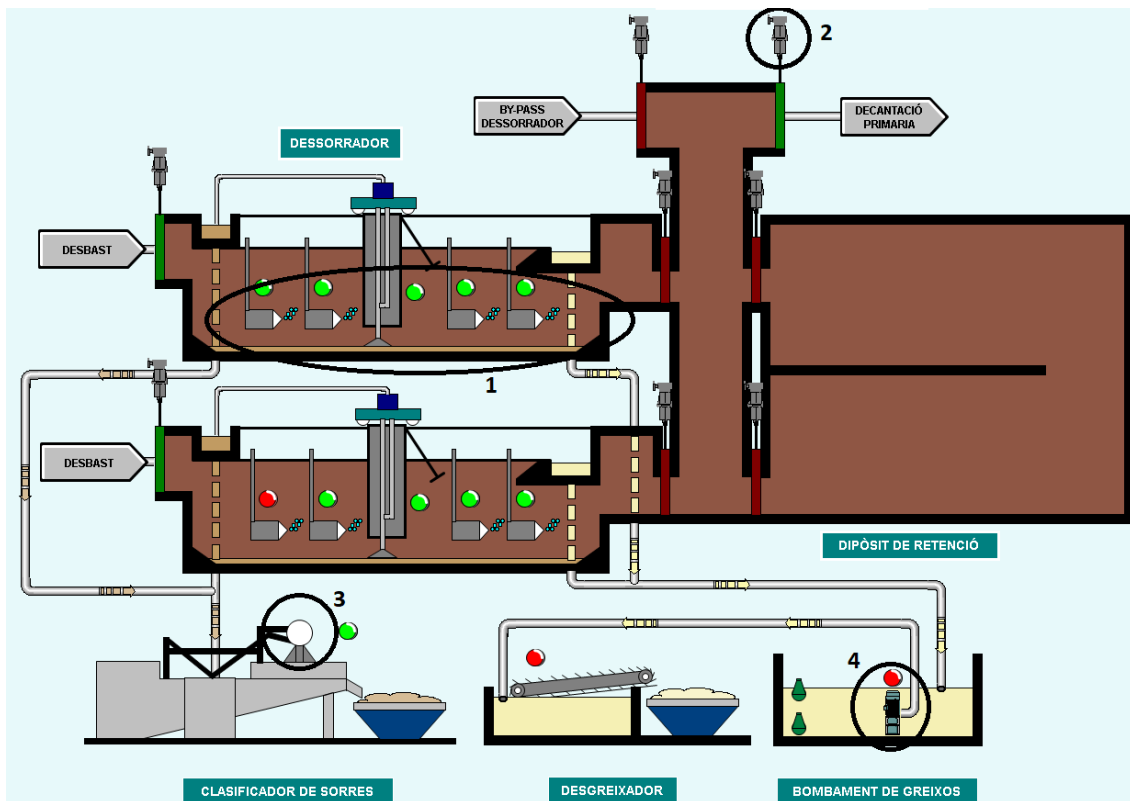


Figura 8.3. Sinóptico Pretratamiento

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Aeroflots
2	Compuertas
3	Clasificador de arenas
4	Bomba de grasas

Tabla 8.3. Leyenda del Sinóptico de pretratamiento

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo la tarea del desarenado del agua, se hace uso de los elementos que se presentan en la tabla anterior, el mantenimiento que se realizará sobre los mismos será:

1. Aeroflot o aireador; el carro del desarenador irá haciendo un movimiento de vaivén, por tal de arrastrar las grasas hacia el canal de salida de las mismas, y al mismo tiempo, succionar el fondo para deshacerse de posibles sedimentos. Para que no exista tal sedimentación, entran en escena los aireadores, encargados de proporcionar grandes bolsas de micro-burbujas, encargadas de ir guiando a la grasa hacia arriba.

Por la dificultad que presenta la realización de acciones sobre este equipo, únicamente se atiende sobre él, cuando existe algún tipo de anomalía. Por esta razón sería bueno monitorizar sus consumos o vibraciones, para evitar que, al aparecer una posible avería, esta sea ya demasiado costosa.

2. Compuertas; Su tarea reside en permitir o denegar el paso de agua desgrasada al proceso. Como se ha comentado anteriormente, el funcionamiento habitual es automático, únicamente se hace uso manualmente cuando existe un defecto de finales de carrera o del motor reductor de la compuerta. El mantenimiento que se realiza sobre estas tan solo consiste en la comprobación del funcionamiento y del engrase del vástago accionador.

3. Clasificador de arenas; Recibe las aguas con arenas provenientes del fondo del desarenador, realizando un movimiento semejante al de una biela, eleva la arena mediante unas palas por el canal de obra civil, hasta depositarla en el contenedor habilitado para tal efecto. Este equipo está formado por una gran estructura metálica articulada, accionada por un conjunto motor-reductor.

El mantenimiento que se realiza sobre el equipo es:

- Comprobación consumos
- Estado de los rodamientos
- Engrase de rodamientos externos
- Ruidos en el reductor
- Cambio de aceite
- Análisis de aceite (si es necesario)

4. Bomba de grasas; Las grasas que las palas del desarenador transportan hacia el depósito de grasas, son transportadas por la bomba hacia la zona del contenedor de grasas, del que una empresa externa de residuos se hará cargo. La bomba de grasas presenta la misma problemática que diversos equipos de la EDAR, que no compensa en la mayoría de las ocasiones, intervenir sobre ella. Dado que presenta imposibilidad de realizar un bypass y que el coste de su mantenimiento puede sobrepasar el de una pequeña reparación.

Para que esta reparación sea de pequeño importe, sería conveniente analizar el histórico de averías para poder confeccionar una curva de la bañera, y así conocer cuándo puede empezar el equipo a generar anomalías.

### **8.3. Decantación primaria**

En esta fase se pueden diferenciar los decantadores y el anillo repartidor. Los primeros son los encargados de mediante el uso de la acción de la gravedad, depositar las partículas en suspensión. Produciendo que la parte clarificada vaya siendo expulsada por la parte superior, mientras que los rascadores que circulan a ras de suelo, van centrando los sedimentos para que estos sean succionados.

En cuanto al anillo repartidor, consta de dos partes diferenciadas. Su forma es de anillo y se diferencia el circuito interior y exterior, debido a que tanto la procedencia del material, como el destino del mismo, son totalmente diferentes.

Por la parte exterior circula libremente y por gravedad el líquido que el decantador ha expulsado por su parte superior, encontrándose este libre de las partículas en suspensión. El lugar hacia donde se dirige este líquido consiste en el bombeo intermedio.

La parte interior se encuentra aislada por obra civil de la exterior, y del repartidor central. En ella se pueden encontrar cinco bombas de cámara seca, las cuales transportarán el material depositado en los decantadores, hacia las zonas posteriores encargadas de los tratamientos de fangos.

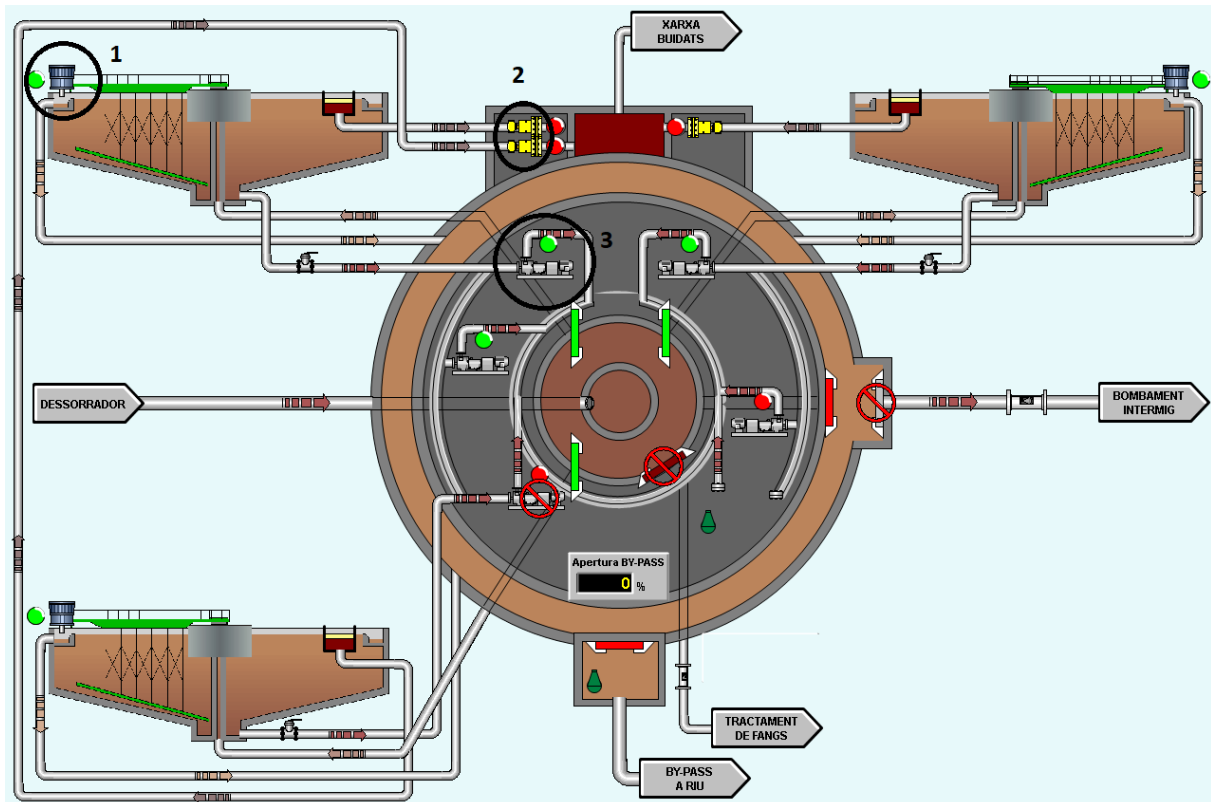


Figura 8.4. Sinóptico Decantación primaria

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Reductor ruedas
2	Válvula Pic
3	Bombas de cámara seca

Tabla 8.4. Leyenda del Sinóptico de decantación primaria

Fuente: Elaboración propia

Existen muchos puntos a tener en cuenta sobre el mantenimiento de esta zona, pero se ha decidido incidir en tres de ellos para exponer el mantenimiento o importancia que dichos equipos tienen.

Los equipos sobre los que se actuará serán:

1. Reductor de las ruedas; Los decantadores tienen forma circular, y por ello el carro va circulando sobre la obra civil dibujando una circunferencia. Para poder realizar dicho movimiento, se hace uso de reductores solidarios a las ruedas. Éstas son de alma metálica, y de recauchutado exterior. Los reductores Precisan del siguiente mantenimiento:

- Comprobar consumos del motor
- Ruidos del conjunto
- Desperfectos en la banda de rodadura de las ruedas
- Engrase de los rodamientos de apoyo
- Cambio de aceite del reductor
- Análisis de aceite (si es necesario)

Ante un episodio de averías recurrentes, es importante el uso del análisis del lubricante del reductor. Consiguiendo conocer la causa o fuente de averías del equipo. De esta forma, es posible optimizar en recambios y mantenimientos correctivos.

2. Válvula pic; Es la válvula que abre o cierra el paso, dependiendo de la necesidad que el proceso requiera. A diferencia de otro tipo de válvulas, ésta cierra mediante una membrana accionada neumáticamente. El mantenimiento que se debe realizar sobre ella:

- Revisión de su funcionamiento
- Tomas de aire
- Estado de los tubos de aire
- Degradación de las bridas de sujeción

3. Bomba de cámara seca; El funcionamiento de este tipo de bombas no dista del que se utiliza en cualquier bomba centrífuga. En el caso de estos equipos, constan de dos componentes diferenciados, por una parte, el motor eléctrico, y por otra el cuerpo de la bomba con su correspondiente voluta. La unión de ambos componentes se realiza mediante el uso de un acoplamiento elástico.

Las acciones a tener en cuenta sobre el conjunto serían:

- Comprobación de consumos



- Desgaste del acoplamiento
- Estado del impulsor
- Cambio de aceite de la cámara de rodamientos
- Ruidos en motor o cuerpo bomba

## 8.4. Bombeo intermedio

Esta parte del proceso contiene mucha simplicidad en su función y funcionamiento. Recibe materia a tratar procedente de los decantadores primarios y al mismo tiempo, de la recirculación de los biológicos. La función es únicamente la de hacer llegar las aguas a depurar hacia los reactores biológicos.

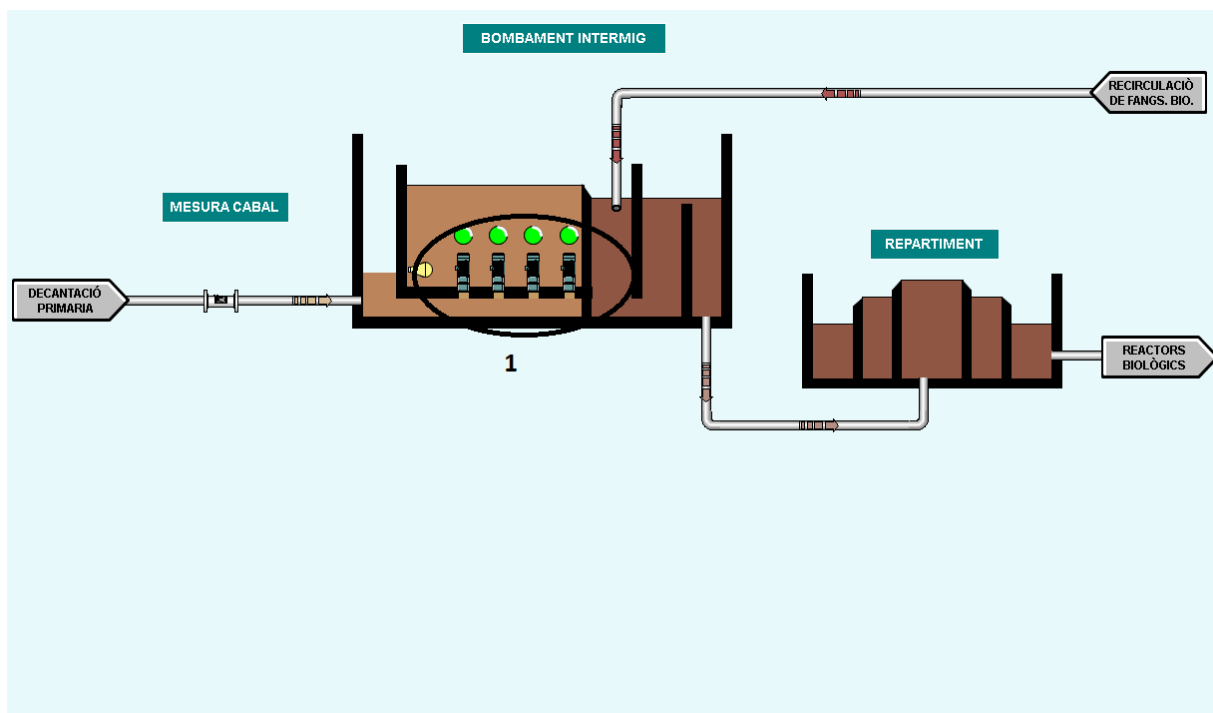


Figura 8.5. Sinóptico Bombeo intermedio

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

En la zona se debe destacar las cuatro bombas de elevación intermedia. Son bombas que únicamente elevan el nivel del cubículo donde se encuentran ubicadas, dando lugar al transporte del agua mediante la propia gravedad. Las acciones a realizar son:

- Comprobación de consumos

- Estado del impulsor
- Cambio de aceite del cárter (parafina)
- Desgaste de la campana succionadora
- Vibraciones

## 8.5. Reactores biológicos

Este subproceso se presenta como uno de los más importantes de la cadena. En la parte baja de los reactores se encuentran las parrillas que aportaran el aire proveniente de las soplantes. Para que se realice una correcta circulación del agua, se hace uso de agitadores, con el fin de vehicular el líquido.

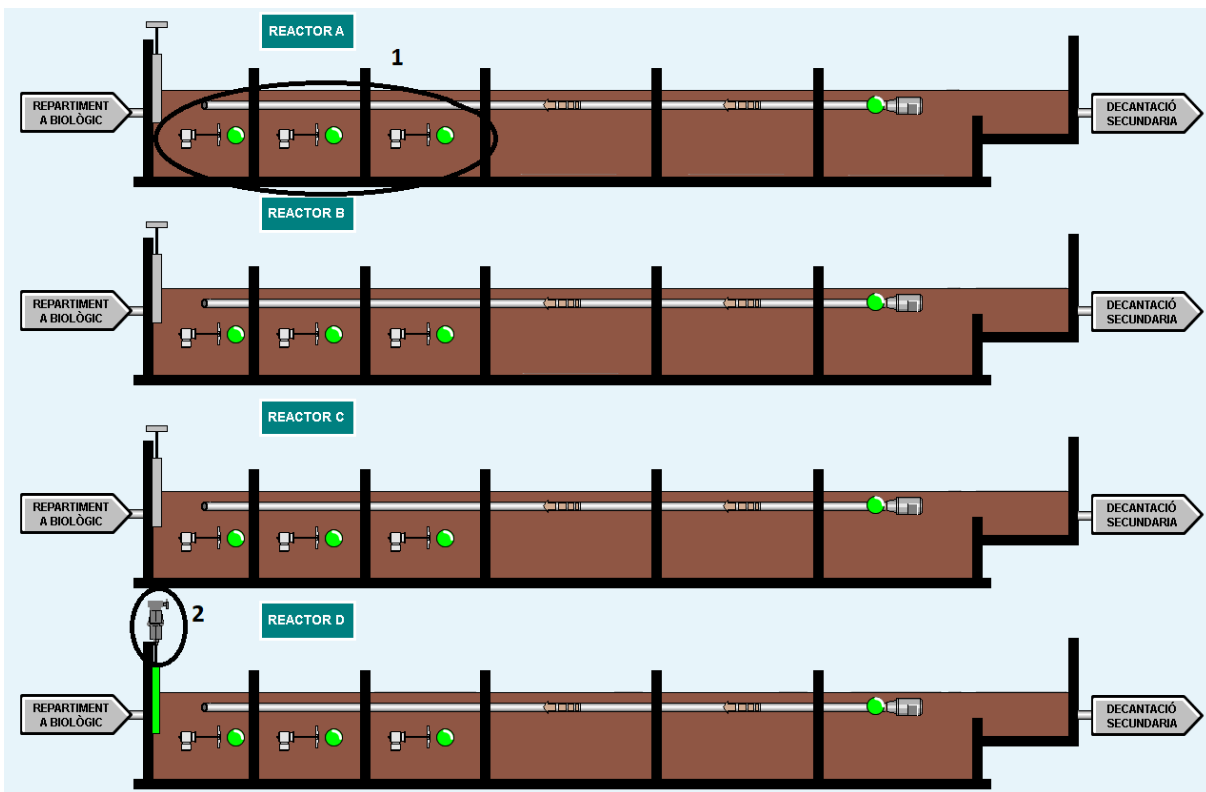


Figura 8.6. Sinóptico Reactores

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

El paso de esta zona, da lugar a la decantación secundaria, haciendo que la parte de las aguas empiece a ver su fin. Los agitadores, así como las bombas sumergibles y tuberías de toda la EDAR, están contruidos de material inoxidable, fácilmente entendible, debido a la oxidación que el agua genera.

1. Agitadores; Son equipos bastante sensibles, debido a tendencia que presentan a sufrir vibraciones. Esto se debe a que únicamente son fijados por la parte trasera del agitador, y que la fuerza que generan las palas, suelen ser bastante importante.

Los puntos a tener en cuenta del equipo son:

- Comprobación de consumos
- Cambio del aceite del cárter (parafina)
- Estado de los álabes del impulsor
- Estado de la guía
- Vibraciones

2. Compuertas; Como se ha comentado anteriormente, uno de los puntos más importantes a la hora de planificar el mantenimiento en las compuertas, reviste en la necesidad de estandarizar los modelos a instalar. Generando dicha selección, la posibilidad de poseer un stock de recambios bien acotado y a la vez, ahorrarse algún imprevisto por falta de material.

## 8.6. Soplanges

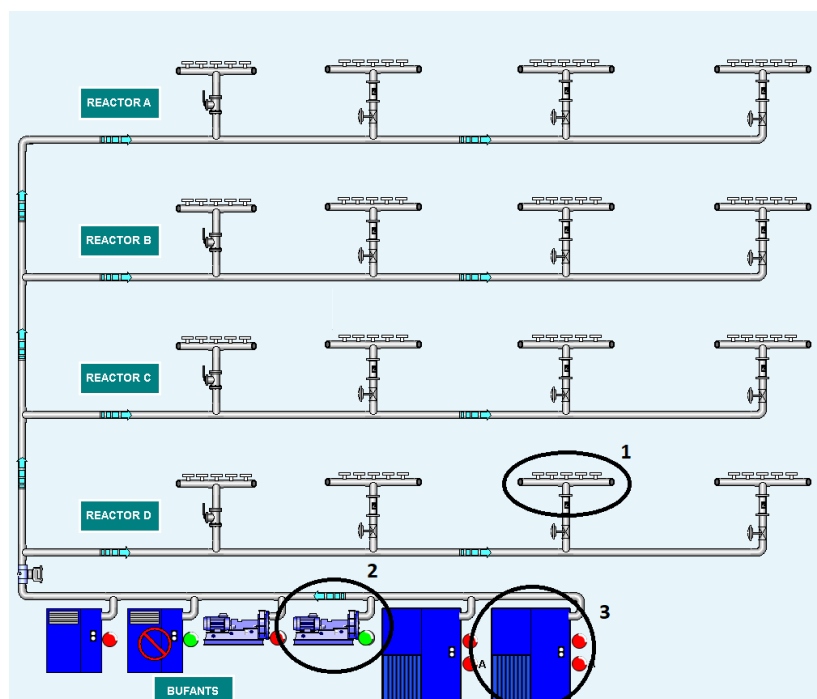


Figura 8.7. Sinóptico Soplanges

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Esta es la zona en la que se genera el aire que se suministra a la parte baja del reactor. Para ello se hace uso de dos tipos diferentes de generadores de aire. Por una parte, están las soplantes de tipo tubular, y por otra las conocidas como turbosoplantes. Se procede a exponer las funciones y mantenimiento de cada uno de los equipos que intervienen.

1. Difusores; Es a través de estos componentes, donde el aire es liberado desde el fondo. Consiste en membranas finas de caucho, que se encuentra micro-perforado, con el objetivo de poder extraer de él, el diámetro más pequeño posible de burbuja. Para realizar el mantenimiento de estos, es necesario el vaciado y limpieza de los reactores. Por ello, es de entender que se realice únicamente una inspección anual. Las acciones sobre ellos son únicamente visuales para cerciorarse que no exista rotura de ninguna membrana, así como asegurarse de la ausencia de pérdidas de aire por la tubería.

2. Turbosoplantes; Estos equipos presentan un elevado coste tanto de adquisición, como de reparación, por ello se presta mucha atención a su mantenimiento. Consta de un motor eléctrico accionador (de grandes dimensiones), caja multiplicadora, voluta, y caja de aspiración con filtros.

En cuanto al motor se refiere, se atiende al consumo que presenta en funcionamiento, al engrase de sus rodamientos y a los ruidos que puede presentar. La monitorización de las vibraciones es vital para anticiparse ante una avería.

La caja multiplicadora genera un aumento de la velocidad tal que, ofrece una velocidad de rotación de salida cercana a las 15000 rpm. Por esta razón es de suponer que, se ha de prestar mucha atención a no sobrepasar las horas marcadas por el fabricante para el cambio de aceite, filtro de aceite, cambio de rodamientos, o para la toma de niveles de vibraciones. Otra acción muy importante es el análisis del aceite, que se realiza en el supuesto que, se intuya posibles partículas en él que se considere que no deberían presentarse.

La caja de aspiración simplemente genera la necesidad de mantenerla en un estado de limpieza óptimo, y de sustituir los filtros de aire en cuanto el vacuómetro marca que el paso de aire ya no es limpio.

Al tratarse de equipos de un elevado precio de ventas en sus componentes, el análisis de vibraciones de motor y caja multiplicadora se presentan como indispensables, para minimizar las intervenciones correctivas sobre la turbosoplante.

3. Soplantes; Este equipo dista mucho del anterior debido a que hace uso de una tecnología más antigua que las turbosoplantes. Se encuentran encerradas en cabinas por dos motivos, debido al

ruido que genera su régimen normal de funcionamiento, y para preservar que ningún operario pueda llegar a tener contacto con los elementos de transmisión.

Estos elementos se componen de motor con polea, correas y cuerpo del compresor. El mantenimiento que se ha de realizar es:

- Cambio de aceite del cárter
- Análisis de aceite (si es necesario)
- Estado de las correas
- Estado de las poleas
- Consumos del motor
- Cambio del filtro de aire
- Ruidos de rodamientos

Cabe remarcar que tanto para los aceites de soplantes, turbosoplantes, bombas o reductores, hay que seguir una serie de reglamentos como el MIE-APQ-01 (Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles), Real Decreto 656/2017 (Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10), Real Decreto 656/2017 (Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10), y el MIE-APQ-07 (Almacenamiento de líquidos tóxicos).

## **8.7. Decantación secundaria**

Esta parte del proceso puede denominarse decantación secundaria, o proceso de clarificación. Los elementos principales consisten en los decantadores o clarificadores, encargados de realizar el último tratamiento al agua antes de ser devuelta al medio natural.

Para ello, se hace uso del mismo sistema utilizado en los decantadores primarios, con lo que se consigue realizar un último proceso de cribado del agua. Las partes inferiores de los clarificadores, darán lugar a la necesidad de trasvasar ese residuo hacia la recirculación y purga.

Equipos a tener en cuenta durante este proceso serán los reductores encargados de facilitar el giro del carro del clarificador, caudalímetros, válvulas pic, y las bombas encargadas de la recirculación y purga.

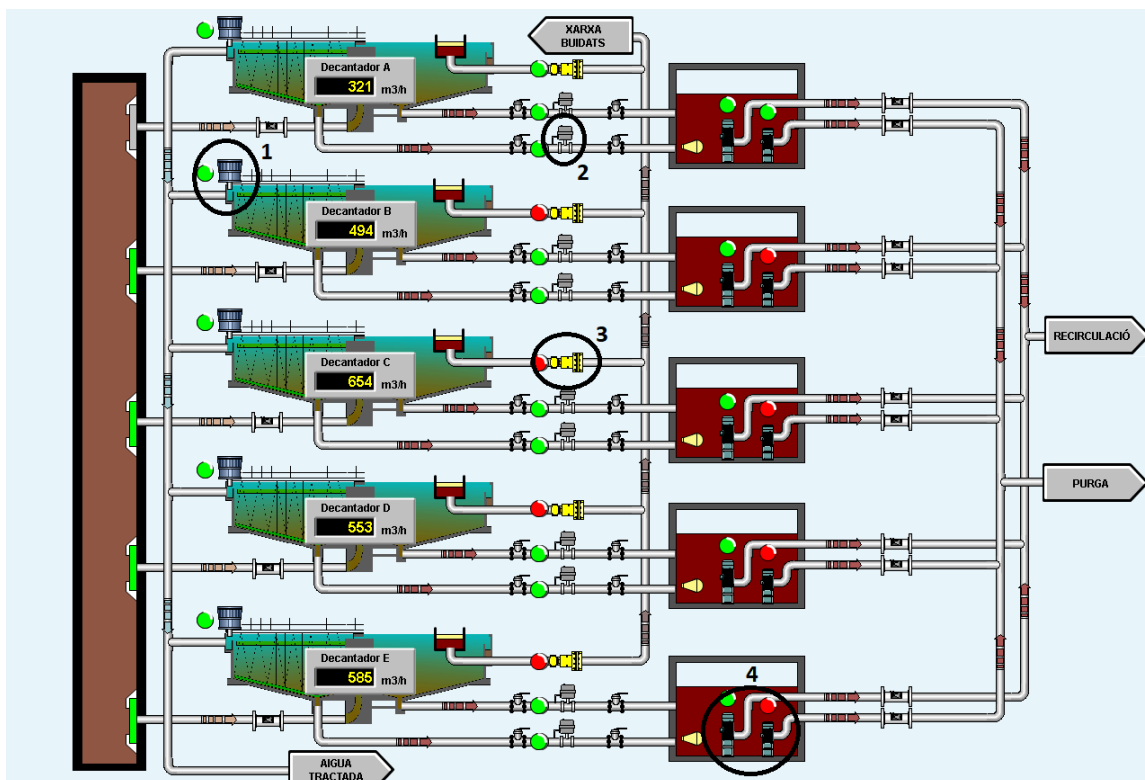


Figura 8.8. Sinóptico Decantación secundaria

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

1. Reductor de las ruedas; El funcionamiento y mantenimiento a realizar sobre este equipo, es idéntico al que demandan los reductores de las ruedas de los decantadores primarios.

La complejidad que comporta la parada de los puentes decantadores, hace inevitable pensar en técnicas que minimicen las intervenciones imprevistas. Una técnica que puede ayudar a dicha optimización de intervenciones consiste en el análisis del lubricante del que están equipados los reductores de las ruedas.

2. Caudalímetros; Se ha optado por marcar estos a modo de ejemplo, pero existen multitud de ellos en toda la EDAR. Su función es evidente, la de mantener un control del caudal que circula en ese momento por la tubería en la que se encuentre instalado. No presenta un mantenimiento específico, puesto que la fallada de dicho componente, suele ser por fallo en la placa electrónica de la que vienen provistos.

3. Válvula pic; El mismo principio de funcionamiento y mantenimiento que las de la decantación primaria.

4. Bombas de recirculación y purga; Como ha pasado con elementos antes comentados, este tipo de bomba no posee una envergadura tal como para tener que realizar un mantenimiento expreso sobre ellas, aunque el hecho de redundar algún equipo no haría más que facilitar las tareas ante una posible avería.

## 8.8. Espesado

En el presente subproceso, se vuelve a la zona de tratamiento de fangos donde se procede al espesado de estos provenientes de la decantación primaria, secundaria, recirculaciones y purga. El resultado de todos los pasos que en él se realizan, resulta en los fangos que serán enviados hacia el digestor.

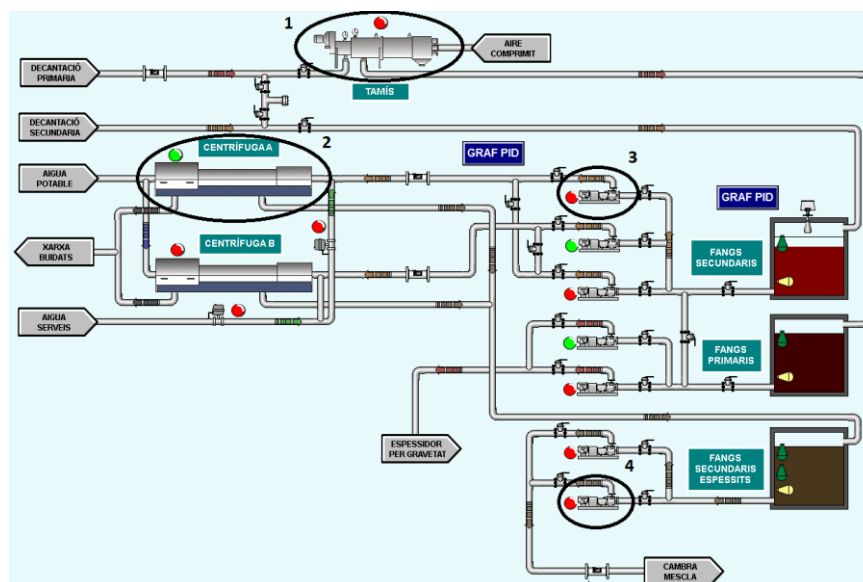


Figura 8.9. Sinóptico Espesado 1

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Tamiz Huber
2	Centrífuga espesadora
3	Bombas de cámara seca
4	Bomba mono

Tabla 8.5. Leyenda del Sinóptico de espesado I

Fuente: Elaboración propia

Pasando a explicar algunos de los elementos que forman parte del subproceso;

1. Tamiz Huber; Consiste en un equipo que hace uso de una prensa, con el fin de obstruir o retener, aquellas partes sólidas que hayan podido quedar en los fangos, todo y siendo tamizados en el pretratamiento. El funcionamiento del tamiz consiste en un tornillo sinfín cónico, situado en el interior de una malla metálica. El giro del tornillo, acompañado del tapón que, mediante fuerza neumática, genera que cree vaya evacuando por una parte los líquidos y por otra las partes sólidas.

El mantenimiento que requiere el equipo será:

- Comprobación de consumos
- Revisión de la parte neumática
- Reajuste y aproximación entre tornillo y malla
- Cambio de aceite del reductor
- Estado de ruido de rodamientos

2. Centrífuga espesadora; Tiene la función de realizar la primera decantación del fango antes de pasar hacia la cámara de espesado. Debido a la complejidad y volumen del equipo, el mantenimiento del mismo suele correr a cargo de una empresa subcontratada debido a que, posee un sistema hidráulico que no admite desajustes y que, por su régimen de trabajo, es un equipo que trabaja a una presión muy elevada. Por ello no quiere decir que, al ser un equipo de las características descritas, se ha de tener una monitorización constante de consumos, presiones, temperaturas o vibraciones.



Algunas normas o reglamentos que este equipo ha de cumplir serían la UNE-EN 982 (Requisitos de seguridad para sistemas y componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas. Hidráulica.), la UNE-EN 983 (Requisitos de seguridad para sistemas y componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas. Neumática.) y el R. D. 2267/2004 (Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales)

3. Bombas de cámara seca; La forma física, así como el funcionamiento y el mantenimiento que estos equipos requieren, es idéntico al de las bombas de cámara seca que se expone en el apartado de la decantación primaria.

4. Bombas mono; S les conoce también como bombas de cavidad progresiva y se presentan muy útiles para el transporte de fangos. Constan de motor-reductor, y cuerpo bomba, el cual es conectado con el reductor gracias a un eje enchufable. El mantenimiento de este equipo solo refiere a la parte del conjunto motor-reductor, puesto que en la bomba no se le puede realizar mantenimiento alguno sin tener que desmontar todo el equipo.

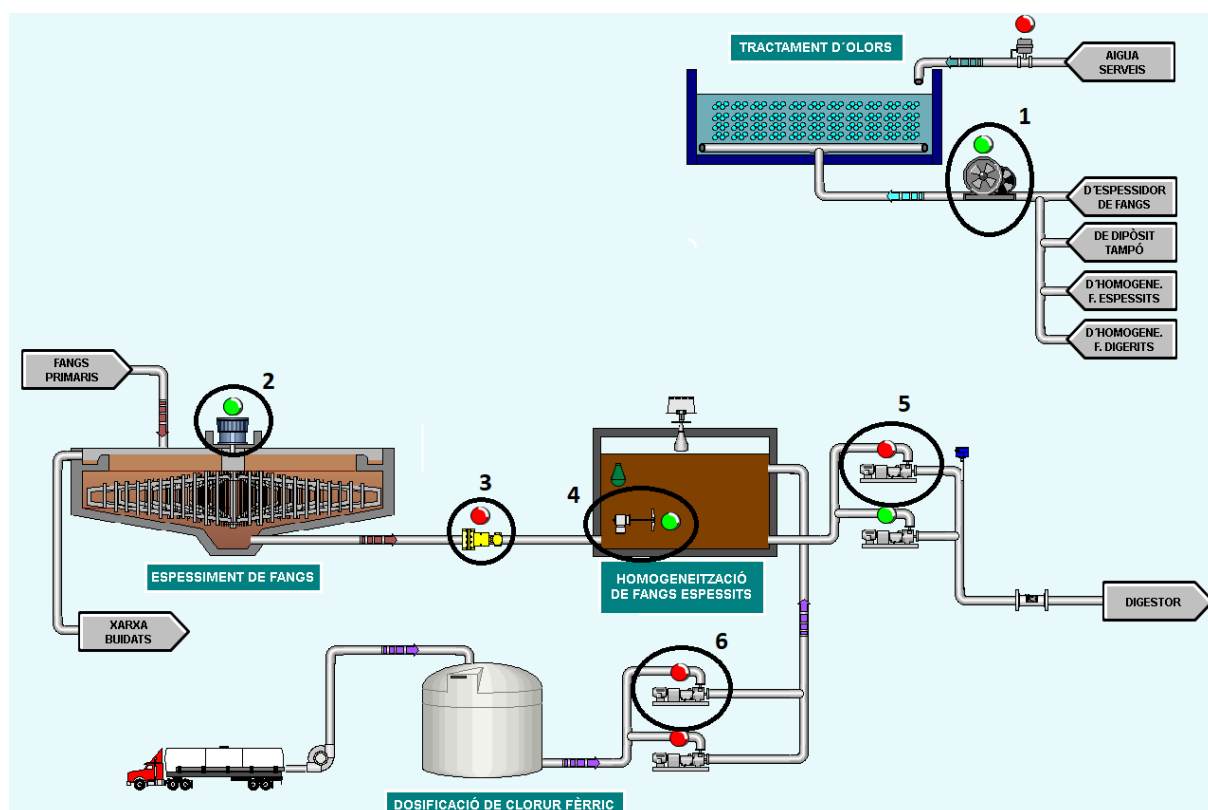


Figura 8.10. Sinóptico Espesado 2

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Ventilador
2	Reductor corona
3	Válvula pic
4	Agitador
5	Bomba mono
6	Bomba de cloruro férico

Tabla 8.6. Leyenda del Sinóptico de espesado II

Fuente: Elaboración propia

En la segunda fase del espesado se obtiene ya la llegada del fango hacia la cámara de espesado. Los equipos que intervienen serían:

1. Ventilador; Se encarga de mitigar los posibles olores que se puedan desprender del tratamiento de los fangos, por ello debe atenerse a la UNE-EN 626-1 y 2 (Reducción de riesgos para la salud debido a sustancias peligrosas emitidas por las máquinas). El mantenimiento a realizar:

- Comprobación de consumos
- Estado de los álabes del ventilador
- Ruido de rodamientos

2. Reductor corona; A diferencia de los decantadores, y debido a los gases que se genera en su interior, en el caso de la cámara espesadora, el movimiento rotatorio lo genera únicamente un reductor central acoplado a una corona.

Entre las acciones que se pueden dar para su mantenimiento son el engrase de las partes móviles, comprobación de consumos, cambio de aceite del reductor (análisis si es necesario), ruidos de rodamientos, estado de vibraciones o temperaturas.

3. Válvula pic; Posee el mismo principio de funcionamiento y mantenimiento que las de la decantación primaria.

4. Agitador; El cometido de este equipo dentro del tanque de homogeneización, no es otro que el de procurar que no quede el fango estancado el depósito. La forma y mantenimiento a realizar no difiere del que tienen los agitadores descritos en la zona de reactores biológicos.

5. Bomba mono; El ejemplo de la importancia de estandarización de los equipos, se puede observar en estos mismos. Son el mismo tipo y modelo de bomba que el existente en la zona de espesado I. Facilitando los recambios y disposición de mantenimiento.

6. Bomba de cloruro férrico; Dosifican cloruro férrico, con el fin de deshacerse del fósforo que se genera durante el proceso. Son bombas de tamaño muy reducido, accionadas por membranas, las cuales no poseen un mantenimiento específico, puesto que las reparaciones de las mismas conllevan el mismo tiempo que la realización de mantenimiento previo. Así como un coste de reparación no muy elevado.

## 8.9. Digestión

Procesados ya los fangos por la zona de espesado, llega el momento de la zona de digestión. Cabe remarcar que toda esta zona se toma como zona ATEX.

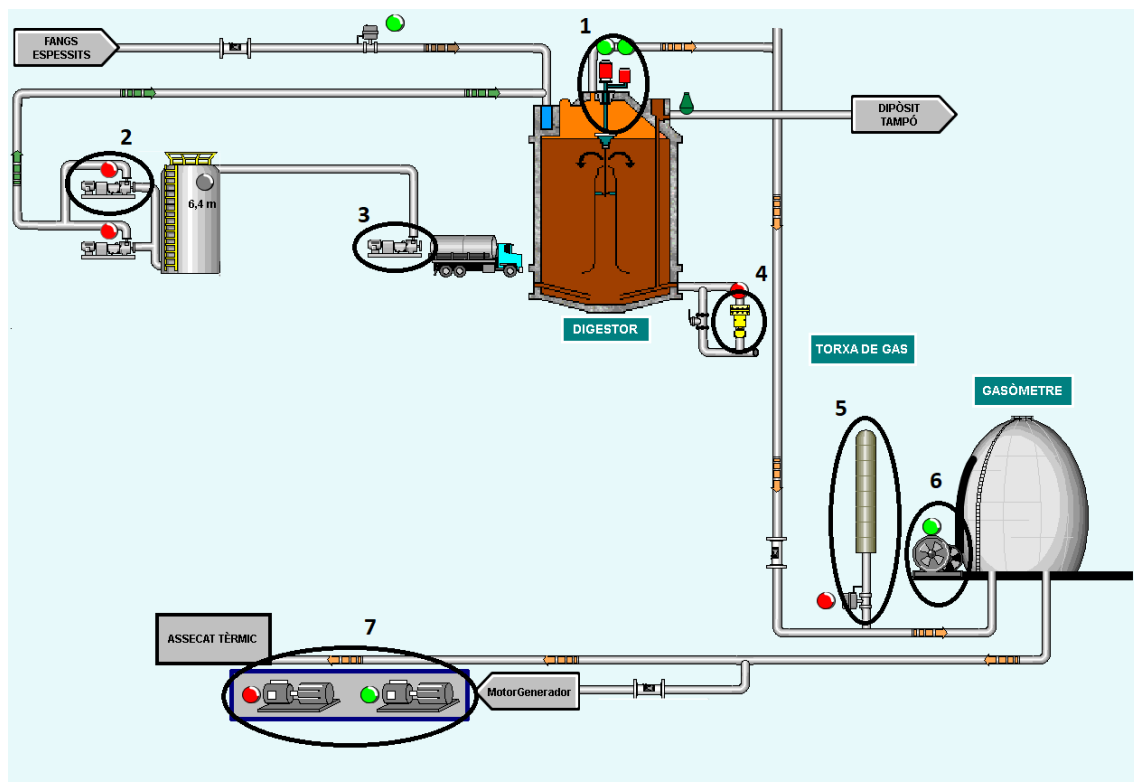


Figura 8.11. Sinóptico Digestión

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Agitador digestor
2	Dosificadora subproducto
3	Carga subproducto
4	Válvula pic
5	Antorcha de gas
6	Ventilador gasómetro
7	Motor generador

Tabla 8.7. Leyenda del Sinóptico de digestión

Fuente: Elaboración propia

Se pasa a la enumeración y exposición de los elementos que componen esta parte del proceso:

1. Agitador digestor; Mantiene el elemento existente en el interior del digestor en continuo movimiento. El mantenimiento de este equipo se realiza en ocasiones muy contadas, debido a que, para poder manipular cualquier elemento del digestor, teniendo en cuenta que puede quedar expuesto al aire, se ha de inertizar previamente con nitrógeno. Una vez realizada esta acción, el mantenimiento a realizar no difiere del realizado al reductor de la corona de la cámara de espesado.

La intervención sobre el agitador supone la parada de parte del proceso, así como el gasto de una importante suma de dinero tanto en elemento de reposición, así como en los equipos intervinientes en la reparación, como pudieran ser grúas o transportes especiales.

Por esta razón, monitorizar el estado de vibraciones, proporciona aquella información necesaria como para anticiparse ante una posible avería. Optimizando los recursos que se emplean para el mantenimiento del agitador.

2. Dosificadora subproducto; Se hace uso del subproducto proveniente de deshecho de alcoholes de farmacéuticas, para enriquecer el gas que genera el digestor. El equipo consiste en una bomba mono de menores dimensiones que las anteriormente expuestas, pero con el funcionamiento y mantenimiento exactamente idénticos.

3. Carga subproducto; Bomba de cámara seca que se encarga de trasvasar el subproducto transportado en camiones, al silo habilitado a tal efecto. Tiene el mismo plan de mantenimiento que las bombas de cámara seca del anillo repartidor.
4. Válvula pic; Posee el mismo principio de funcionamiento y mantenimiento que las de la decantación primaria.
5. Antorcha de gas; Se encarga de la quema del gas sobrante que ya sea porque el motor-generador no tiene más capacidad, o porque este se encuentre averiado. El mantenimiento consiste en realizar una prueba del funcionamiento de la antorcha cada cierto tiempo y comprobar que no existan fugas.
6. Ventilador gasómetro; Mantiene la cúpula del gasómetro en pie, creando un espacio entre ésta y la interior que contiene el gas. El mantenimiento a realizar es el mismo que el que posee el ventilador del tratamiento de olores, pero con la complicación que, para intervenir sobre este, es necesario paralizar todo el proceso de generación de gas.
7. Motor generador; Es el responsable de generar electricidad a partir del gas generado. Al igual que las centrífugas espesadoras, su mantenimiento se encuentra externalizado.

## **8.10. Deshidratación**

En esta fase del proceso, se realizará la separación física del fango y el agua. Para poder llevar a cabo dicha tarea, se hará uso del fango digerido, añadiéndole polielectrolito, para pasar finalmente a las centrífugas que, realizarán la separación comentada.

Una vez el fango se encuentra separado, es enviado mediante unas bombas al silo, de donde se cargará posteriormente el camión que pasará la carga al secado térmico, o directamente a abono de campos de cultivo.

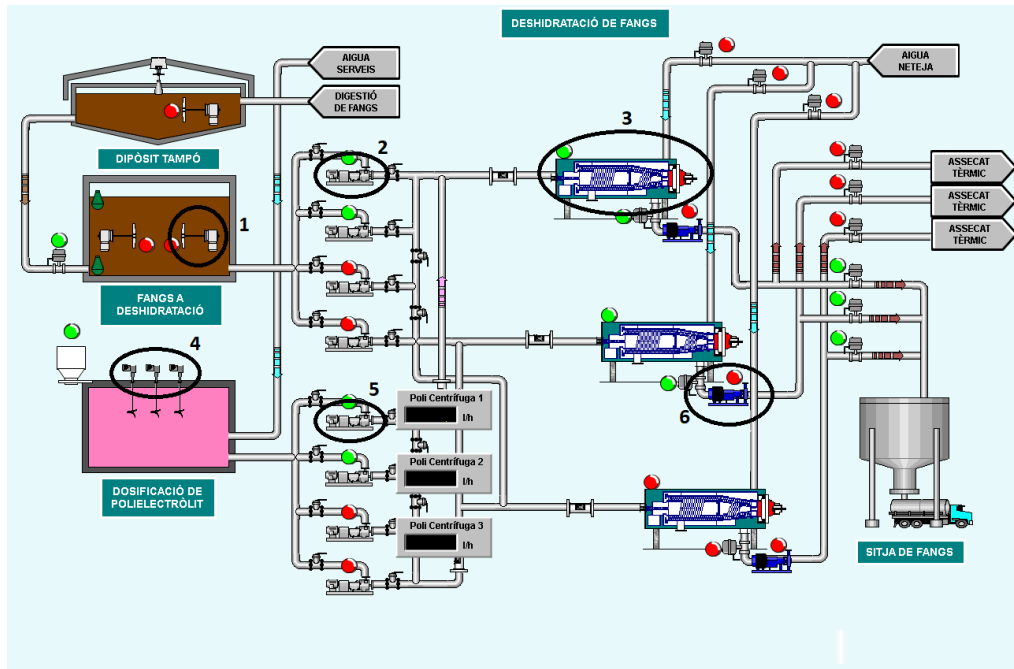


Figura 8.12. Sinóptico Deshidratación

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

Nº	Descripción
1	Agitador
2	Bomba fango a centrífuga
3	Centrífuga
4	Agitador de poli
5	Bomba de poli
6	Bomba a silo

Tabla 8.8. Leyenda del Sinóptico de deshidratación

Fuente: Elaboración propia

Al igual que se ha comentado sobre las bombas de entrada, las centrífugas son elementos que fácilmente pueden derivar en cuello de botella del proceso. Por esa razón es importante monitorizar los valores de trabajo, así como implantar el uso de diagramas Ishikawa, y posteriores Paretos, para acotar posibles causas de averías.

Los elementos que intervienen en esta parte del proceso:

1. Agitador; Equipos que se encuentran en el interior del pozo de fango a deshidratación y en el tampón. Son del mismo tipo, y tienen el mismo plan de mantenimiento que los agitadores existentes en los reactores o en el homogeneizador.

2. Bomba fango a centrífuga; Son bombas del tipo mono y poseen las mismas características constructivas y de mantenimiento que las bombas de las zonas de espesado I y espesado II.

3. Centrífuga; Mediante el aporte al fango de una mezcla de polielectrolito y agua, realiza la última decantación que se realizará en el proceso. Atendiendo a la concentración de poli y al estado del fango, se obtendrán unos resultados de sequedad final del fango distintos.

Este equipo requiere de un mantenimiento elevado, dado que, por su tipo de funcionamiento, presenta un desgaste muy elevado de sus elementos. En este mantenimiento se atendería a:

- Comprobación de consumos
- Estado de correas
- Estado de poleas
- Ruidos rodamientos
- Vibraciones
- Temperaturas
- Engrase periódico

4. Agitador de poli; Homogeniza la mezcla de agua y polielectrolito. El mantenimiento a realizar es casi nulo, debido a que, al ser un componente tan pequeño no permite, ni siquiera el cambio de aceite sin desmontar el conjunto.

5. Bomba de poli; Una vez realizada la mezcla, esta bomba se encarga de suministrar dicha mezcla a la centrífuga. La forma y mantenimiento de la bomba es la misma que las bombas mono comentadas anteriormente.

6. Bomba a silo; Es la encargada de finalizar el proceso de deshecho de los residuos de fango, haciéndolos llegar al silo. Esta bomba todo y siendo una bomba tipo mono, tiene consideraciones especiales que las demás no tienen. Una de ellas consiste en sus dimensiones, las cuales hacen que su maniobrabilidad sea muy complicada. Otra consiste en que anterior a la zona de empuje del fango, está provista de otro tornillo sinfín que prepara el fango proveniente de la centrífuga para poder darle el empuje necesario.

A parte del mantenimiento que se realiza sobre las bombas mono normalmente, este modelo precisa de la comprobación de consumos y ruidos de un ventilador auxiliar que posee en la parte posterior de la bomba.

## 8.11. Agua tratada

Punto final, en cuanto a la parte líquida se refiere, del tratamiento del agua. Es aquí donde el agua acaba abandonando la EDAR para incorporarse al medio, como el río, o para regadíos específicos, como este caso para el regadío de una zona recreativa como es un campo de golf.

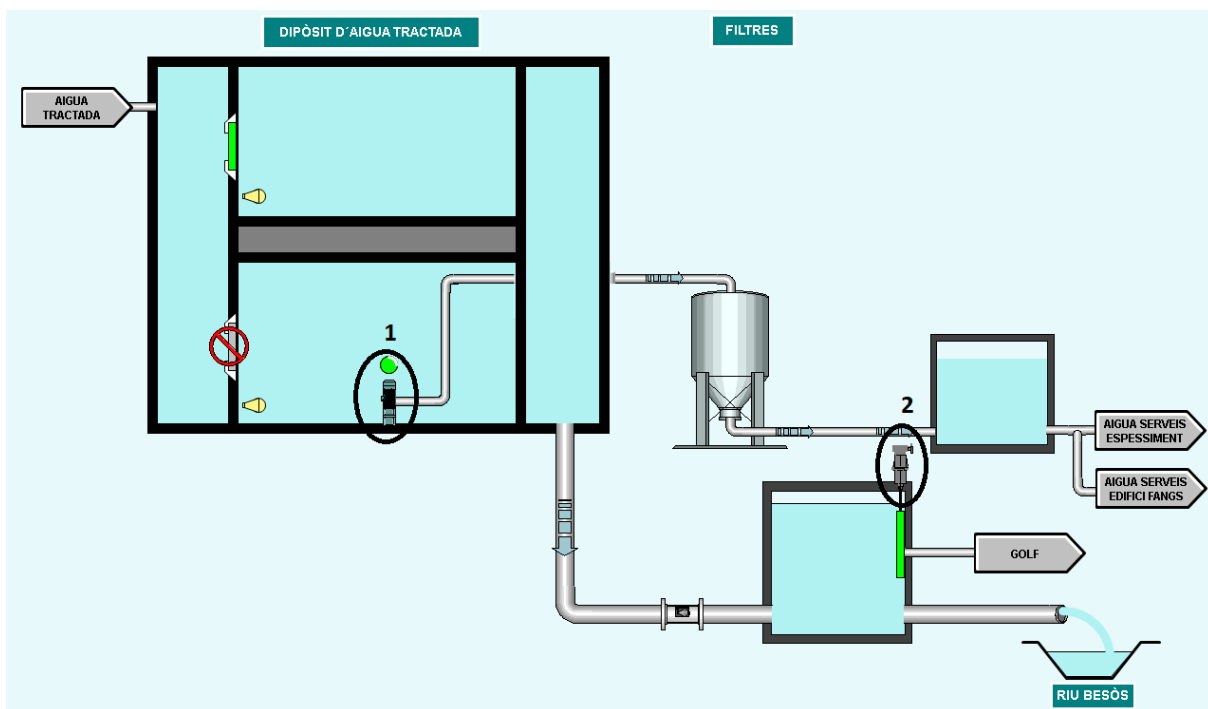


Figura 8.13. Sinóptico Agua de salida

Fuente: EDAR Montornés del Vallés

No son muchos los equipos que intervienen en este proceso final, puesto que solo se centra en el trasvase del agua tratada.

1. Bombas de agua de salida; Como su propio nombre indica, será la encargada de hacer circular el agua desde el depósito de agua tratada, hasta el exterior de la planta. El sistema de mantenimiento de este equipo se presentaría semejante al de las bombas de vaciados, ya que su reparación significa un coste muy bajo en relación al precio de asignarle un preventivo.



2. Compuerta de salida; En este caso, ésta únicamente se acciona cuando el campo de golf determina que necesita hacer uso del agua para abastecer su regadío.

Aunque no aparezca en la imagen, es importante remarcar que, todas las EDARs mantienen una llave de paso de agua hacia máquinas como las centrifugas (hacen uso de ella para el lavado), que se pueden abastecer tanto de agua potable, como de agua de servicios o tratada. Esto puede llegar al caso (se tienen documentados varios casos) que, exista una equivocación en el juego de llaves de las válvulas y, en zonas como servicios, duchas o comedores, se reciba agua tratada en lugar de la potable. Esto es totalmente inadmisibile, ya que el agua tratada no es apta en ningún caso para el consumo humano.

Para que este hecho no pueda suceder, se habría de instalar un dispositivo en la válvula que no diera lugar a confusión alguna. Dando paso a lo que se conoce como Poka-Yoke, que solo ofrece una forma de realizar una tarea, imposibilitando lo contrario, para no dar lugar a equivocaciones como la comentada.

## **8.12. Herramientas Lean de uso global durante el proceso**

Para un buen funcionamiento del proceso ha de encontrarse parcial o totalmente monitorizado. Con el fin de obtener una monitorización óptima y útil, es imprescindible establecer unos parámetros o índices con los que poder comparar los valores obtenidos. En este punto entran en escena los KPIs, los cuales darán la posibilidad de cuantificar la bondad o defecto de los valores conseguidos.

Uno de los principales cuellos de botella existentes en el mantenimiento, consiste en la posible rotura de stock de ciertos recambios. Para que este hecho no ocurra, se emplearía la técnica Kanban, con la que, una vez bien implantada, facilita enormemente la tarea de búsqueda e inventariado de material.

Esta toma de datos, y trasferencia de los mismos hacia una base conjunta para su posterior tratamiento, se hace mucho más liviano mediante el uso del IoT. Ya que al posibilitar la interconexión de los equipos que intervienen en el proceso, concede el uso, tratamiento y análisis de los datos a tiempo real. Para abastecer y tratar este volumen de datos se acudiría al uso del Big Data, pudiendo así abarcar un rango muy elevado de valores.

No cabe decir que, para que todo lo expuesto pueda llevarse a cabo, es imprescindible mantener un orden y limpieza como el que las 5s marca. Posibilitando la optimización de tiempos, recursos y espacios. Dando conformidad al mismo tiempo a normas como la UNE– EN ISO 14122, que atiende a los medios de acceso permanentes a máquinas, o al reglamento MIE-APQ-05, que regula sobre el almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.

En cuanto a seguridad se refiere, se seguirán las normas o reglamentos establecidos, como la UNE– EN 12100, que se refiere a la evaluación del riesgo y reducción del riesgo, o el R. D. 1215/1997, que se refiere a las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Se establecerán mecanismos para cumplir con reglamentos como el R.D. 842/2002, Reglamento electrotécnico para baja tensión o el R.D. 1890/2008, Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.

## 9. Planificación

Para llevar a cabo la planificación del presente proyecto, se ha realizado la partición del mismo en dos unidades. La primera, referente al anteproyecto y la segunda atiende al tiempo empleado para elaborar el proyecto de detalle.

Por tal de tener una correcta planificación del proyecto, ha sido necesario atender tanto a las tareas, como a los recursos de personal que se precisarán para realizarlas. Para cada tarea se ha asignado un tiempo que aproxima la dedicación que precisa. De esta manera, se puede alcanzar unos resultados de tiempos finales que, aporten información bastante certera del tiempo real de realización. En la presente tabla se puede observar los tiempos totales del proyecto, atendiendo al anteproyecto y al proyecto de detalle.

<b>Duración</b>	
Anteproyecto	160 h
Proyecto de detalle	240 h
Total	400 h

Tabla 9.1. Duraciones totales del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Las duraciones expuestas podrán verse alteradas tanto en cuanto pueda originarse alguna variación de las tareas a realizar. Estas variaciones y/o correcciones, vendrán generadas por las decisiones que surjan de las reuniones periódicas que se realicen con el ponente. De ahí se podrá realizar algún cambio del camino o duración de las tareas que producirá, consecuentemente, una variación del tiempo final del proyecto.

## 9.1. Planificación del anteproyecto

Para realizar la planificación referente al anteproyecto se ha distribuido el tiempo del que se dispone para la entrega, manteniendo siempre un margen de seguridad entre la fecha oficial límite de entrega, y la fecha de entrega del presente proyecto.

Las fechas entre las que se realizará el anteproyecto estarán entre el 18/10/18 y el 23/01/19 como fecha de entrega, dando lugar a 208 horas empleadas. Seguidamente se muestra la tabla con las horas y fechas asignadas a la realización del anteproyecto.

Código	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras	Comienzo	Fin
1	Anteproyecto	160 horas	...	18/10/18	07/02/19
1.1	Planificación	5 horas	...	18/10/18	19/10/18
1.2	Descripción del objeto	10 horas	1.1	22/10/18	25/10/18
1.3	Antecedentes y necesidades de información	30 horas	1.2	29/10/18	12/11/18
1.4	Alcance	5 horas	1.3	13/11/18	15/11/18
1.5	Objetivos y especificaciones	20 horas	1.4	19/11/18	27/11/18
1.6	Planteamiento de alternativas	4 horas	1.5	28/11/18	29/11/18
1.7	Análisis de viabilidades	40 horas	1.6	03/12/18	21/12/18
1.8	Desarrollo de la solución	10 horas	1.7	02/01/19	07/01/19
1.9	Presupuesto	5 horas	1.8	11/01/19	14/01/19
1.10	Edición del documento	30 horas	...	18/10/18	06/02/19
1.11	Entrega del anteproyecto	1 horas	1.10	07/02/19	07/02/19

Tabla 9.2. Planificación del anteproyecto

Fuente: Elaboración propia

Las ocupaciones en las que se trabaja en cada una de las tareas expuestas en la tabla se comentarán a continuación.

- *Planificación*

Se lleva a cabo una aproximación de las duraciones que las tareas a realizar necesitan. Para poder realizar la planificación se hará uso de la herramienta Microsoft Project, perteneciente al paquete de herramientas de edición Microsoft Office.

- *Descripción del objeto*

Se presenta el fin que el presente proyecto persigue, dando respuesta a la cuestión planteada. En este caso, la optimización del mantenimiento en las EDARs.

- *Antecedentes y necesidades de información*

Se lleva a cabo la búsqueda de todo aquello referido al tema que compete, atendiendo a la utilidad de la información a recoger.

Los temas que se trabajan comprenden los conceptos de EDAR, Lean manufacturing e industria 4.0.

- *Alcance*

Con la información recabada, llega el momento en el que se acota los márgenes entre los que trabajará el proyecto. Definiendo que tareas se llevarán a cabo, y cuales quedan excluidas del mismo

- *Objetivos y especificaciones técnicas*

Muestra de propósitos principales que se persiguen con la consecución del proyecto. Con un breve comentario para cada uno de ellos. Estableciendo posteriormente un listado de las herramientas de las que se harán uso a la hora de establecer como se dará solución a cada uno de los objetivos planteados.

- *Planteamiento de alternativas*

Proyección del marco en el que se encuadra el estudio en el que el proyecto se centra. Dando lugar a la muestra de los ámbitos en los que las especificaciones técnicas trabajarán. Mostrando los entornos de los mantenimientos correctivo, preventivo, predictivo, de mejoras, legal y de obra civil.

- *Análisis de viabilidades*

Elaboración de los análisis de viabilidad técnica, económica y medioambiental. En la técnica, se otorgará el sentido a todas las herramientas que las especificaciones técnicas han proporcionado. Pasando por la económica, donde se estudiará la utilidad de la optimización propuesta. Llegando finalmente a la ambiental, que dará cuenta del impacto que el proyecto puede o no causar en el medioambiente.

- *Desarrollo de la solución*

Muestra gráfica de la solución que se propone según el estudio realizado. Vista generada con el formato de mapa conceptual.

- *Presupuesto*

Siendo conocedores de las tareas a realizar, y de los recursos que cada una de ellas requiere, se realiza una estimación del coste del anteproyecto.

- *Edición de documento*

Período en el que se editará el documento que, a posterior derivará en el anteproyecto. Todo y que, mientras se avance en la búsqueda de información, se irá actualizando los documentos que conformen el anteproyecto.

- *Entrega del anteproyecto*

Ofrecimiento del documento final realizado, con el fin de la evaluación del mismo.

## **9.2. Planificación del Proyecto de Detalle**

Para poder establecer un plan con el que trabajar una vez finalizado el anteproyecto, se marcan las fechas, sobre las que realizar las tareas pertenecientes al proyecto y preparación para la defensa del mismo.

Estas fechas siempre tendrán como fecha límite, una data anterior a la que oficialmente se muestra como límite. Aquí se puede observar la tabla con las duraciones de dichas tareas.

Código	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras	Comienzo	Fin
1.12	Corrección del Anteproyecto	20	1.11	25/02/19	08/03/19
1.13	Revisión de antecedentes	5	1.12	04/03/19	08/03/19
1.14	Objetivos del proyecto	5	1.13	11/03/19	13/03/19
1.15	Análisis de tendencias en el mantenimiento	10	1.14	11/03/19	14/03/19
1.16	Tipos de mantenimiento	5	1.15	15/03/19	20/03/19
1.17	Herramientas Lean a utilizar	3	1.16	15/03/19	22/03/19
1.18	Objetivos de detalle i especificaciones técnicas	4	1.17	11/03/19	20/03/19
1.19	Metodología del mantenimiento	30	1.18	21/03/19	01/04/19
1.20	Impacto ambiental	7	1.19	02/04/19	05/04/19
1.21	Anexos	3	1.20	05/04/19	10/04/19
1.22	Planificación	10	1.12	25/02/19	08/03/19
1.23	Estudio económico	10	1.22	11/03/19	16/04/19
1.24	Conclusiones	6	1.23	17/04/19	19/04/19
1.25	Edición de la memoria intermedia	20	1.12	25/02/19	19/04/19
1.26	Entrega de la memoria intermedia	1	1.25	22/04/19	22/04/19
1.27	Corrección de la memoria intermedia	20	1.26	29/04/19	10/05/19
1.28	Casos prácticos de procesos Lean	20	1.27	13/05/19	21/05/19
1.29	Cierre del proyecto	8	1.28	22/05/19	31/05/19
1.30	Edición del proyecto	30	1.29	29/04/19	04/06/19
1.31	Impresión del proyecto	2	1.30	05/06/19	07/06/19
1.32	Entrega del proyecto	1	1.31	10/06/19	10/06/19
1.33	Preparación de la presentación	10	1.32	12/06/19	24/06/19
1.34	Preparación soporte visual para la presentación	10	1.33	17/06/19	24/06/19

Tabla 9.3. Planificación del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Las ocupaciones en las que se trabaja en cada una de las tareas expuestas en la tabla se comentarán a continuación.

- *Corrección del anteproyecto*

Período en el que se modificará o enmendará posibles errores o defectos que el anteproyecto pueda albergar. Dando lugar a poder empezar a trabajar en la parte de la memoria intermedia.

- *Revisión de antecedentes*  
Reestructuración de antecedentes y necesidades de información, útiles para la comprensión del presente documento.
- *Objetivos del proyecto*  
Definición del propósito, finalidad, objeto, alcance y contexto, que sientan las bases del presente proyecto.
- *Análisis de tendencias en el mantenimiento*  
Estudio de los cauces sobre los que el sector del mantenimiento se mueve a día de hoy.
- *Tipos de mantenimiento*  
Muestra de los diferentes tipos de mantenimiento que pueden darse en el ámbito de las EDARs.
- *Herramientas Lean a utilizar*  
Recopilación de ejemplos de herramientas útiles para el mantenimiento, que la Filosofía Lean aporta.
- *Objetivos de detalle y especificaciones técnicas*  
Concreción de los objetivos finales del proyecto y de las especificaciones técnicas que pueden facilitar la consecución de los mismos.
- *Metodología del mantenimiento*  
Estudio de la maquinaria que interviene en los procesos de depuración, y análisis de herramientas Lean a utilizar en el mantenimiento de las mismas.
- *Impacto ambiental*  
Análisis de los posibles contratiempos que el proyecto puede generar sobre el medioambiente.
- *Anexos*



Recopilación de documentos que, por su naturaleza, todo y tener relevancia, carecen de la trascendencia necesaria para introducirlos en el cuerpo del proyecto.

- *Planificación*

Tarea de cuantificación del tiempo a emplear en todas y cada una de las tareas a realizar, ofreciendo unos órdenes específicos de precedencia, así como

- *Estudio económico*

Análisis de los costes generados por el proyecto, así como el estudio de rentabilidad del mismo, examinando las posibles desviaciones padecidas, así como sus posibles consecuencias.

- *Conclusiones*

Concreción de las reflexiones que el proyecto haya podido suscitar, dando paso a la presentación de futuras líneas de trabajo, y analizando las desviaciones que hayan podido producirse.

- *Edición de la memoria intermedia*

Aunque durante todo el proceso se vayan realizando tareas de edición del documento, se destinará un período en que se ensamble, edite y asegure que el documento de la memoria intermedia se encuentra correctamente.

- *Entrega de la memoria intermedia*

Acción de transferencia del documento vía telemáticamente.

- *Corrección de la memoria intermedia*

Período en el que se modificará o enmendará posibles errores o defectos que la memoria intermedia pueda albergar. Dando lugar a poder empezar a trabajar en la parte final del proyecto.

- *Casos prácticos de procesos Lean*  
Presentación de diversos casos de mantenimiento en el que el uso de dichas herramientas, ofrecerán una optimización del proceso, ya sea por productividad, por tiempo, o por coste.
  
- *Cierre del proyecto*  
Estudio del grado de conformidad prefijada en los objetivos del proyecto, atendiendo también, al análisis de cumplimiento de los límites fijados en el alcance del documento.
  
- *Edición del proyecto*  
Aunque durante todo el proceso se vayan realizando tareas de edición del documento final, se destinará un período en que se ensamble, edite y asegure que el documento se encuentra en el formato requerido.
  
- *Impresión del proyecto*  
Llevar a cabo la impresión del documento mediante el servicio externo prestado por una imprenta colaboradora.
  
- *Entrega del proyecto*  
Acción de transferencia del documento finalizado, tanto vía telemática, como físicamente, entregando el documento impreso.
  
- *Preparación soporte visual para la presentación*  
Se confeccionará la presentación PowerPoint, la cual será el soporte de ayuda a la exposición de la defensa del proyecto.
  
- *Preparación de la presentación*  
Elaboración de la guía con la que poder llevar a cabo la defensa del proyecto. Guía que deberá estar interconectada con la presentación visual PowerPoint que se elaborará en el paso anterior.

Las tareas que se encuentran simultaneadas entre sí, se prestan posibles, debido a que el recurso que se empleará en ellas no hará uso del 100 % de la jornada a una tarea en cuestión.

De tal manera que, con la planificación propuesta, se obtiene que el comienzo de la ejecución de la memoria intermedia está fechado para el 25/2/19. Teniendo en cuenta que, la memoria intermedia y el proyecto de detalle albergarán una duración estimada de 240 horas.

Esta entrega deberá ser realizada a data del 10/6/19, para pasar posteriormente a la preparación de la presentación que culminará con la defensa del presente proyecto.

## 9.3. Diagrama de Gantt

### 9.3.1. Anteproyecto

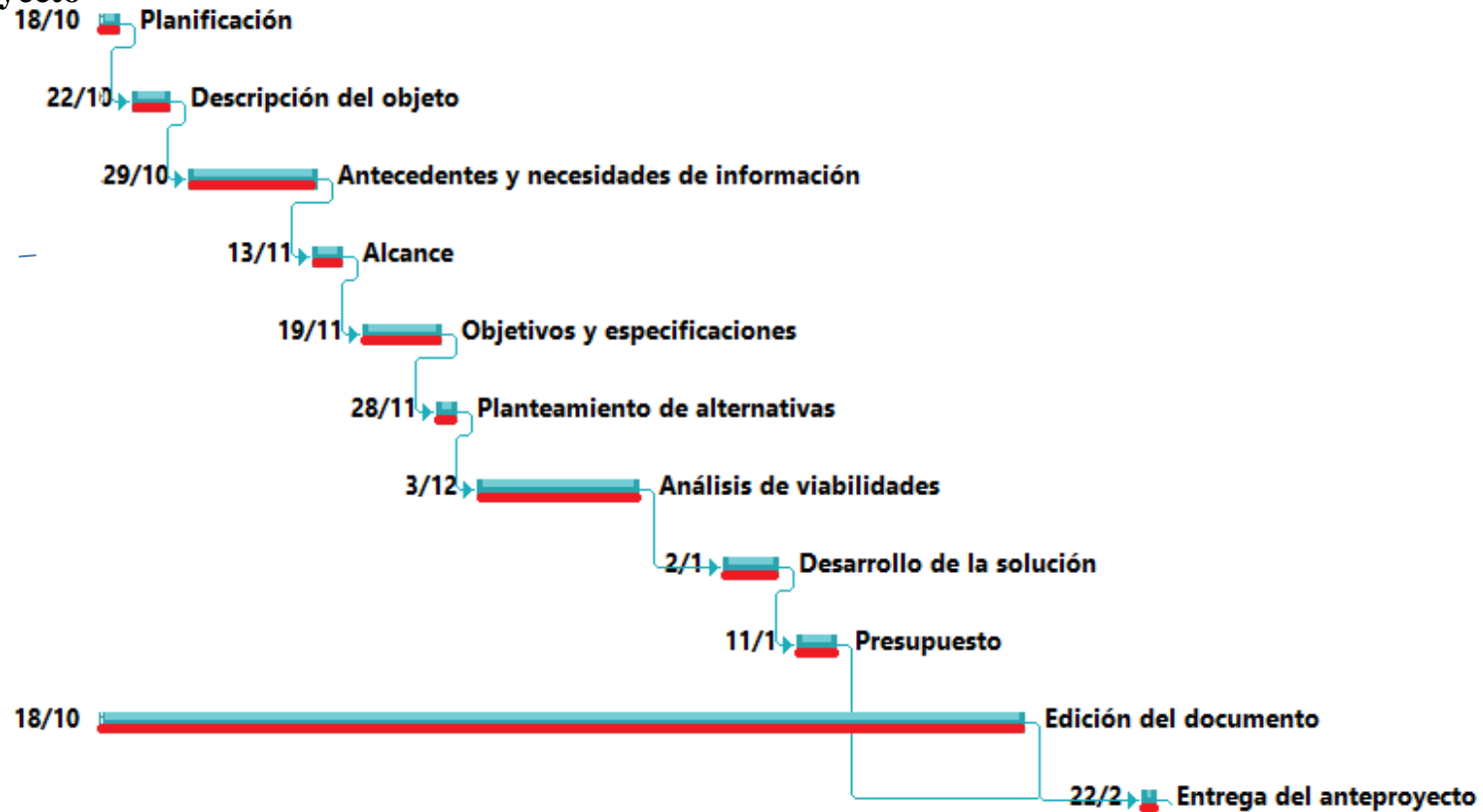


Figura 9.1. Diagrama de Gantt del Anteproyecto

Fuente: Elaboración propia

## 9.3.2. Proyecto de detalle

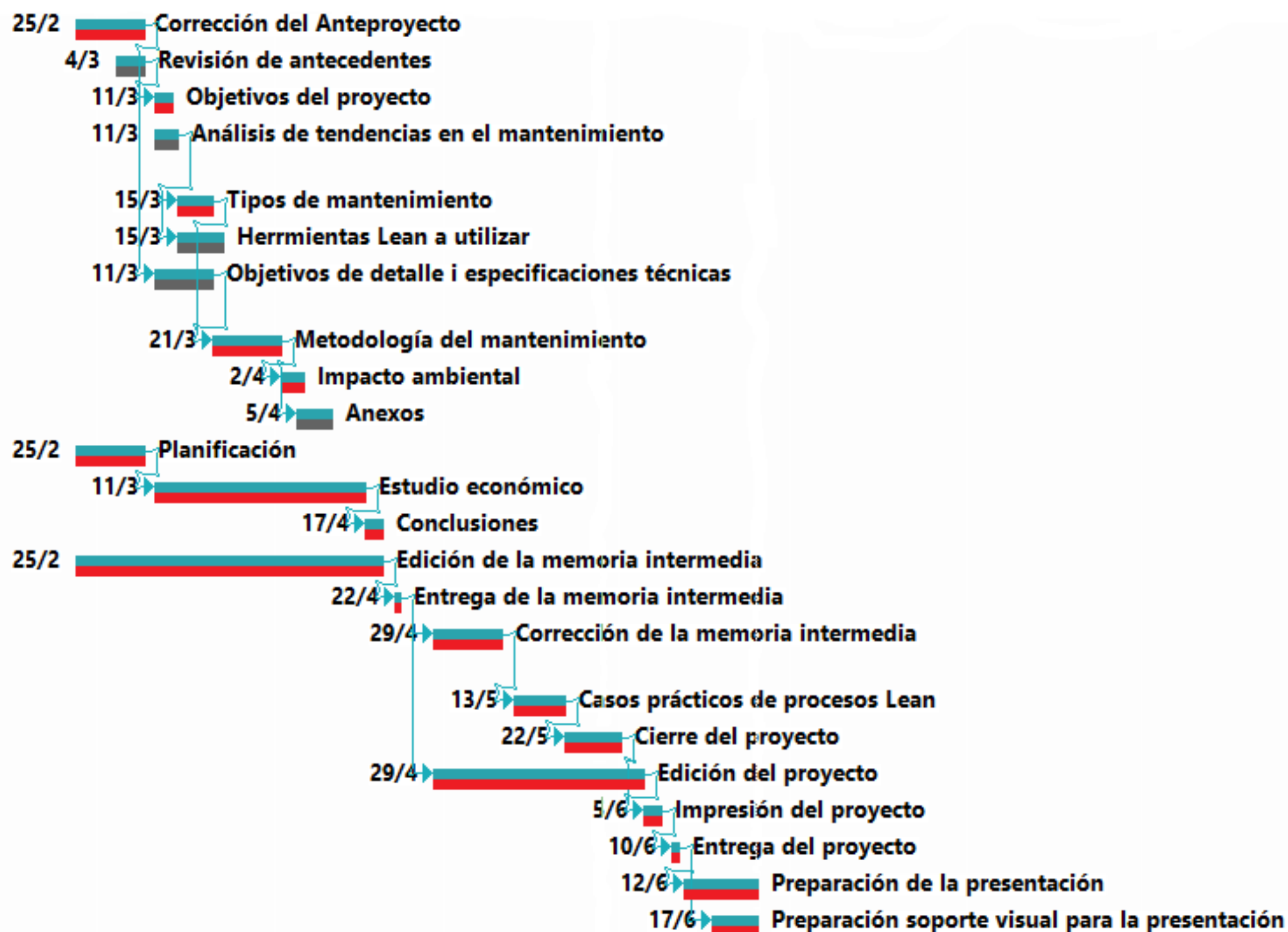


Figura 9.2. Diagrama de Gantt del proyecto de detalle

Fuente: Elaboración propia



## 10. Impacto ambiental

En el presente apartado se intenta exponer el impacto que la realización del presente proyecto puede causar, ya sea por los beneficios que pueda aportar, así como los posibles inconvenientes que de él se puedan derivar. Se ha llevado a cabo el estudio de las tablas de impacto ambiental, con las que baremar la posible repercusión del proyecto sobre el medioambiente. Los resultados pueden consultarse en el Anexo I.

### 10.1. Acuerdo de París

Tras dos décadas de negociaciones, en diciembre de 2015, 195 naciones pactaron llevar a cabo la limitación de los valores de referencia que marcan el calentamiento global, cifrándolo en 2 grados respecto a la etapa anterior a la inclusión de los procesos industriales.

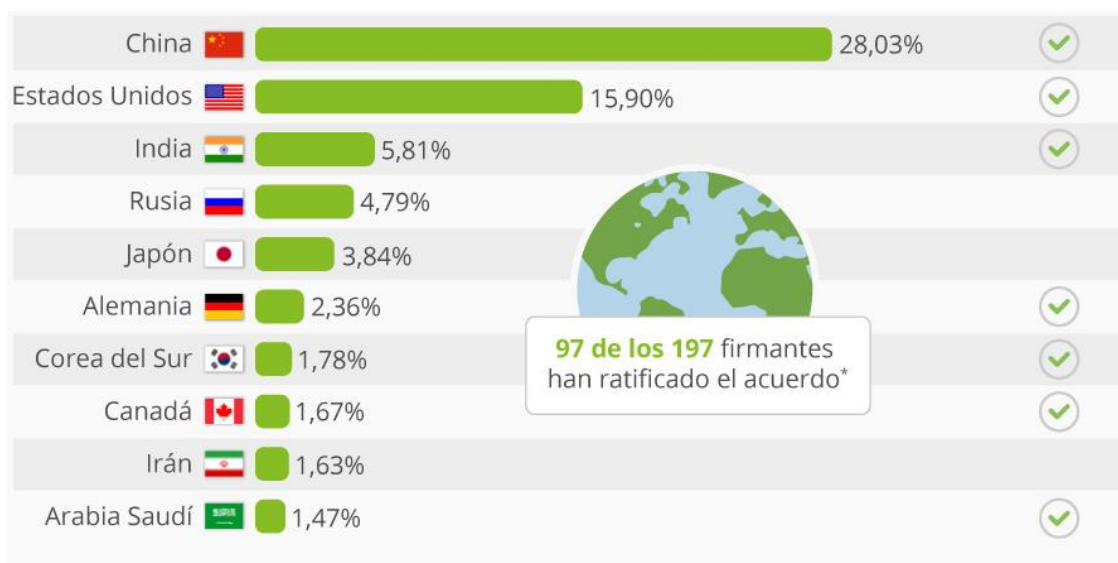


Figura 10.1. Porcentaje de emisiones de CO2 mundiales en 2015

Fuente: [38]

Las condiciones más relevantes tratadas durante el acuerdo de París se resumen en;

- Hacer que no se sobrepase los 2 °C de aumento de temperatura global, incrementando las acciones correctoras poder llegar a conseguir 1,5 °C.
- Trabajar la disminución de las emisiones, intentando alcanzar el cero emisiones netas.

- Los firmantes se comprometen a llevar a cabo los acuerdos que posteriormente a 2020 y cada cinco años, realizar revisiones de las condiciones del acuerdo.
- Se les permite a los países, tratar con la compraventa de las emisiones para motivar que estas disminuyan.
- Las naciones que se encuentren desarrolladas, han de hacerse cargo de parte de la financiación de países en desarrollo.
- Asegurar la cooperación ante el caso de pérdidas irreversibles, todo y que no se marcan las indemnizaciones.

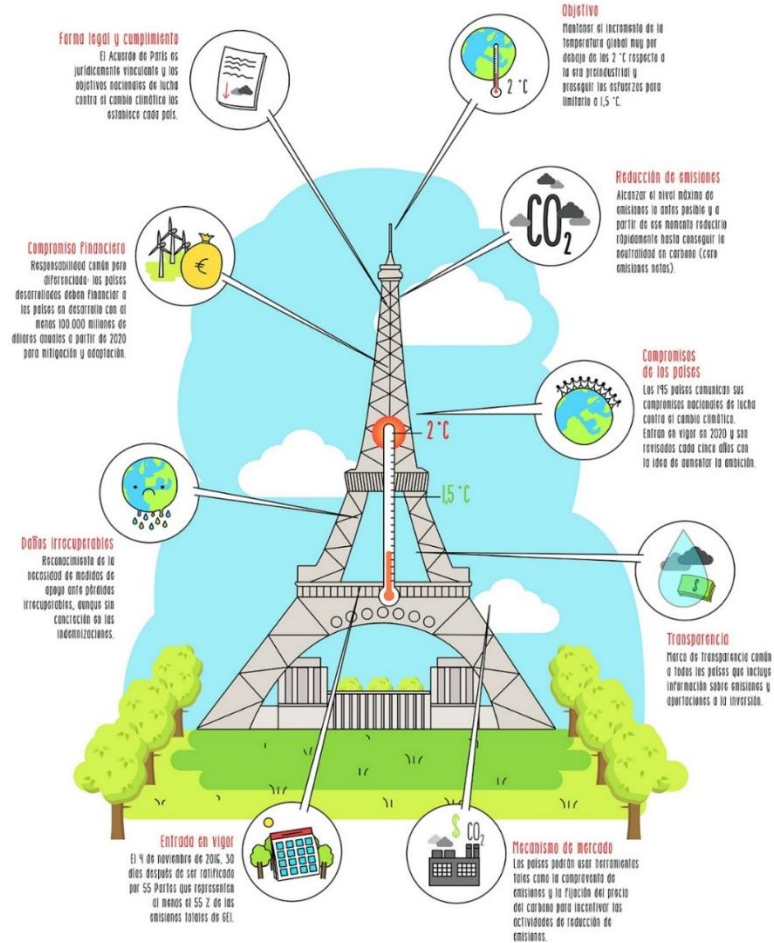


Figura 10.2. Claves del acuerdo de París

Fuente: [39]

El nuevo acuerdo ha dado cuenta que es preciso atender a la obligación y responsabilidad de tomar compromiso con el medioambiente. Muestra de la existencia de una nueva concienciación se encuentra en las palabras extraídas de un diputado europeo, “*Esto ya no es un enfrentamiento entre ricos y pobres, sino entre los que quieren actuar y no*”.



Antiguamente las empresas premiaban únicamente la producción y el poder abastecer a los clientes con la mayor celeridad. Mientras que hoy en día, sin dejar de lado la atención al cliente, se busca ser sostenible con el medioambiente y llevar a cabo una reducción de desperdicios. De ahí la relevancia que presentan las técnicas que propone el Lean Manufacturing [37].

## 10.2. Filosofía Lean y medioambiente

El punto central en el que se basa la filosofía Lean, ya muestra una de las premisas que la concienciación con el medioambiente demanda, la eliminación de desperdicios o actividades que no aportan valor, también conocido como mudas<sup>9</sup>.

Aquí se presentan diferentes divisiones o departamentos, dentro de una empresa, donde el Lean puede producir un beneficio medioambiental:

- *Sobreproducción*

Al evitar la sobreproducción se consigue minimizar tanto la materia prima, como la energía a emplear en la fabricación de productos innecesarios.

La fabricación de demasiados productos puede provocar que estos queden obsoletos, ocasionando que se conviertan en residuos necesarios de eliminar.

Componentes peligrosos o contaminantes usados para la fabricación de determinados productos se ven disminuidos, limitando la sobreproducción.

- *Inventario*

A mayor nivel de inventario, requiere el uso de más material para el embalaje de producto finalizado.

Cabe la posibilidad que el producto acabado pueda llegar a deteriorarse, produciendo desperdicio y ocasionando la necesidad de requerir más materia prima para volverlos a fabricar. Un gran inventario, ocasiona paralelamente, la necesidad de mantener las condiciones óptimas del almacén, para calentarlo, enfriarlo o tenerlo aceptablemente iluminado.

---

mudas<sup>9</sup>; término japonés que significa inutilidad o desperdicio.

- *Transporte*

Racionando y organizando el transporte se puede conseguir la reducción de emisiones derivadas y de la energía.

- *Defectos*

Errores a la hora de la fabricación puede ocasionar el desperdicio del producto acabado, así como la necesidad de nueva materia prima. Y de la energía necesaria para el almacenaje y mantenimiento del producto o materia prima. Más volumen de traslados puede conllevar una elevación de daños y derrames ocasionados durante el transporte. A más transportes, más necesidad de productos de embalaje para la conservación.

- *Esperas*

Un tiempo excesivo entre la fabricación y la entrega, puede causar deterioro del material o de los componentes que lo constituyen. Que en el caso de las materias primas es totalmente evidente, puesto que en muchas ocasiones pueden ser mucho más perecederas. La energía empleada para mantener la materia prima o producto acabado, puede presentarse como un importante desperdicio.

Haciendo uso de las técnicas aportadas por la filosofía Lean, se disminuyen el impacto negativo hacia el ecosistema. Añadiendo a la ecuación que la implantación de la mejora continua del sistema, enriqueciéndolos de mayor eficiencia y ofreciendo la disminución de las materias primas empleadas, hace que la filosofía Lean se presente como una herramienta indispensable para el cuidado del medioambiente, sin descuidar la eficiencia y eficacia de los procedimientos productivos. [40].

### **10.3. Resultados y conclusiones del estudio de impacto medioambiental**

Es evidente que el uso de las EDARs aporta un aumento considerable de la calidad de las aguas, por ello se hace indispensable afirmar que, se presentan como procesos de implantación obligatoria. La rotundidad de esta afirmación se debe a que todo y que es meridianamente claro que ofrece una continua mejora de los ríos en los que se trabaja, por otro lado, la legislación vigente marca claramente la obligación de disponer de estos sistemas de depuración.

No cabe decir que, los ríos son un ejemplo palpable del estado ambiental del territorio en el que se prestan los servicios de depuración. Trabajando las estaciones depuradoras como, el filtro necesario para mantener un nivel aceptable de los ríos.

Los vertidos sobre los colectores o, en el peor de los casos, sobre el mismo río, producen un impacto sobre la flora y la fauna del lugar que, comporta un tiempo excesivamente largo de recuperar a sus niveles de calidad originales.

Un ejemplo evidente y tangible de dicha mejora que las EDARs ofrecen, puede verse en el ejemplo que a día de hoy han experimentado los ríos y afluentes de la Conca del Besós. En ellos, se ha podido certificar que una especie como la nutria ha vuelto a hacer de la Conca del Besós uno de sus lugares donde vivir.

Por lo expuesto, lleva a la conclusión de la idoneidad y necesidad de mantener vivos los procesos de depuración. De esta forma podrán mantenerse los caudales de los ríos, aprovechamiento para los regadíos por parte de los agricultores o, por otra parte, los beneficios que la cogeneración puede ofrecer en cuanto a la generación de energía se refiere.

Seguidamente se muestran las tablas resumen de las acciones impactantes que se pueden generar en las fases de ejecución o construcción, funcionamiento o explotación y de uso. Así como las acciones impactantes que se pueden generar sobre el medio natural o sobre el medio socioeconómico [41].

Acciones impactantes		Observaciones
<b>Fase de Construcción o Ejecución</b>	Durante el estudio, el impacto será mínimo debido a que no se precisa construcción alguna, ni acción sobre el terreno	No se contemplará la ejecución del estudio como una acción impactante
<b>Fase de Funcionamiento o Explotación</b>	Algunos elementos del mantenimiento predictivo necesitarán de la realización de nuevas instalaciones o elemento de medición	Estos únicamente podrían ocasionar la aparición de desperdicios o material sobrante que se gestionará debidamente dependiendo del residuo que sea
<b>Fase de Uso</b>	Las medidas que el Lean Manufacturing ofrece, no harán otra cosa que minimizar los efectos negativos del mantenimiento sobre los equipos	La optimización del proceso generará una disminución de desperdicios y por lo tanto, una menor necesidad de gestión de residuos

Tabla 10.1. Acciones impactantes

Fuente: Elaboración propia

Factor Ambiental		Impacto sobre ...
<b>Medio Natural</b>	Atmosfera	Los únicos gases que se generen, serán reconvertidos o quemados
	Suelo	No sufrirán impacto debido a que, los enclaves de las EDARs ya están consolidados
	Agua	Se verán beneficiadas por el proceso de depuración
	Flora	Se generará una regeneración de la flora local
	Fauna	Muchas especies se verán beneficiadas del aumento de la calidad de las aguas
	Medio perceptual	La mejora sobre el paisaje será evidente
<b>Medio Socioeconómico</b>	Usos del territorio	No alterará el territorio ya que las EDARs ya se encuentran contruidas
	Culturales	Visitas escolares pueden influenciar positivamente en los hábitos de conducta

<b>Factor Ambiental</b>		<b>Impacto sobre ...</b>
<b>Medio Socioeconómico</b>	Infraestructura	Puede experimentar un aumento de los elementos de obra civil con los que se cuenta, debido a demandas mayores de caudal
	Humanos	No debe revestir impacto negativo alguno sobre la población
	Economía i población	La inversión realizada sobre las depuradoras es proporcional al aumento de calidad de las aguas

Tabla 10.2. Acciones ambientales impactantes

Fuente: Elaboración propia



## 11. Conclusiones

Con el presente proyecto, es posible entender, la importancia de las herramientas que el Lean Manufacturing en el sector del mantenimiento. Aunando éstas, con las posibilidades que la industria 4.0 ofrece, resulta un mantenimiento exhaustivo, fiable y eficaz.

Una de las pretensiones que el documento ha intentado, se centra en dar muestra de la exposición de la filosofía Lean, con la finalidad que sea entendible y que se conozcan los beneficios que puede aportar su implantación. El análisis de esta filosofía, acaba haciendo entender que, en cuanto a planificación y/u organización, “está casi todo inventado”, lo que diferenciará un nivel de mantenimiento del otro, consistirá en el nivel de implicación que las empresas muestren por los avances descritos en el proyecto.

A día de hoy ya no toma sentido cuestionar la utilidad o no de las herramientas Lean, salvo que se pretenda mantener unos procesos o sistemas no optimizados. La solución radica en decidirse a realizar la implantación o inmersión en dicha filosofía. Si, por lo contrario, la hoja de ruta de la compañía consiste en realizar pruebas aisladas de las herramientas, seguramente llevará al fracaso, dado que se precisa la visión a largo plazo para obtener resultados satisfactorios y palpables.

Multitud de grandes empresas de sectores tan conocidos como el farmacéutico, alimentación o la automoción, ya son partícipes del uso del Lean. Ciertamente es mucho más sencilla la implantación en sistemas de producción, pero en el presente documento se muestra la utilidad en un ámbito como el de la depuración, en el que no se trabaja con sistemas meramente productivos. En cuanto a las empresas de menor tamaño, no se encuentran entre las usuarias de las herramientas Lean. Una de las posibles causas de esta pequeña participación puede venir ocasionada por la falta de formación sobre el tema.

Una de las premisas principales reside en la implicación de todos y cada uno de los empleados de la empresa. Para mantener esa implicación, y sentido de integración de los empleados, es de vital importancia que se realicen formaciones específicas en relación a la herramienta Lean a introducir.

Los ejemplos estudiados exhiben las bondades de la filosofía Lean. Dando como impulso final a esta idea, el dato que expresa que ocho de cada diez empresas que, han hecho de las herramientas Lean su forma de optimización, han experimentado los resultados esperados.

### **11.1. Desviaciones**

Cabe remarcar que la planificación a experimentado cambios respecto a la que se realizó durante el período de confección del anteproyecto, debido a que anteriormente se pretendía comenzar a realizar la corrección del anteproyecto el 12/02/19, hecho que se ha trasladado al 25/02/19. Dicho atraso no ha influenciado en la fecha final de entrega, ya que en algún caso se ha realizado el solapado de algunas tareas. Dicho solapado no ha afectado al presupuesto inicial porque el recurso nunca quedará sobre asignado, al versificar las tareas a realizar durante una jornada de trabajo.

Así como los plazos se estrecharon debido al comienzo atrasado de edición de la memoria intermedia, las tareas a realizar también sufrieron una variación respecto a las que el anteproyecto predecía.

En cuanto a las tareas a realizar durante la consecución del proyecto, han existido variaciones debidas a cambios en el planteamiento o metodología del estudio. Pormenorizando más concienzudamente cada tarea, y otorgando unos tiempos de ejecución más estudiados.

### **11.2. Riesgos**

La realización del proyecto se enmarca en una planificación basada en tiempos programados para poder alcanzar las fechas de finalización deseadas. Pero como todo proyecto, presenta ciertos riesgos que pueden hacer peligrar tanto la planificación como el presupuesto.

Al presentarse como un estudio de implantación de herramientas Lean en las EDARs, el estudio de los riesgos se ha realizado teniendo en cuenta el carácter interno del proyecto. En el Anexo I puede consultarse el plan de contingencias relativo a los riesgos estudiados. Seguidamente se muestran los potenciales riesgos que se han presentado como posibles amenazas.



RIESGO	¿QUÉ IMPLICA?
Alargamiento de una tarea	Cabe la posibilidad que lleve consigo un cambio de plazos de finalización
Baja temporal del recurso	Conllevaría el retraso de tareas, pudiendo llevar a la modificación del tiempo total del proyecto
Baja definitiva del recurso	Implica que el proyecto reste sin personal para llevarlo a cabo
Aparición de tareas no programadas	Puede causar alteración de tareas programadas posteriores
Subcontratación de tareas	El fallo o demora de servicios subcontratados puede significar un atraso en los plazos del proyecto
Aparición de nuevas tecnologías	La posible obsolescencia de alguna tecnología presentada en el proyecto puede inhabilitar ciertas hipótesis expuestas
Nuevas peticiones de estudio	Puede generar un alargamiento de plazos de entrega del proyecto
Precisar recursos técnicos en las instalaciones	La no viabilidad del proyecto, en cuanto a ejecutarlo se refiere

Tabla 11.1. Riesgos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 11.3. Futuras líneas de trabajo

La puesta en marcha del proyecto supuso un reto, debido a la desinformación que poseía sobre el tema tratado. Hecho que ha ido derivando hasta el punto de hacer de la filosofía Lean una base para mi trabajo del día a día.

Tal es el punto de implicación con la materia que, en la empresa en la que presto servicios a día de hoy, he empezado a implantar ciertas herramientas como podrían ser 5S o Kanban, todo ello teniendo en cuenta que, como se ha dicho anteriormente, es una filosofía de implantación a largo plazo.

Los conocimientos adquiridos, así como el interés por la creación de nuevos sistemas de organización o planificación, me llevarán a encabezar un nuevo proyecto Kaizen en la empresa, con la finalidad de optimizar los procesos en los que se prestan servicios.

## 12. Bibliografía

- [1] Rigola, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Barcelona, España: Editorial MARCOMBO
- [2] Aguas de Antigua. Saneamiento. [online] Caleta de Fuste - Antigua (FUERTEVENTURA) <http://www.aguasdeantigua.com/saneamiento/>
- [3] García, Fco. Javier. Pérez, P. Rancaño, A. (2012). Manual de operación y mantenimiento de EDARS en pequeñas poblaciones. Granada, España: Editorial F.J. García
- [4] Bloomberg News. (2013). Eiji Toyoda, who made Toyota an export giant, dies at 100. [online] <https://www.mercurynews.com/2013/09/17/eiji-toyoda-who-made-toyota-an-export-giant-dies-at-100/>
- [5] Shinka Management. TOYOTA PRODUCTION SYSTEM – TAIICHI OHNO. [online] <http://shinkamanagement.com/toyota-production-system-taiichi-ohno/>
- [6] Womack, J. Jones, D. Roos, D, (2017), La màquina que cambiò el mundo, Barcelona, España: Editorial Profit.
- [7] SPC. (2014). Los objetivos de la manufactura esvelta. [online] Monterrey, México. <https://spcgroup.com.mx/objetivos-manufactura-esbelta/>
- [8] Instituto de productividad empresarial aplicada. (2017). ¿Qué herramientas se emplean en Lean Manufacturing? [online] Valencia, España. <https://www.ipeaformacion.com/herramientas-lean/herramientas-lean-manufacturing/>
- [9] Delers, A. (2016). "La filosofía del Kaizen: Pequeños cambios con grandes consecuencias". Bruselas, Bélgica: Plurilingua Publishing.
- [10] Pérez J, (1997). ESTRATEGIA GESTIÓN Y HABILIDADES DIRECTIVAS. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos.
- [11] Cimorelli S, (2013). KANBAN FOR THE SUPPLY CHAIN. Boca Ratón, Estados Unidos: Editorial CRC Press
- [12] Rey F, (2005). 5S ORDEN Y LIMPIEZA EN EL PUESTO DE TRABAJO. Madrid, España: Editorial Fundación Confemetal.
- [13] Crespo A, (2007). The maintenance management framework. Sevilla, España: Editorial Springer
- [14] Galgano A, (2004). LAS TRES REVOLUCIONES. Caza del desperdicio: Doblar la productividad con el "Lean Production". Madrid, España. Editorial Díaz de Santos.

- [15] Cuatrecasas, Ll. Torrell, F. (2010). TPM en un entorno Lean Management. Barcelona, España: PROFIT editorial
- [16] Fernández M, (2014), LEAN MANUFACTURING en español, Cómo Eliminar Desperdicios e Incrementar Ganancias, Córdoba, Argentina: Editorial Imagen.
- [17] Deloitte. (2018). ¿Qué es la industria 4.0?. [online] Nueva York, EEUU. Publicaciones. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- [18] Simio. (2018). Industry 4.0. [online] Sewickley, Estados Unidos. <https://www.simio.com/applications/industry-40/index.php>
- [19] Luis Portillo (2010). Primera revolución industrial. [online] Madrid, España. Historia universal. <https://www.historialuniversal.com/2010/07/primer-revolucion-industrial.html>
- [20] Luis Portillo (2010). Segunda revolución industrial. [online] Madrid, España. Historia universal. <https://www.historiacultural.com/2010/07/segunda-revolucion-industrial.html>
- [21] Luis Portillo (2010). Tercera revolución industrial. [online] Madrid, España. Historia universal. <https://www.satel-iberia.com/la-tercera-revolucion-industrial-o-la-revolucion-cientifico-tecnica/>
- [22] Salesforce. (2018). ¿Qué es la Cuarta Revolución Industrial? [online] San Francisco, Estados Unidos. <https://www.salesforce.com/mx/blog/2018/4/Que-es-la-Cuarta-Revolucion-Industrial.html>
- [23] Francisco J. Martínez. (2017). ENCAJE DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA FILOSOFÍA LEAN [online] <http://www.congresoatc.org/wp-content/uploads/2017/12/04-Conferencia-Francisco-J-Martinez-de-CDI-Lean-Manufacturing-1.pdf>
- [24] Evaluando erp. (2017). Bases de la industria 4.0. [online] Bogotá, Colombia. <https://www.evaluandoerp.com/la-industria-4-0/>
- [25] YIP. Proyectos I+D+i Industria 4.0. [online] Madrid, España <https://yip-online.es/proyectos-idi-industria-4-0/>
- [26] García S, (2003). ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos S.A.
- [27] Think. (2017). DIAGRAMA DE ISHIKAWA: ¿Qué es? y ¿Cómo lo utilizamos? [online] <https://think-productivity.com/diagrama-ishikawa/>
- [28] Tim McMahon. (2017). Improve Quality Control with Intelligence (Jidoka). [online] <http://www.aleanjourney.com/2017/03/improve-quality-control-with.html>
- [29] Pérez M, (2016). Técnicas, herramientas y aplicaciones. México D.F.: Editorial Ink

- [30] Wingu. (2017). Gestión de Metodologías Innovadoras en tu ONG. [online] Buenos Aires, Argentina. <https://www.winguweb.org/en/blog/gestion-de-metodologias-innovadoras-en-tu-ong>
- [31] Orgatex. (2018). Set inicial KANBAN M. [online] Sant Quirze del Vallés, España. <https://www.orgatex.com/es/productos/sistemas-de-insercion/set-inicial-kanban/set-inicial-kanban-m-sysb-starter-m-w>
- [32] Will Lowry. (2015). From screw dealer to innovative industry service provider. [online] <https://www.fastenerandfixing.com/management-plus-systems/from-screw-dealer-to-innovative-industry-service-provider/>
- [33] Francisco Castela. (2016). MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: Curva de la bañera. [online] <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>
- [34] Citeccal. ¿Qué son las 5S? [online] Rímac, Perú. <http://citeccal.com.pe/5s/>
- [35] Jes Ellacott. (2017). Who is really responsible for maintenance? [online] Toronto, Canada. <https://www.fixsoftware.com/blog/who-is-really-responsible-for-maintenance/>
- [36] Yon Valverde. (2017). Beneficios del Lean Manufacturing. [online] <https://actioglob.com/beneficios-del-lean-manufacturing/>
- [37] Barcelona Business. (2018). El Lean Manufacturing: Definición, Herramientas Y Ventajas Fundamentales. [online] <http://www.barcelonabusiness.es/2018/04/25/el-lean-manufacturing-definicion-herramientas-y-ventajas-fundamentales/>
- [38] Guadalupe Moreno. (2016). El acuerdo de París ya es vinculante. [online] Madrid, España. <https://es.statista.com/grafico/6587/el-acuerdo-de-paris-ya-es-vinculante/>
- [39] Acciona. (2016). ACUERDO DE PARÍS, ¿EN QUÉ CONSISTE? [online] <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/acuerdo-de-paris-en-que-consiste/>
- [40] Del Brio, J.A., E. Fernández, y B. Junquera. «Impulso medioambiental en las industrias españolas. El papel de las Administraciones Públicas.» Economía Industrial, nº 339 (2001): 153-166.
- [41] Grupo Bioindicación Sevilla. <<BENEFICIOS MEDIO AMBIENTALES DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. OPTIMIZACIÓN DEL RECICLADO>> [online] [http://www.bibliotecagbs.com/WEBCORPORATIVA/Publicaciones/Art\\_benef\\_medioamb.pdf](http://www.bibliotecagbs.com/WEBCORPORATIVA/Publicaciones/Art_benef_medioamb.pdf)

