

**Escola Universitària  
Politécnica de Mataró**

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**CONTROL INTEGRAL DE UNA PLANTA DE  
ENFRIAMIENTO**

**MEMORIA**

**JAVIER MERINO PARRAS**

**PONENTE: JULIÁN HERRILLO**

PRIMAVERA 2018



TecnoCampus  
Mataró-Maresme



## **Dedicatoria**

Dedicar este trabajo a toda mi familia, en especial a mi mujer y mis padres por todo el apoyo y la ayuda incondicional recibida durante todo este tiempo, por confiar en mí y darme fuerzas siempre para seguir adelante en los buenos y malos momentos.

Y como no, dedicárselo a mis dos hijas Paula y Giulia, que aun siendo pequeñas, me han dado el empuje y las ganas para continuar siempre con su inocencia.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.



## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi ponente y profesor Julián Horrillo Tello, la orientación, ayuda, soporte y apoyo no solamente durante el transcurso del proyecto, sino durante los últimos años de docencia.

Agradecer también a todos los profesores del área de electrónica, por todo lo que he podido aprender de ellos durante toda la carrera tanto profesional como humanamente.

Y agradecer a Grifols S.A, mi actual empresa, por el apoyo y confianza depositada en mí durante todos estos años y por poder desarrollar el proyecto en la misma.



## **Resumen**

En el presente proyecto se ha llevado a cabo la actualización y modernización de una de las instalaciones de mi actual empresa, Grifols S.A. Esta instalación se basa en una planta de enfriamiento de agua. La empresa tiene unas necesidades de agua fría entre 4 y 6 grados centígrados para refrigeración de maquinaria y climatización. Esta instalación se ha quedado anticuada y está muy lejos de una tecnología actual que proporcione un control y funcionamiento óptimo para la empresa.

La actualización irá enfocada a digitalizar toda la instalación proporcionando al sistema de todas las variables significativas de la misma. Tendremos un sistema a la altura de la tecnología actual, robusto, fiable, eficiente, versátil y que aproveche al máximo los recursos esenciales como son el agua y la energía eléctrica.

Una vez finalizado el proyecto, la instalación contará con todos los puntos fuertes de una tecnología innovadora, y podremos decir que reunirá todas las características del tan importante movimiento industrial, como es la “Industria 4.0”.

## **Resum**

En el present projecte s'ha portat a terme la actualització i modernització de una de les instal·lacions de la meva actual empresa, Grifols S.A. Aquesta instal·lació es basa en una planta de refredament d'aigua. L'empresa té unes necessitats d'aigua freda entre 4 i 6 graus centígrads per a la refrigeració de maquinaria i climatització. Aquesta instal·lació s'ha quedat antiquada i està molt lluny d'una tecnologia actual que proporcioni un control i funcionament òptim per a la empresa.

L'actualització anirà enfocada a digitalitzar tota la instal·lació proporcionant al sistema de totes les variables significatives de la mateixa. Tindrem un sistema a la altura de la tecnologia actual, robust, fiable, eficient, versàtil i que aprofiti al màxim els recursos essencials com son l'aigua i l'energia elèctrica.

Una vegada finalitzat el projecte, la instal·lació comptarà amb tots els punts forts d'una tecnologia innovadora, i podrem dir que reunirà totes les característiques del tant important moviment industrial, com es la “Industria 4.0”.

## **Abstract**

In this present project it has been developed the update and modernization of one of the facilities of my current company, Grifols S.A. This installation is based on a water cooling plant. The company has cold water needs between 4 and 6 degrees Celsius for refrigeration of machinery and air conditioning. This installation has become outdated and is far from a technology that provides optimal control and operation for the company.

The update will focus on digitizing the entire installation, providing the system with all the significant variables. We will have a system up to the current technology, robust, reliable, efficient, versatile and that makes the most of the essential resources such as water and electricity.

Once the project is finished, the installation will have all the strengths of an innovative technology, and we may say that it will bring together all the characteristics of the important industrial movement, such as "Industry 4.0".

## Índice.

Índice de figuras.....	XV
Índice de tablas.....	XIX
Glosario de términos.....	XXI
1. Objetivos del proyecto.....	23
1.1. Propósito.....	23
1.2. Finalidad.....	23
1.3. Objeto.....	23
1.4. Alcance.....	23
2. Introducción.....	25
2.1. Realización del proyecto.....	25
2.2. Información necesaria y análisis de la problemática.....	26
2.2.1. Elementos que forman la instalación actual.....	26
2.2.2. Funcionamiento actual de la instalación.....	38
2.2.3. Necesidades de información.....	40
2.2.4. Fuentes de información a consultar.....	51
2.3. Alcance detallado del proyecto.....	52
3. Objetivos de detalle y especificaciones técnicas.....	55
4. Marco conceptual.....	59
4.1. PLC.....	59

4.1.1.	Definición.....	59
4.1.2.	Breve historia de los PLCs .....	60
4.1.3.	Estructura general de los PLCs .....	62
4.1.4.	Componentes hardware de los PLCs.....	64
4.1.5.	Tipo de señales que usan los PLCs .....	65
4.1.6.	Principio de funcionamiento .....	66
4.2.	HMI .....	68
4.2.1.	Definición.....	68
4.2.2.	Tipos HMI.....	69
4.2.3.	Software .....	69
4.2.4.	Comunicación.....	70
4.3.	PID.....	70
4.3.1.	Definición.....	70
4.3.2.	Historia y aplicaciones .....	72
4.3.3.	Funcionamiento.....	73
4.4.	Mecánica de fluidos.....	79
4.5.	Rentabilidad de la inversión .....	86
5.	Desarrollo de la solución. ....	89
5.1.	Viabilidad técnica.....	89
5.1.1.	Estado del arte .....	89
5.1.2.	Análisis de viabilidad de la solución.....	93

5.2.	Metodología.....	95
5.2.1.	Metodología de gestión .....	96
5.2.2.	Metodología de documentación.....	96
5.2.3.	Metodología de diseño .....	96
5.3.	Herramientas utilizadas.....	97
6.	Presentación i análisis de resultados.....	99
6.1.	Menú principal de acceso a las diferentes pantallas. ....	100
6.1.1.	Menú principal y pantalla inicial.....	100
6.1.2.	Pantalla de validación de usuario. ....	101
6.2.	Pantallas de control de la instalación.....	102
6.2.1.	Sinóptico de la instalación.....	102
6.2.2.	Pantalla de control depósito.....	103
6.2.3.	Pantalla de control bombas de recirculación. ....	104
6.2.4.	Pantalla de control enfriadoras. ....	105
6.2.5.	Pantalla de control bombas de consumo. ....	106
6.3.	Pantallas de parámetros de la instalación. ....	107
6.3.1.	Menú de parámetros de la instalación. ....	107
6.3.2.	Menú parámetros funcionamiento de la instalación.....	109
6.3.3.	Menú parámetros alarmas de la instalación.....	114
6.4.	Pantalla de alarmas del sistema.....	119
6.4.1.	Pantalla de histórico de alarmas .....	121

6.5.	Pantalla de totalizados .....	122
6.6.	Pantallas de gráficas del sistema .....	123
7.	Planificación.....	127
7.1.	Introducción.....	127
7.2.	Definición de tareas .....	128
7.2.1.	Tareas de estudio del proyecto .....	128
7.2.2.	Tareas desarrollo del proyecto .....	129
7.3.	Tareas y recursos .....	133
7.3.1.	Tiempo tareas y recursos.....	133
7.3.2.	Uso de los recursos.....	134
7.4.	Programación de tareas.....	135
7.5.	Diagrama de Gantt.....	138
7.6.	Desviaciones de la planificación .....	141
7.6.1.	Planificación inicial.....	142
7.6.2.	Planificación final .....	143
7.6.3.	Gantt inicial .....	144
7.6.4.	Gantt ejecución final .....	145
7.6.5.	Informe de progreso 1 (30/04/16 - 20/06/16).....	146
7.6.6.	Informe de progreso 2 (20/06/16 - 25/06/16).....	146
7.6.7.	Informe de progreso 3 (25/06/16 - 06/07/16).....	146
7.6.8.	Conclusiones .....	147

8. Impacto medioambiental del proyecto.....	149
8.1. Materias primas.....	149
8.2. Sostenibilidad.....	150
8.3. Residuos.....	151
8.4. Gestión y control.....	152
8.5. Efectos y acciones.....	152
8.6. Situación geográfica .....	153
8.7. Impacto social .....	156
8.8. Alternativa de consumo sostenible .....	157
8.8.1. Estimación del consumo total de la instalación eléctrica.....	157
8.8.2. Conclusiones a la alternativa de consumo sostenible.....	158
8.8.3. Conclusión.....	158
9. Conclusiones .....	159
9.1. Desviaciones de planificación y presupuesto .....	160
9.1.1. Desviación en la planificación.....	160
9.1.2. Desviación del presupuesto .....	160
9.2. Futuras mejoras.....	161
9.3. Futuras líneas de trabajo .....	162
10. Bibliografía.....	165



## Índice de figuras.

Figura 2-1: Diagrama situación actual de la instalación	Fuente: Propia	27
Figura 2-2: Depósito de agua	Fuente: Grifols S.A	28
Figura 2-3: Enfriadora Trane 1	Fuente: Grifols S.A	29
Figura 2-4: Enfriadora Trane 1	Fuente: Grifols S.A	29
Figura 2-5: Enfriadora Trane 1	Fuente: Grifols S.A	30
Figura 2-6: Enfriadora Trane 2	Fuente: Grifols S.A	31
Figura 2-7: Enfriadora Trane 2	Fuente: Grifols S.A	31
Figura 2-8: Enfriadora Trane 2	Fuente: Grifols S.A	32
Figura 2-9: Bombas de recirculación	Fuente: Grifols S.A	33
Figura 2-10: Bombas de consumo	Fuente: Grifols S.A	34
Figura 2-11: Cuadro actual de control de la instalación	Fuente: Grifols S.A	36
Figura 2-12: Cuadro actual de control de la instalación	Fuente: Grifols S.A	36
Figura 2-13: Cuadro actual de control de la instalación	Fuente: Grifols S.A	37
Figura 2-14: Cuadro actual de control de la instalación	Fuente: Grifols S.A	37
Figura 2-15: Revoluciones industriales y sus predecesoras	Fuente: Economipedia [3].....	40
Figura 2-16: Resumen industria 4.0	Fuente: IIES	42
Figura 3-1: Diagrama situación actual de la instalación	Fuente: Propia	56
Figura 3-2: Diagrama situación final de la instalación	Fuente: Propia	56
Figura 4-1: Estructura general de los PLCs	Fuente: <a href="http://www.ieec.uned.es">www.ieec.uned.es</a> .....	62

Figura 4-2: Hardware de los PLC Fuente: Siemens .....	64
Figura 4-3: Principio de funcionamiento Fuente: Siemens .....	67
Figura 4-4: Tiempo de respuesta del PLC Fuente: Siemens .....	67
Figura 4-5: Controlador PID Fuente: Wikipedia.....	71
Figura 4-6: Respuesta de la proporcional Fuente: Wikipedia.....	75
Figura 4-7: Respuesta de la integral Fuente: Wikipedia .....	77
Figura 4-8: Respuesta de la derivada Fuente: Wikipedia.....	79
Figura 4-9: Ecuación continuidad Fuente: Apuntes mecánica de fluidos Robert Safont....	80
Figura 4-10: Ecuación Bernoulli Fuente: Apuntes mecánica de fluidos Robert Safont .....	81
Figura 4-11: Bernoulli generalizada Fuente: Apuntes mecánica fluidos Robert Safont...	85
Figura 6-1: Pantalla menú principal Fuente: Propia.....	100
Figura 6-2: Pantalla validación usuario Fuente: Propia .....	101
Figura 6-3: Pantalla sinóptico de la instalación Fuente: Propia .....	102
Figura 6-4: Pantalla control depósito Fuente: Propia.....	103
Figura 6-5: Pantalla control bombas de recirculación Fuente: Propia .....	104
Figura 6-6: Pantalla control enfriadoras Fuente: Propia .....	105
Figura 6-7: Pantalla control bombas de consumo Fuente: Propia.....	106
Figura 6-8: Pantalla menú principal de parámetros Fuente: Propia .....	107
Figura 6-9: Pantalla parámetros generales del sistema Fuente: Propia.....	108
Figura 6-10: Pantalla menú parámetros funcionamiento Fuente: Propia.....	109
Figura 6-11: Pantalla parámetros funcionamiento depósito Fuente: Propia .....	110

Figura 6-12: Pantalla param. funcionamiento bombas recirculación	Fuente: Propia.....	111
Figura 6-13: Pantalla enfriadoras	Fuente: Propia .....	112
Figura 6-14: Pantalla bombas consumo	Fuente: Propia .....	113
Figura 6-15: Pantalla menú parámetros alarmas	Fuente: Propia.....	114
Figura 6-16: Pantalla menú parámetros alarmas	Fuente: Propia.....	115
Figura 6-17: Pantalla param. alarmas bombas recirculación	Fuente: Propia .....	116
Figura 6-18: Pantalla enfriadoras	Fuente: Propia .....	117
Figura 6-19: Pantalla bombas de consumo	Fuente: Propia .....	118
Figura 6-20: Pantalla de alarmas 1	Fuente: Propia.....	119
Figura 6-21: Pantalla de alarmas 2	Fuente: Propia.....	120
Figura 6-22: Pantalla histórico de alarmas	Fuente: Propia.....	121
Figura 6-23: Pantalla totalizados 1	Fuente: Propia.....	122
Figura 6-24: Pantalla totalizados 2	Fuente: Propia.....	122
Figura 6-25: Pantalla totalizados 3	Fuente: Propia.....	123
Figura 6-26: Pantalla gráfica nivel depósito	Fuente: Propia .....	124
Figura 6-27: Pantalla gráfica nivel depósito	Fuente: Propia .....	124
Figura 6-28: Pantalla gráfica nivel depósito	Fuente: Propia .....	125
Figura 6-29: Pantalla gráfica nivel depósito	Fuente: Propia .....	125
Figura 6-30: Pantalla gráfica nivel depósito	Fuente: Propia .....	126
Figura 7-1: Gráfica uso de recursos	Fuente: Propia .....	134
Figura 7-2: Diagrama de Gantt 1era parte	Fuente: Propia.....	138

Figura 7-3: Diagrama de Gantt 2da parte	Fuente: Propia	139
Figura 7-4: Diagrama de Gantt completo	Fuente: Propia	140
Figura 7-5: Diagrama de Gantt inicial	Fuente: Propia	144
Figura 7-6: Diagrama de Gantt final	Fuente: Propia	145
Figura 8-1: Situación geográfica de la planta	Fuente: Google Maps	154
Figura 8-2: Situación geográfica de la planta	Fuente: Google Maps	154
Figura 8-3: Situación geográfica de la planta, vista satélite	Fuente: Google Maps	155
Figura 8-4: Situación geográfica de la planta, vista satélite	Fuente: Google Maps	156

## Índice de tablas.

Tabla 2-1: Características generales enfriadora Trane 1 Fuente: Trane.....	30
Tabla 2-2: Características generales enfriadora Trane 2 Fuente: Trane.....	32
Tabla 2-3: Características generales bombas de consumo Fuente: Grifols S.A.....	34
Tabla 2-4: Características generales bombas de consumo Fuente: Grifols S.A.....	35
Tabla 7-1: Listado tiempo de tareas y recursos Fuente: Elaboración propia.....	133
Tabla 7-2: Listado de recursos Fuente: Elaboración propia.....	134
Tabla 7-3: Listado de tareas con periodos y recursos Fuente: Elaboración propia.....	136
Tabla 7-4: Planificación tareas inicial Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla 7-5: Planificación tareas final Fuente: Elaboración propia.....	143
Tabla 8-1: Tabla de consumos alternativa sostenible Fuente: Propia.....	157



## **Glosario de términos.**

AC	Corriente alterna
AEAT	Agencia tributaria
AI	Entrada analógica
BAI	Beneficio antes de impuestos
Bares	Presión
BN	Beneficio neto
DC	Corriente continua
DI	Digital Input
DO	Digital Output
DP	Periferia descentralizada
EUROSTAT	Oficina europea de estadística
FC	Frecuencia
FST	Flujostato
FT	Flow transmitter
GSM	Sistema global de móviles
HMI	Interface hombre - máquina
ICB	Índice coste-beneficio
IIES	Instituto de la Ingeniería en España
INE	Instituto nacional de estadística
KW	kilovatio
KW/H	kilovatio hora
LC1	Modelo de sistema GSM de MicroCom Hermes S.L.
LT	Level transmitter

m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos hora
MPI	Interface multipunto
NA	Contacto normalmente abierto
NC	Contacto normalmente cerrado
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
OPC	Ole for Process Control
PLC	Controlador lógico programable
PT	Pressure transmitter
QC	Cuadro de control
QFD	Desarrollo de las funciones de calidad
RPM	Revoluciones por minuto
SMS	Short message service
TCM	Tecnocampus Mataró
TT	Temperature transmitter
V	Voltaje
VAN	Valor actual neto
° C	Grados centígrados

# **1. Objetivos del proyecto.**

## **1.1. Propósito.**

Actualizar y modernizar la instalación para conseguir una planta de enfriamiento de agua a la altura de la tecnología más actual, que sea lo más rentable, robusta, eficiente, sencilla, intuitiva y que sea lo más sostenible posible con el medioambiente.

## **1.2. Finalidad.**

La finalidad del proyecto es introducir la instalación en la tan actual “Industria 4.0”. Hacer el diseño de un sistema lo más autónomo posible, que registre todas las variables significativas del sistema, para con ello realizar estudios de rentabilidad de la instalación. Un sistema lo más rentable económicamente hablando y que aproveche al máximo los recursos naturales como son el agua y la energía eléctrica. Y un sistema que proporcione al usuario final una seguridad de funcionamiento óptimo, con el fin de evitar paros de producción.

## **1.3. Objeto.**

Es realizar la actualización de la instalación incorporando todos los sensores digitales y analógicos que nos proporcionen toda la información valiosa del sistema. Tener un sistema con conectividad total y con acceso desde cualquier parte del mundo. Una instalación versátil que se adapte a cualquier planta del grupo con pequeñas modificaciones.

## **1.4. Alcance.**

El alcance pasa por todo lo que es el diseño del nuevo sistema, cableando los nuevos sensores digitales y analógicos, se realiza la modificación del cuadro de control, incorporando los nuevos elementos eléctricos como son los variadores de frecuencia, el módulo GSM y demás paramenta eléctrica que harán posible la actualización. También se realiza la programación del software de control del PLC, HMI y módulo GSM de alarmas. Se realizan los esquemas eléctricos, actualizando y reflejando los nuevos elementos del sistema.

Se dota al sistema de conectividad total con el fin de tener la instalación controlada en todo momento y desde cualquier sitio con internet. Se realiza el manual de usuario y mantenimiento de la instalación.

Lo que no se realiza son los picajes en las tuberías y depósitos para luego ubicar los nuevos sensores ya que se realiza en un proyecto a parte realizado por los soldadores de la empresa.

## **2. Introducción.**

### **2.1. Realización del proyecto.**

El objetivo del proyecto es la actualización y modernización de una de las instalaciones de mi actual empresa, Grifols S.A.

La instalación consiste en una planta de enfriamiento de agua. La empresa tiene unas necesidades de agua fría con una temperatura de entre 4°C y 6°C para refrigeración de maquinaria y climatización.

Actualmente la instalación ha quedado obsoleta y anticuada. Ésta funciona con maniobras eléctricas mediante selectores manuales, está exenta de dispositivos electrónicos, como pueden ser, transductores de presión, sondas de temperatura, caudalímetros, sondas de nivel, etc... Exenta de unas seguridades que garanticen la integridad de la instalación, y de una automatización a la altura de las exigencias que la industria demanda hoy día.

Por necesidades de la empresa, cada vez más, debido a auditorías internas, externas y normas de fabricación, se necesita tener a nuestra disposición un sistema automatizado capaz de historificar cualquier variable del sistema, poder analizar la instalación localmente y en remoto desde cualquier sitio con acceso a internet y tener un sistema lo más intuitivo posible.

La actualización estaría ligada a tener un sistema autónomo capaz de reaccionar ante cualquier cambio de variable de la instalación, ante cualquier anomalía y que sólo necesite de la intervención de un operario en caso de avería.

En todas las plantas del grupo Grifols S.A., hay instalaciones con enfriadoras. La idea una vez finalizado el proyecto, es conseguir un sistema de control que sea abierto, flexible y configurable a todas las plantas del grupo. Un sistema en el que puedas configurar el número de enfriadoras y bombas del sistema, y sólo con pequeños retoques y adaptaciones el proyecto pueda adaptarse sin problemas a las necesidades de cada planta.

El objetivo principal es conseguir un sistema lo más rentable posible económicamente, un sistema moderno tecnológicamente, sostenible con el medio ambiente, eficiente, versátil y que aproveche al máximo los recursos esenciales como son el agua y la energía eléctrica.

La instalación estará formada por un PLC, una pantalla de control HMI y una serie de dispositivos electrónicos capaces de controlar la instalación, decidir en cada momento la mejor opción e introducirla de lleno en el tan importante movimiento industrial, como es la “Industria 4.0”.

## **2.2. Información necesaria y análisis de la problemática.**

Para centrar los objetivos y tener claro que necesidades de información necesitamos para llevar a cabo el proyecto, se realizará un estudio de cómo se encuentra la instalación actualmente y cuál es su funcionamiento. Con esta información podremos decidir que necesita la instalación para estar a la altura de una instalación moderna, actual y que cumpla las necesidades de la empresa y de los usuarios responsables de la misma.

Una vez acotadas las carencias actuales de la instalación, se centrará la búsqueda en información relacionada con lo que es la cuarta revolución industrial, también llamada industria 4.0.

### **2.2.1. Elementos que forman la instalación actual.**

Para poder entender y ver el funcionamiento actual de la instalación se mostrará un sinóptico donde se observa toda la planta y que elementos la forman actualmente.

Se puede observar todas las carencias de la instalación y ver donde podemos atacar para hacer un sistema robusto. Claramente, podemos ver la ausencia de sensores digitales y analógicos que proporcionen al sistema de variables importantes con las que tener todo controlado.

Sinóptico actual de la instalación:

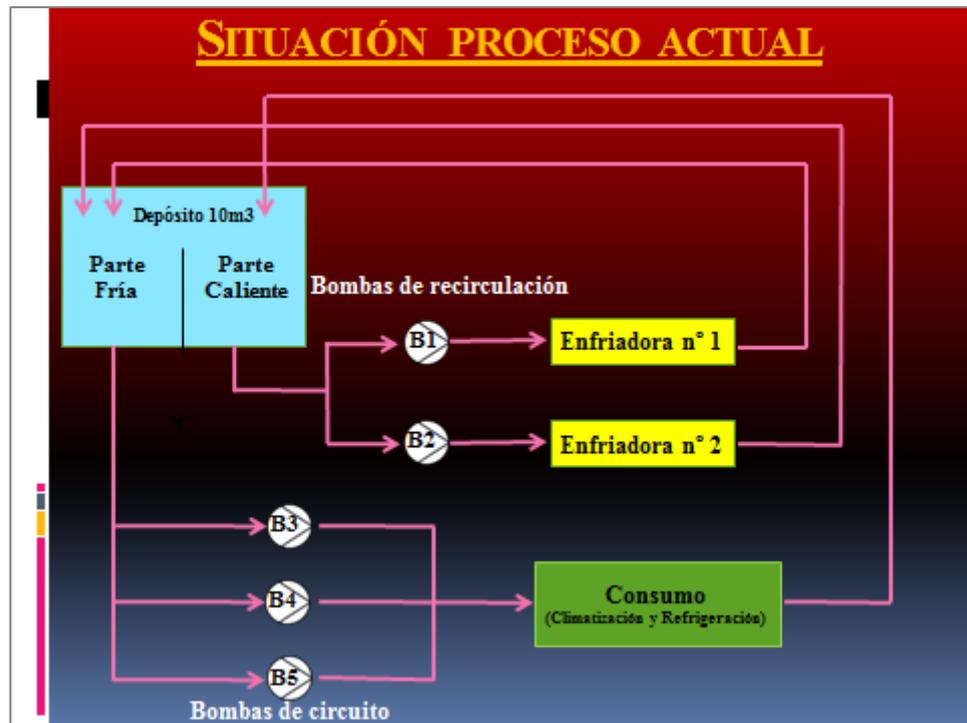


Figura 2-1: Diagrama situación actual de la instalación Fuente: Propia

En la figura 2-1, se puede visualizar los flujos de agua y entender el funcionamiento principal del sistema.

Se observa que tenemos un depósito de 10m<sup>3</sup> de alimentación de agua a la instalación, dos bombas de recirculación que se encargan de enviar agua a su correspondiente enfriadora, tres bombas de consumo que tienen la función de enviar el agua fría a planta para refrigerar maquinaria y para climatización. Y la parte más importante de la instalación que son las dos enfriadoras encargadas de enfriar el agua entre 4 y 6 grados centígrados.

Seguidamente vamos a ver los elementos por separado para analizarlos y ver donde podemos mejorar e innovar para dotar a la instalación de los puntos fuertes de la ya nombrada anteriormente industria 4.0.

### 2.2.1.1. Depósito (10m3).

La instalación dispone de un depósito de fibra de 10m3 de capacidad. Internamente está separado por una pared para independizar la parte de agua fría de la caliente. En la actualidad el depósito no tiene ninguna electroválvula de control de llenado ni nivel analógico, éste se llena mediante una válvula manual cuando se observa que éste ha perdido nivel.



Figura 2-2: Depósito de agua Fuente: Grifols S.A

### 2.2.1.2. Enfriadoras (Trane 1 y 2).

Actualmente la instalación dispone de dos enfriadoras de la marca Trane. Estas dos enfriadoras trabajan con una señal de marcha, arrancan y paran según el set-point de temperatura, fijado en 5°C. Hablando de las dos enfriadoras, comentar que éstas funcionan con un selector de marcha, este selector lo accionamos los operarios y las vamos alternando manualmente cada semana para conseguir que las máquinas trabajen por un igual.

### Enfriadora Trane 1:



Figura 2-3: Enfriadora Trane 1 Fuente: Grifols S.A



Figura 2-4: Enfriadora Trane 1 Fuente: Grifols S.A



Figura 2-5: Enfriadora Trane 1 Fuente: Grifols S.A

Características generales enfriadora Trane 1:

	Marca / Modelo	Conexión eléctrica	Potencia Frigorífica (KW / KFrig)	Potencia Eléctrica (KW)	Temperatura de Salida Max. (°C)
<b>Trane 1</b>	Trane / RTAC- 170HE	400v AC 3Ph+N+T	585,4 / 503,4	206	4

Tabla 2-1: Características generales enfriadora Trane 1 Fuente: Trane

### Enfriadora Trane 2:



Figura 2-6: Enfriadora Trane 2 Fuente: Grifols S.A



Figura 2-7: Enfriadora Trane 2 Fuente: Grifols S.A



Figura 2-8: Enfriadora Trane 2 Fuente: Grifols S.A

Características generales enfriadora Trane 2:

	Marca / Modelo	Conexión eléctrica	Potencia Frigorífica (KW / Kfrig)	Potencia Eléctrica (KW)	Temperatura de Salida Max. (°C)
Trane 2	Trane / RTAC-170	400v AC 3Ph+N+T	585,4 / 503,4	206	4

Tabla 2-2: Características generales enfriadora Trane 2 Fuente: Trane

### 2.2.1.3. Bombas de recirculación.

La instalación dispone para hacer llegar el agua a cada enfriadora de dos bombas de recirculación, una por cada enfriadora. La misión de éstas, es hacer llegar el agua a la enfriadora para que ésta enfríe el agua y la retorne al depósito. Estas bombas siempre están en marcha a su valor nominal de funcionamiento, 50Hz esté la enfriadora en demanda o no.

Al igual que las enfriadoras éstas son comandadas desde el cuadro de control mediante selectores manuales.



Figura 2-9: Bombas de recirculación Fuente: Grifols S.A

Características de las bombas de recirculación:

	Marca / Modelo	Conexión eléctrica	Frecuencia (Hz, RPM)	Potencia (KW/CV)	Intensidad (A)	cosφ
<b>Bomba 1</b>	WEG / 132M-4	400v AC-3 fases	50 / 1470	9.2 / 12.5	18.1	0.88
<b>Bomba 2</b>	Siemens / 160M	400v AC-3 fases	50 / 1460	11 / 14.75	21	0.85

Tabla 2-3: Características generales bombas de consumo Fuente: Grifols S.A

#### 2.2.1.4. Bombas de consumo.

Para hacer llegar el agua una vez enfriada a la instalación el sistema tiene tres bombas de consumo en paralelo. De estas tres bombas, siempre hay dos en marcha a su valor nominal de funcionamiento, 50Hz. Una vez llega el verano y sube la temperatura ambiental, se necesita poner las tres bombas en marcha para llegar a las condiciones de temperatura para la producción. Para evitar picos altos de consumo eléctrico tienen un arrancador electrónico el cual realiza una rampa al arranque, pero una vez realizada la rampa éstas trabajan a su valor y consumo nominal. Al igual que las bombas de recirculación éstas funcionan mediante un selector manual.



Figura 2-10: Bombas de consumo Fuente: Grifols S.A

Características de las bombas de consumo:

	Marca / Modelo	Conexión eléctrica	Frecuencia (Hz / RPM)	Potencia (KW/CV)	Intensidad (A)	cosφ
<b>Bomba 3</b>	WEG / 180M-4	400v AC-3 fases	50 / 1470	18.5 / 25.1	36.3	0.84
<b>Bomba 4</b>	Siemens / 180M	400v AC-3 fases	50 / 1470	18.5 / 25.1	35.5	0.83
<b>Bomba 5</b>	WEG / 180M-04	400v AC-3 fases	50 / 1460	18.5 / 25.1	36.3	0.85

Tabla 2-4: Características generales bombas de consumo Fuente: Grifols S.A

#### 2.2.1.5. Cuadro de control.

En las siguientes figuras 2-11, 2-12, 2-13, 2-14 se puede ver el cuadro actual de control. Se puede observar los selectores manuales de puesta en marcha y paro de los elementos de la instalación. También se puede observar que cada elemento tiene sus pilotos luminosos de marcha y avería.

Dispone de un pulsador de prueba lámparas para poder ver si hay algún piloto fundido que pueda crear confusión del estado de la instalación, un pulsador de reset alarmas y una seta de emergencia encargada de parar todo el sistema en caso de un problema en la instalación.

Podemos ver que el cuadro está muy lejos de un cuadro de control a la altura de las tecnologías actuales.



Figura 2-11: Cuadro actual de control de la instalación Fuente: Grifols S.A



Figura 2-12: Cuadro actual de control de la instalación Fuente: Grifols S.A

En las siguientes fotos se observa el interior actual del cuadro:

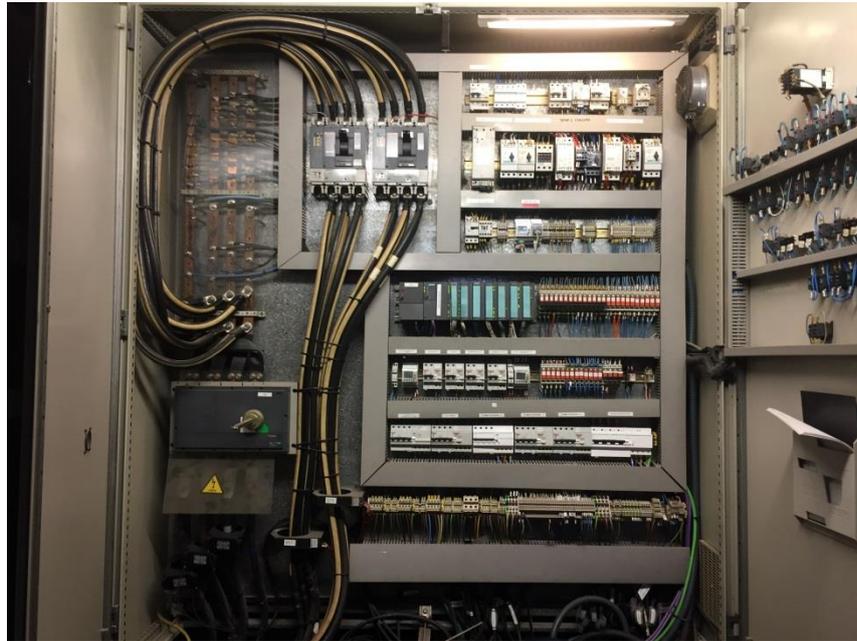


Figura 2-13: Cuadro actual de control de la instalación Fuente: Grifols S.A

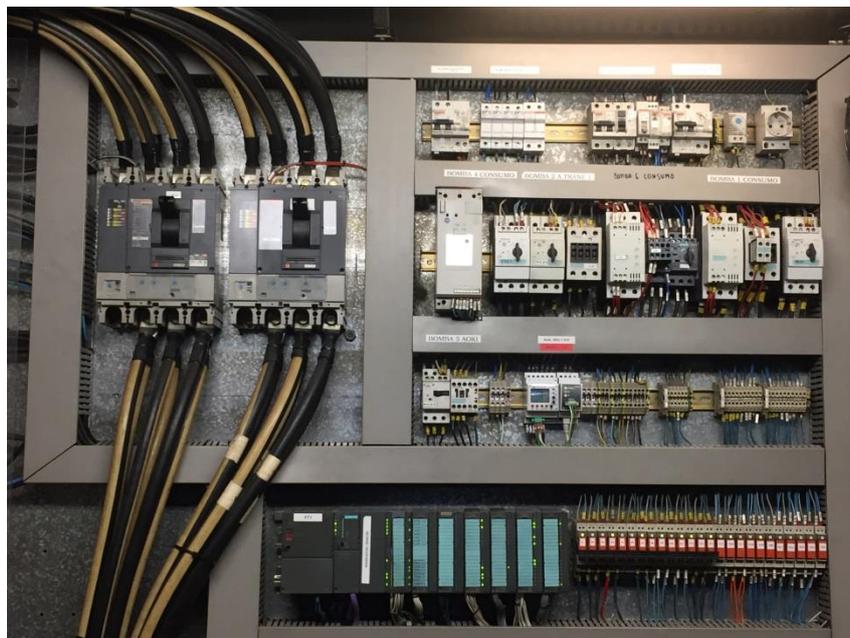


Figura 2-14: Cuadro actual de control de la instalación Fuente: Grifols S.A

### **2.2.2. Funcionamiento actual de la instalación.**

Actualmente es una instalación obsoleta y anticuada. Decir que está exenta de control automatizado y de adquisición de datos que garanticen el buen funcionamiento de la instalación.

Es una instalación que está muy lejos de la tecnología actual. No dispone de control ni acceso a ella remotamente, con lo que ante cualquier avería los operarios no disponen de información y podríamos tener paros en la producción, con lo que ello conlleva.

Todo el control de la misma se realiza manualmente por los operarios de mantenimiento mediante los selectores de puesta en marcha y paro de los correspondientes elementos de la instalación.

#### **El funcionamiento del proceso de la planta es el siguiente:**

Para comenzar se necesita agua en el depósito, una vez lleno éste, se puede empezar a trabajar.

Las bombas de recirculación de cada enfriadora cogen agua de la parte caliente del depósito y están en continuo mandando a agua a la enfriadora que esté en servicio. Actualmente tenemos una enfriadora en marcha y la otra parada, este cambio de enfriadora lo realizamos mediante selectores el fin de semana, así vamos alternando el funcionamiento de la enfriadora y su correspondiente bomba.

Una vez llega el agua a la enfriadora, ésta tiene configurada una temperatura de salida (5°C) a la cual tiene que enfriar el agua. Una vez enfriada el agua retorna a la parte fría del depósito.

Las bombas de consumo que estén en funcionamiento se encargarán de coger el agua de la parte fría del depósito y mandarla a producción para enfriar radiadores de las climatizadoras y para refrigeración de maquinaria de producción, como pueden ser los moldes de las formadoras de botellas.

Una vez el agua ha refrigerado la maquinaria en cuestión, vuelve a la parte caliente del depósito.

Normalmente y cuando no existen temperaturas en el exterior altas como puede ser en verano, trabajan dos bombas de consumo las cuales se van alternando manualmente cada semana para que vayan trabajando todas. Una vez llega el verano la demanda de agua fría aumenta y es necesario trabajar con las tres bombas de consumo.

Hablando de las alarmas actuales del sistema comentar que se nos pueden parar las bombas por caída del disyuntor y por fallo de unos detectores de caudal disponibles en las impulsiones de las bombas. El problema existente es que estos detectores son de pletina y se suelen deteriorar y romper.

Una vez salta alguna alarma en el sistema suena una baliza y se enciende un piloto rojo de alarma. La baliza suena y se enciende el luminoso en local, en la propia instalación, pero los operarios no se percatan hasta que no se pasa en alguna ronda o avisan de producción por falta de agua.

Esta instalación está controlada ya que actualmente se pasa por ella una vez en cada turno (mañana, tarde y noche). Se comprueba que no haya alarmas en el sistema y que haya nivel de agua en el depósito ya que este no dispone de control de nivel.

### **El funcionamiento a nivel eléctrico es el siguiente:**

Las señales de marcha y paro de los diferentes elementos de la planta llegan a un PLC modelo S7-300 de Siemens. Este con una programación muy simple activa las salidas y activa el elemento en cuestión. Se puede decir que el PLC hace la función de pasarela, para ponernos en situación, si tengo la señal de marcha de algún elemento se activa su correspondiente salida. Estas salidas, en el caso de las enfriadoras hacen llegar la señal de marcha mediante unos relés, los cuales con sus contactos normalmente abiertos hacen llegar la señal a la enfriadora.

En el caso de las bombas de consumo estas salidas digitales del PLC activan los arrancadores para realizar un arranque progresivo para evitar consumos altos y así evitar realizar los tan anticuados arranques estrella-triángulo.

Una vez llega la salida de marcha a las bombas de recirculación estas activan su correspondiente contactor trifásico para hacer llegar las tres fases a la bomba.

Tanto las bombas de consumo como las de recirculación están protegidas mediante un disyuntor o protección térmica. Ante cualquier aumento de consumo saltan protegiéndolas de altas temperaturas y averías.

### 2.2.3. Necesidades de información

Las necesidades de información irán relacionadas a conseguir una instalación actual y a la altura de la industria de hoy día. Por eso, se va a realizar un estudio de lo que es la cuarta revolución industrial, también llamada industria 4.0.

#### 2.2.3.1. Industria 4.0

El término de industria 4.0 es el principal causante de la cuarta revolución industrial, es un movimiento creado por el gobierno alemán para describir a la fábrica inteligente, una visión informatizada con todos los procesos interconectados a internet. De aquí otro de los puntos importantes de este tipo de industria digital como es el “internet de las cosas”, que todos los elementos de una instalación tenga acceso a internet y puedas tener conexión en remoto y que puedan interactuar por sí solos. En la siguiente figura podemos ver el avance de la industria desde sus inicios y como han ido surgiendo las diferentes revoluciones industriales hasta que llegar a la actualidad. [1], [2].



Figura 2-15: Revoluciones industriales y sus predecesoras Fuente: Economipedia [3]

Este nuevo movimiento industrial se espera que sea capaz de impulsar cambios fundamentales a la altura de la primera revolución industrial con la aparición de la máquina de vapor, la producción en masa de la segunda revolución y la electrónica y el aumento de la tecnología de la tercera revolución.

Según comentan los expertos en automatización el desafío de esta cuarta revolución es el desarrollo de software y sistemas de análisis que conviertan el diluvio de datos producidos por una industria cada día más automatizada digitalmente en información valiosa y útil.

El término de industria 4.0 tiene muchos significados, pero los primeros avances en este ámbito han implicado la incorporación de una mayor flexibilidad e individualización de los procesos productivos. Se espera que los primeros en adoptar este tipo de industria sean los fabricantes de electrónica, los sectores alimenticios y bebidas. Otra área en la que encontrarán una rápida aceptación será el sector del automóvil donde los fabricantes cada vez se inclinan más por un tipo de producción personalizada al cliente final. [4], [5].

Los sistemas productivos cada vez más van integrando sensores digitales y analógicos que aportan cantidad de datos e información, comunicaciones inalámbricas, con estos las fábricas deberán ir ganando en capacidad de almacenamiento para reunir tal cantidad de datos.

Cada día más, las fábricas tendrán que ir añadiendo sus diferentes estaciones de producción a internet, para tener procesos completamente integrados en el movimiento descrito y así poder tener una total cantidad de datos e información de toda la planta. Estas conexiones provocaran mejoras reales en la eficiencia productiva y flexibilidad. Los fabricantes deben ser capaces de gestionar y analizar estas grandes cantidades de datos. Por eso el desafío de la cuarta revolución industrial está en desarrollar un software capaz de realizar este análisis de datos y así tomar las medidas necesarias.

En este ámbito es donde los ingenieros están desarrollando potentes software de análisis capaces de analizar y gestionar toda esta cantidad de datos. De aquí sale otro de los términos importantes de esta nueva revolución como es el “Big Data”. Todos estos datos aportaran a las empresas valiosa información de todo su proceso productivo para tomar las decisiones pertinentes en cada caso y dar todavía más valor a su negocio.

Las empresas en los últimos años se han ido apuntando cada vez más a esta nueva tendencia de comunicaciones y adquisición de datos y ha llegado el momento de analizarlos. [6]

## Puntos importantes de la industria 4.0.

En la siguiente imagen podemos ver rápidamente los puntos fuertes de la industria 4.0, [7]:



Figura 2-16: Resumen industria 4.0 Fuente: IIES

Puntos en los que se centra la industria 4.0:

- La personalización masiva gracias a las tecnologías de información en los procesos de fabricación, lo que significa que los procesos se han de adaptar a las necesidades del usuario.
- Adaptación de la cadena de producción a una manera de trabajar flexible y automática a las exigencias del entorno que cambia rápidamente.
- El seguimiento y la auto-conciencia de diferentes componentes y productos y su comunicación mutua con los demás sistemas productivos.

- Avanzados paradigmas de interacción hombre-máquina que incluye nuevas formas de operar en las fábricas.
- Optimización de la producción gracias a la comunicación posibilitada por el “internet de las cosas” en las fábricas inteligentes.
- La aparición de nuevos modelos de negocio lo que contribuirá a nuevas y radicales formas de interacción en la cadena de valor. [10], [11]

Los avances tecnológicos en los que se basa la industria 4.0 se resumen en:

- **Robots autónomos.**  
Aunque ya hace varios años que los robots están implantados en la industria, a éstos hay que seguirlos de cerca ya que sus capacidades están evolucionando de manera espectacular. Son cada día más flexibles, autónomos, interactúan unos con otros y trabajan codo con codo los humanos.
- **La nube.**  
Cada vez más se usa en las organizaciones software para almacenar datos y compartir a través de los límites organizacionales.
- **Internet de las cosas.**  
Tener todos los dispositivos conectados a internet para una mayor conectividad y así interactuar entre ellos.
- **Datos masivos (Big Data).**  
Las nuevas tecnologías generan un gran volumen de datos que es de vital importancia en la industria de hoy y del futuro.
- **Ciberseguridad.**  
El incremento de datos supondrá un avance en la seguridad digital para crear sistemas fiables que garanticen seguridad, privacidad y protección del conocimiento.

- **Simulación.**

Se utilizarán datos en tiempo real para reflejar mundo físico en un modelo virtual incluyendo máquinas y seres humanos. Con lo que la calidad de los productos aumentará drásticamente. Ej. Impresoras 3D.

- **Integración horizontal y vertical.**

La integración horizontal significa inteligente cruzamiento y digitalización de la organización a lo largo de la cadena de valor de los ciclos de vida de los productos. La integración vertical se ve cómo el entrecruzamiento inteligente y la digitalización de los diferentes niveles jerárquicos del módulo de creación del valor.

- **Realidad aumentada.**

Las empresas del futuro utilizarán la realidad aumentada para proporcionar a los empleados información en tiempo real que permita una mejor toma de decisiones y una mejora de los procedimientos de trabajo.

[15]

## **Las 10 empresas que lideran la industria 4.0.**

Sólo el 13% de las organizaciones del sector ha diseñado ya un plan de transformación estructurado e integral. Desarrollamos algunos de los mejores exponentes internacionales de la cuarta revolución industrial.

La cuarta revolución industrial empieza a pisar los talones, empujando a las compañías a incrementar sus partidas destinadas a tecnología y a plantear cambios organizativos más profundos. La Industria 4.0 ofrece a quienes la abrigan esperanzas de un futuro más próspero, dentro de la inevitable incertidumbre. Según un informe reciente de Accenture, las empresas de bienes de equipo pueden ahorrar 43.000 dólares por empleado y año gracias a la combinación de tecnologías como la realidad virtual y aumentada, la robótica, la inteligencia artificial o la cadena de bloques. Y las energéticas, incrementar su capitalización en 16.000 millones de dólares.

"La digitalización y la industria 4.0 reducirá los costes hasta un 20%, aumentará la productividad en un 8% y hará a la compañía un 4% más eficiente", afirmó la semana pasada el presidente de Seat, Luca de Meo.

Se hace patente la falta de concienciación y de información. Según un estudio realizado por el Foro Económico Mundial, el 88% de las organizaciones aún no entienden las implicaciones de la Industria 4.0 para sus modelos de negocio.

En España, según Sisteplant, tres de cada cuatro empresas industriales se encuentran en una fase intermedia: son conscientes de la importancia e inevitabilidad del cambio digital, pero no encuentran o no han definido todavía los casos de uso. No saben cómo subirse a este tren de un modo eficiente y estratégicamente relevante.

Sólo el 17% de las compañías -13% a nivel internacional, según estimaciones de Accenture- ha decidido abanderar la Industria 4.0, habiendo diseñado ya un plan de transformación estructurado e integral. "Sin contar con ese plan, no hay indicadores (KPI) que medir y comparar", destacaba Eduardo Gálvez, director técnico corporativo de CAF, en un reciente evento organizado en Bilbao, en el que también participaron directivos de Petronor, Siemens y Tecnalía.

Además, salvo contadas excepciones como las que desarrollamos en estas páginas, la mayoría de empresas entiende la transformación digital como una oportunidad para lograr mayores eficiencias, pero temen aún ir un paso más allá, replanteando su modelo de negocio y su forma de interactuar con los clientes.

¿Cómo? Haciendo uso de herramientas digitales, *big data* e innovación abierta.

Para aplicar con éxito un proyecto de transformación digital, lo primero que se necesita es "concienciación y voluntad por parte de los directivos", según Sisteplant. "Hay que romper las barreras mentales que a veces nos bloquean e impiden innovar", agrega Joseba Laka, director de la división de Tecnologías del centro tecnológico Tecnalía.

Y esto aplica no sólo a los departamentos de Márketing y Atención al Cliente, sino también a los procesos productivos de la compañía.

Digitalizar una organización exige un cambio de cultura corporativa que puede resultar chocante, sobre todo en lo concerniente a la transparencia. "El secretismo debe dar paso a una mayor colaboración con clientes, proveedores, universidades... incluso con tus competidores", afirma Eric Schaeffer. [16]

Veamos cuales son las 10 empresas líderes hoy día en la implementación de la industria 4.0 en sus sedes:

### **Schneider Electric**

Schneider Electric conforma un gran ejemplo de una reconversión en una empresa de servicios. Gracias al empleo del Internet de las Cosas, del 'cloud', el análisis de datos, un programa de innovación abierta y una metodología estructurada de innovación, han reducido el 'time to market' de 3 años a sólo 9 meses.

### **Ford**

Ford ha nombrado como nuevo consejero delegado a James Hackett, que hasta ahora dirigía el área de movilidad. Hace años que el grupo experimenta en áreas como el 'carsharing' y las nuevas formas de relación con los clientes, a través de alianzas, inversiones y adquisiciones como la de la israelí Saips.

### **BMW**

El fabricante alemán BMW ha logrado integrar la información sobre clientes en su proceso productivo, poniendo a su disposición, por ejemplo, una plataforma online a través de la que pueden personalizar sus pedidos hasta ocho días hábiles antes de comenzar el ensamblaje, sin un impacto en los tiempos de entrega.

### **Legó**

Legó ha sabido reinventarse en los últimos tiempos, yendo mucho más allá que una mera marca de juguetes de plástico. Hoy se posiciona como una empresa de diseño que colabora con 'retailers', universidades y empresas desarrollando experiencias ramificadas, y no sólo físicas sino también digitales y virtuales.

## **John Deere**

John Deere es un ejemplo de cómo la transformación digital no sólo tiene que ver con generar eficiencias, sino también con generar nuevos modelos de ingresos. La firma ha evolucionado de la venta de maquinaria a ofrecer a los agricultores servicios digitales como alertas meteorológicas y otros asesoramientos sobre los cultivos.

## **Rolls-Royce**

Uno de los casos desarrollados en el libro 'Industry X.0' de Eric Schaeffer es el de Rolls-Royce, que usa sensores y analítica predictiva para controlar el funcionamiento de sus motores y, en base a esos datos, hacer recomendaciones que permitan a sus clientes reducir sus costes a medio y largo plazo.

## **Airbus**

ProtoSpace de Airbus es una red organizada de espacios de innovación, ubicados en las principales sedes de la compañía, donde empleados de todas las áreas pueden crear y probar prototipos de nuevos diseños, nuevas formas de fabricar y nuevas soluciones en el ámbito de las nuevas tecnologías.

## **Siemens**

Siemens posee en Amberg (Baviera) una de las fábricas más automatizadas del mundo, que combina el análisis de datos con la inteligencia artificial. En 1995, la planta gestionaba 5.000 procesos de datos al día; hoy son más de 50 millones, la mayoría procedente de comunicaciones máquina a máquina.

## **Xiaomi**

El fabricante chino de 'smartphones' Xiaomi se ha animado a implantar el 'crowdsourcing' en el desarrollo de sus tecnologías 'core', lo que le permite optimizar sus inversiones en I+D. En concreto, Xiaomi ha solicitado la colaboración de terceros para desarrollar su sistema operativo y modelos como el Elephone Z1.

## **Dow Chemical**

Dow Chemical empezó a usar modelos predictivos a nivel corporativo en 2012, para estimar la demanda y optimizar sus operaciones. Entre otras cosas, se analizan en tiempo real los tipos de cambio y los márgenes para ayudar a la compañía en sus estrategias de abastecimiento de materias primas. [17], [18]

### **2.2.3.2. La innovación**

Otro punto, una vez estudiadas las necesidades de información y que carencias tiene la instalación actual es trabajar sobre que innovaciones vamos a dotar al proyecto para llegar a tener una instalación completa en todos los ámbitos.

Vamos a realizar un estudio la innovación y sus tipos:

**La innovación.** Es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto o servicio de un proceso, de un nuevo método de comercialización u organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.

Para que haya innovación, es indispensable que el producto, proceso, método de comercialización o el método de organización aporten algo nuevo para la empresa. Es decir, este concepto engloba todos los procesos y métodos que las empresas es la primera vez que desarrollan, ya sea adaptándolos de otras empresas o si son desarrollados de forma interna.

Las actividades innovadoras se corresponden con todas las operaciones científicas, tecnológicas, organizativas, comerciales y financieras que tienen como objetivo conducir a la introducción de innovaciones. Una característica común a todos los tipos de innovación es que deben haber sido introducidos en el marco de operaciones de la empresa, es decir, lanzados al mercado. Por ello las empresas innovadoras son aquellas que han introducido una innovación durante un período determinado.

### **Tipos de innovación**

A continuación se definen los diferentes tipos de innovación comentados anteriormente.

- **Innovación de producto:**

Una innovación de producto se corresponde con la introducción de un bien o de un servicio nuevo, o mejorado de una manera significativa, en cuanto a su uso y/o sus características. También se incluyen las mejoras significativas de las características técnicas, de los componentes y los materiales u otras características funcionales.

Este tipo de innovaciones pueden utilizar nuevos conocimientos o tecnologías, o basarse en nuevas utilidades o combinaciones de conocimientos o tecnologías ya existentes. En cambio, los nuevos productos, son bienes que difieren significativamente, desde el punto de vista de sus características de los productos ya preexistentes en la empresa. Un claro ejemplo son los microprocesadores y cámaras fotográficas, ya que recurren a nuevas tecnologías para seguir innovando.

- **Innovación de proceso:**

Una innovación de proceso es la introducción de un nuevo, o proceso ya existente significativamente mejorado, proceso de producción o de distribución. Ello implica cambios significativos en las técnicas, los materiales y/o los programas informáticos. Estas innovaciones tienen por objeto disminuir los costes de producción, mejorar la calidad, o producir o distribuir nuevos productos.

Como ejemplos de nuevos métodos de producción, destaca la introducción de nuevos equipamientos automatizados en una cadena de fabricación o la instalación de un diseño asistido por ordenador para el desarrollo de un producto.

También se consideran innovación de proceso la introducción de una nueva, o significativamente mejorada, tecnología de la información y la comunicación (TIC) si está destinada a mejorar la eficiencia y/o la calidad de una actividad de apoyo básico.

- **Innovación de mercadotecnia:**

Una innovación de mercadotecnia es la aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño de un producto, su posicionamiento, su promoción o su tarificación. Estas innovaciones tratan de satisfacer mejor las necesidades de los consumidores, abrir nuevos mercados, posicionar en el

mercado de una nueva manera un producto de la empresa con el fin de aumentar sus ventas. También incluyen cambios significativos en el diseño de producto, principalmente en sus embalajes y envasados, ya que son los principales determinantes del aspecto del producto.

Un claro ejemplo sería el diseño de una línea de muebles con el fin de darle un nuevo aspecto y hacerla más atractiva. Este tipo de innovaciones también incluyen los nuevos métodos en materia de promoción de productos, el desarrollo de la imagen de la marca y los nuevos métodos de comercialización y de posicionamiento de productos, principalmente con la creación de nuevos canales de venta como la venta directa, venta indirecta, red de franquicias, venta al por menor con cláusula de exclusividad, concesión de licencias de producto (normalmente para software)...

- **Innovación de organización:**

Una innovación de organización es la introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa, que tienen como objeto mejorar los resultados reduciendo los costes administrativos o de transacción, mejorando el nivel de satisfacción en el trabajo, facilitando el acceso a bienes no comercializados o reduciendo los costes de los suministros.

Estas innovaciones en las prácticas empresariales implican la introducción de nuevos métodos para organizar las rutinas, nuevas prácticas para mejorar el aprendizaje y la distribución del conocimiento en la empresa, como por ejemplo, la introducción de prácticas de formación del personal y mejora de las condiciones que permiten mantener a los empleados, como los sistemas de educación y formación. Si nos referimos al lugar de trabajo, las innovaciones de organización implican la introducción de nuevos métodos de atribución de responsabilidades y del poder de decisión entre los empleados. Un ejemplo sería conceder mayor autonomía de decisión y les anime a comunicar sus ideas. Para ello, se puede descentralizar el control de gestión y las actividades del grupo o crear equipos formales o informales en los cuales cada empleado goce de una mayor flexibilidad.

En cuanto a las relaciones exteriores, la introducción de nuevas maneras de organizar las relaciones con las otras empresas o instituciones públicas, así como el establecimiento de nuevas formas de colaboración con organismo de investigación, clientes u otras empresas de la competencia, también cumplen con los objetivos de mejorar los resultados de la empresa en cuanto a costes se refiere. [19]

#### **2.2.4. Fuentes de información a consultar.**

Para poder llevar a cabo el proyecto se han de consultar documentos oficiales, leyes europeas y nacionales, proyectos de investigación anteriores, normas UNE, columnas de opinión de expertos, páginas web corporativas de las empresas líderes, etc., es decir, un gran volumen de información.

Hay que entender que es el concepto de industria 4.0, y que puntos de esta nos serán de utilidad para aplicarlos a nuestro proyecto. Estudiar la evolución de la industria desde la primera revolución industrial hasta la actual y futura “Smart Factory”.

Para encontrar la información necesaria para realizar el proyecto se consultaran diferentes fuentes de información: [20], [21], [22], [23]

- **Ámbito legislativo:**
  - Directivas de la Unión Europea, como la Directiva Medio Ambiental 2004/35/CE.
  - Leyes del estado Español, como las Leyes 20/2009 PCA sobre la intervención Medio Ambiental, Ley local 16/2002 sobre impactos acústicos, Ley general 3/2010 sobre seguridad contra incendios, entre otros.
  - Reglamento electrotécnico de baja tensión.
  - Clasificación de actividad según el impacto económico (código CCAE-2009).
  
- **Análisis de mercado y competencia:**
  - Páginas webs de fabricantes de enfriadoras, bombas.
  - Nombre de empresas del sector, número de explotaciones, tipos de instalación: Instituto Nacional de Estadística (INE)
  - Páginas webs de ingenierías centradas en la automatización y scadas.

- Tipos de instalaciones y características:
  - Ministerio de industria.
  - Colegio de ingenieros de Barcelona.
  - Webs de frío industrial.

### **2.3. Alcance detallado del proyecto**

El proyecto pretende actualizar e incorporar la instalación a la industria 4.0, este el objetivo principal y en el que el proyecto está centrado continuamente. Para ello, se va a detallar hasta donde se abarca, que cosas no se realizan y que cosas quedan incluidas dentro del mismo.

El alcance del proyecto estará ligado a dar una solución tecnológica a la instalación actual de la empresa, se desea conseguir una instalación moderna y sin ninguna carencia tecnológica. Si repasamos los objetivos más genéricos podremos observar y concretar el alcance del proyecto:

- Integración de dispositivos electrónicos “sensores” tanto digitales como analógicos que proporcionen a la instalación todas las variables significativas.
- Necesidad de conectividad total del sistema, acceso a redes para conseguir una accesibilidad total en remoto y desde internet.
- Implementación de la instalación en un sistema visual para un control total hombre-máquina. Una implementación que sea flexible y sobretodo intuitivo.
- Una gestión importante medioambiental, resaltando en este el recurso natural tanpreciado como es el agua y la energía eléctrica.
- Un control total de la instalación tanto en remoto como en local con posibilidades de poder realizar los mantenimientos preventivos sin problemas y con todas las garantías de seguridad.
- Una adquisición de todos las variables del sistema y señales para poder realizar un “big data” y poder disponer de esta valiosa información en cuanto sea necesario.

Por lo tanto los objetivos a cumplir en la realización de este proyecto será toda una serie de faenas eléctricas, de programación y diseño.

Al ser un proyecto de mejora de unas de las instalaciones de Grifols S.A. y al ser una propuesta personal que se llevará a cabo en un tiempo cercano, tenemos la suerte que el reloj no será un problema, aunque se marcaran bien las faenas y tiempo para acotar y realizar el proyecto en un determinado tiempo.

Este proyecto será un proyecto para que una vez se tenga todo claro y definido, poder llevar a cabo en una manera escalonada, incorporando modificaciones de programación en producción y a fines de semana. La modificación severa se realizará en un paro de verano, donde la fábrica está parada todo el agosto. Es una instalación que no se puede parar y dejar sin suministro a la empresa ya que es necesaria para la producción, con lo que habrá que estudiar muy bien los recursos y los tiempos una vez se inicie el proyecto.

El alcance del proyecto será:

- Realización de estudio de diseño para incorporar el sistema actual a una instalación dentro de la industria 4.0.
- Modificación eléctrica del cuadro de control, incorporación de todos los dispositivos necesarios para tener un control total y accesible del sistema.
- Realización de esquemas eléctricos para modificar el cuadro de control.
- Cableado de todos los nuevos sensores de la planta.
- Programación del nuevo sistema de control en entorno PLC Siemens.
- Programación y diseño del entorno gráfico hombre-máquina en una pantalla HMI para tener un control visual total de la instalación y cualquier variable de la misma.
- Programación variadores de frecuencia.
- Programación del módulo GSM de comunicación de alarmas.
- Dar al sistema de conectividad total al mismo para conseguir acceso desde cualquier lado mediante internet.
- Tener un sistema versátil capaz de con pequeñas modificaciones adaptarse a cualquier planta de Grifols S.A.

Uno de los puntos que se tendrá muy en cuenta es en conseguir un sistema versátil y adaptable. Con esto queremos que queramos decir, en Grifols S.A., hay muchas plantas de enfriamiento de agua, el sistema debe ser capaz de adaptarse a cualquier sistema de

enfriamiento de la empresa sólo con la configuración de pocos parámetros como pueden ser, números de enfriadoras y bombas.

En el proyecto se adjuntaran los planos eléctricos finales, con todas las modificaciones y todos los nuevos dispositivos que equiparan a la nueva instalación de todo lo necesario para ser una instalación autónoma. También se adjuntaran los programas de control PLC y la pantalla de usuario HMI, los programas de los variadores de frecuencia y los manuales de usuario y mantenimiento de la instalación

El proyecto no incluye toda la parte mecánica y modificación de tuberías para la instalación de todos los nuevos dispositivos de control, analógicos y digitales. Esta parte irá ligada al desarrollo de otro proyecto que lo llevarán los mecánicos y soldadores de la empresa. En esta parte mecánica que no se realiza, estarían contempladas todas las tareas y las horas de operarios mecánicos a la hora de instalar los nuevos sensores en la tubería.

### 3. Objetivos de detalle y especificaciones técnicas.

En este apartado, se indican los objetivos del proyecto y se relacionan estos con las especificaciones técnicas que lo harán posible. La elección de las especificaciones técnicas finales se expresan detalladamente en el *“capítulo III de los anexos”*.

Los objetivos planteados son el resultado del análisis del problema a solucionar y de las exigencias del cliente, en este caso Grifols S.A. Mientras que las especificaciones técnicas son variables medibles que se completaran explícitamente para poder conseguir los objetivos del proyecto.

Para conseguir unas especificaciones técnicas se ha realizado un estudio exhaustivo de la instalación actual, sus carencias, problemas y todos los puntos que necesita la instalación mejorar.

Se ha utilizado como herramienta el QFD (Quality Function Deployment), conocido como la casa de la calidad, para a partir de los objetivos encontrar las especificaciones técnicas necesarias para llevar a cabo el proyecto. Más información acerca del QFD en el *“capítulo I de los anexos”*.

El proyecto tiene un objetivo general que sin él no puede seguir en adelante, éste es la digitalización de la instalación.

En el *“capítulo 2 introducción”*, al inicio del proyecto se muestra un diagrama de la situación actual de la instalación. Ahora, una vez definidos los objetivos, y teniendo claro que sin el primer objetivo “Digitalización de la instalación”, se ha diseñado el diagrama final una vez digitalizado el sistema.

Vamos a mostrar la imagen actual y la esperada una vez digitalizada la instalación.

Con estas dos imágenes podremos observar lo lejos que está actualmente la instalación a día de hoy y el trabajo que tenemos por delante.

En las siguientes imágenes se puede apreciar dicha digitalización.

Situación actual de la instalación. Se puede observar que no tenemos información ninguna de la instalación al carecer completamente de sensores el sistema:

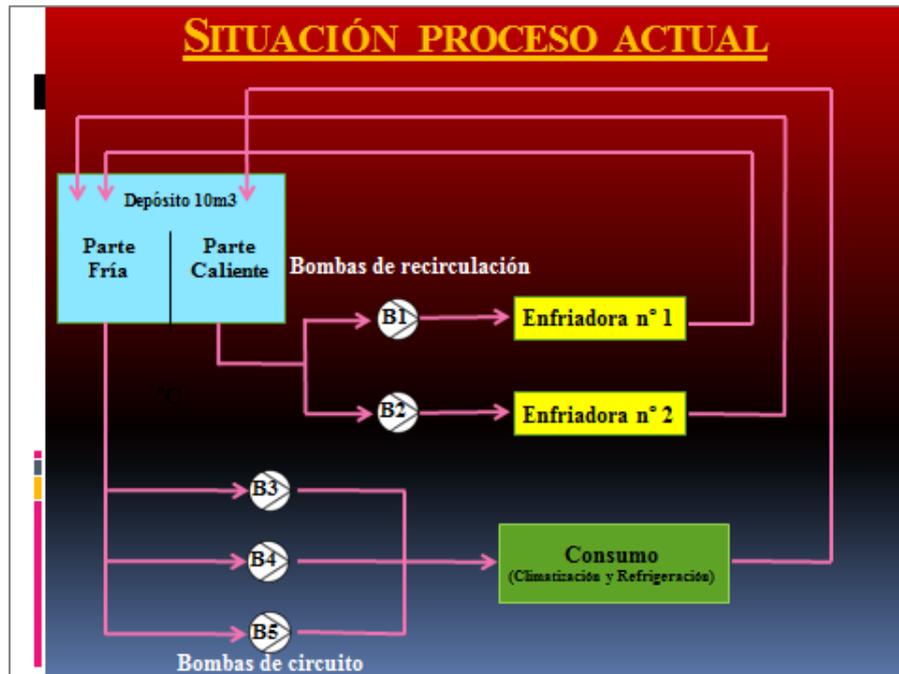


Figura 3-1: Diagrama situación actual de la instalación Fuente: Propia

Situación final una vez finalizado el proyecto:



Figura 3-2: Diagrama situación final de la instalación Fuente: Propia

En el diagrama después de la realización del proyecto, podemos observar la cantidad de sensores e información importante que dispondremos, y que tendrán un gran valor para la empresa.

Una vez acotado el objetivo inicial y visto el diagrama final podemos dar paso a los objetivos y sus especificaciones técnicas:

Los objetivos estarán definidos en 5 puntos. A continuación, se indican los objetivos del proyecto con las especificaciones técnicas asociadas:

- Digitalización y actualización de la instalación con el fin de conseguir cualquier variable importante del sistema, que nos pueda proporcionar información valiosa tal y como se observa en la figura 3-2.
  - Transductor de presión salida 4-20mA para dar una lectura analógica del nivel del depósito.
  - Sondas de temperatura PT-100 con salida 4-20mA.
  - Transductores de presión con salida 4-20mA para controlar las diferentes presiones del circuito.
  - Caudalímetros con salida 4-20mA para el control del paso del agua en cada punto del circuito.
  
- Diseño de un sistema de control autónomo y automático, con el fin de crear una instalación que sepa reaccionar ante cualquier cambio de variable del sistema. Creación de un entorno hombre-máquina intuitivo y sencillo.
  - Electroválvula de llenado del depósito.
  - PLC Siemens S7-300.
  - Pantalla táctil HMI de Proface GP-4501 TW, hará posible el entorno hombre-máquina con el control total de toda la instalación.
  - Módulo GSM Hermes LC1 con 8 entradas digitales i histórico de registros.

- Optimización de los recursos naturales y energéticos:
  - Software de control PLC S7-300, capaz de poner en marcha el elemento del sistema necesario en cada momento con tal de optimizar los recursos energéticos al máximo.
  - Software de control PLC S7-300 para un control de la electroválvula de llenado del depósito con tal de optimizar el recurso natural tanpreciado como es el agua.
  - Variadores de frecuencia Omron de la familia V1000 para un control PID minucioso de todas las bombas de circuito del sistema.
  - Arrancadores suaves para bombas de recirculación.
  
- Control en tiempo real, con conectividad total, configuración y gestión del sistema:
  - Tarjeta de Ethernet para una total conectividad.
  - Pantalla táctil de control HMI con acceso mediante web server.
  - Módulo GSM Hermes LC1 con 8 entradas y salidas digitales.
  - Sensores de presión, temperatura y caudal.
  
- Adaptable y versátil a cualquier planta de Grifols S.A. Será un sistema que con unas pequeñas modificaciones vía parámetros configurables en la interface gráfica HMI el sistema pueda adaptarse a cualquier planta de la empresa sin necesidad de rehacer todo el proyecto. Todo ello gracias a un software tanto en el PLC como en la pantalla que tendrá la opción de poder parametrizar cualquier variable del sistema y elementos de la misma.
  - Pantalla táctil HMI con software completamente parametrizable.
  - PLC Siemens S7-300.

## **4. Marco conceptual.**

En este apartado se tratará el marco teórico que engloba el proyecto, es decir, todas las cuestiones teóricas necesarias para poder desarrollar el proyecto y poder entenderlo completamente.

### **4.1. PLC**

Una de las partes más importante y que tiene más peso en la actualización e incorporación de la instalación a la industria 4.0, es el PLC, como indican sus siglas (Controlador Lógico Programable). Éste, será el encargado de gestionar todas las nuevas señales, tanto digitales como analógicas, tratarlas y gestionar el software de control para cumplir todos los objetivos establecidos al inicio del proyecto.

#### **4.1.1. Definición**

La definición dada por NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) dice que un PLC, es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan fácilmente a nuevas tareas debido a su flexibilidad a la hora de programarlos, reduciendo así los costos adicionales a la hora de elaborar proyectos. Permiten también una comunicación inmediata con otro tipo de controladores y ordenadores e incluso permiten realizar las operaciones en red. Como ya se ha mencionado previamente, tienen una construcción estable al estar diseñados para poder resistir condiciones adversas sobre vibraciones, temperatura, humedad y ruidos. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con técnicos cualificados para ocuparse de su buen funcionamiento. [24]

#### **4.1.2. Breve historia de los PLCs**

Desde el comienzo de la industrialización, el hombre ha buscado cómo hacer que los trabajos se realizasen de la forma más ágil y menos tediosa para el operador en cuestión. Los PLCs han sido un mecanismo clave en este proceso puesto que permiten, entre otras cosas, que ciertas tareas se realicen de forma más rápida y que el hombre evite su aparición en trabajos peligrosos tanto como para él, como para su entorno más próximo. De este modo, hoy en día estamos rodeados de estos mecanismos que, rebasando la frontera de lo industrial, pueden encontrarse en semáforos; gestión de iluminación en parques, jardines y escaparates; control de puertas automáticas; e incluso en el control de dispositivos del hogar como ventanas, toldos, climatización, etc.

El desarrollo de los PLCs fue dirigido originalmente por los requerimientos de los fabricantes de automóviles. Estos cambiaban constantemente los sistemas de control en sus líneas de producción de modo que necesitaban un modo más económico para realizarlo puesto que, en el pasado, esto requería un extenso re-alambrado de bancos de relevadores (procedimiento muy costoso). De este modo, a finales de los años 60, la industria necesitaba cada vez más un sistema de control económico, robusto, flexible y fácilmente modificable. Así, en 1968 aparecieron los primeros autómatas programables (APIs o PLCs). La compañía americana Bedford Associates sugirió así un Controlador Modular Digital (MODICON) para su utilización en una compañía de automoción y MODICON 084 fue el primer PLC con una aplicación industrial (1968). Los nuevos controladores debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento,

su tiempo de vida debía ser largo y los cambios de programa tenían que realizarse de forma sencilla. También se imponía que pudiera trabajar sin problemas en entornos adversos. Para ello se utilizó una técnica de programación familiar y se reemplazó el uso de relevadores mecánicos por otros de estado sólido.

A principios de los 70, los PLC ya incorporaban el microprocesador. En 1973 aparecieron los PLCs con la capacidad de comunicación - Modbus de MODICON. De este modo, los PLCs eran capaces de intercambiar información entre ellos y podían situarse lejos de los procesadores y los objetos que iban a controlar. Así se incorporaron también más prestaciones como manipulación de datos, cálculos matemáticos, elementos de comunicación hombre-máquina, etc. A mediados de los años 70 – apareció la tecnología PLC, basada en microprocesadores bit-slice (ej. AMD 2901/2903). Los principales productores de PLCs en esos tiempos se convirtieron en compañías como: Allen-Bradley, Siemens, Festo, Fanuc, Honeywell, Philips, Telemecanique, General Electric etc. Además, se realizaron mejoras como el aumento de su memoria; la posibilidad de tener entradas/salidas remotas tanto analógicas como numéricas, funciones de control de posicionamiento; aparición de lenguajes con mayor número de funciones y más potentes; y el aumento del desarrollo de las comunicaciones con periféricos y ordenadores. Por ese entonces, las tecnologías dominantes de estos dispositivos eran máquina de estados secuenciales y con CPUs basadas en el desplazamiento de bit. Los PLC más populares fueron los AMD 2901 y 2903 por parte de Modicon. Los microprocesadores convencionales aportaron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLCs. Así, por cada modelo de microprocesador, existía un modelo de PLC basado en el mismo, aunque fue el 2903 uno de los más utilizados. Sin embargo, esta falta de estandarización generó una gran variedad de incompatibilidades en la comunicación debido a la existencia de un maremágnum de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí.

Fue en los años 80, cuando se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motor. Se consiguió también reducir las dimensiones de los PLC y se pasó a programar con una programación simbólica a través de ordenadores personales en vez de los terminales clásicos de programación. De hecho, hoy en día, el PLC más pequeño es del tamaño de un simple relevador. Así, en la década de los 80 se mejoraron las prestaciones de los PLCs referidas a: velocidad de respuesta, reducción de las dimensiones, concentración del

número de entradas/salidas en los respectivos módulos, desarrollo de módulos de control continuo, PID, servo controladores, control inteligente y fuzzy.

Los años 90 mostraron una reducción gradual en el número de protocolos nuevos y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que lograron sobrevivir a los años 80. El último estándar, IEC 1131-3, trata de unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Hoy en día disponemos de PLC's que pueden ser programados en diagramas de bloques, listas de instrucciones o incluso texto estructurado al mismo tiempo. Sin embargo, los ordenadores comenzaron a reemplazar al PLC en algunas aplicaciones e incluso la compañía que introdujo el Modicon 084 ha cambiado su control en base a un ordenador. Cabe esperar que, en un futuro no muy lejano, el PLC desaparezca al disponer de ordenadores cada vez más potentes y todas las posibilidades que estos pueden proporcionar.

Hoy en día, la tendencia actual es dotar al PLC de funciones específicas de control y canales de comunicación para que pueda conectarse entre sí y con ordenadores en red, creando así una red de autómatas. [25]

### 4.1.3. Estructura general de los PLCs

El siguiente diagrama de flujo muestra los componentes y la estructura de un PLC:

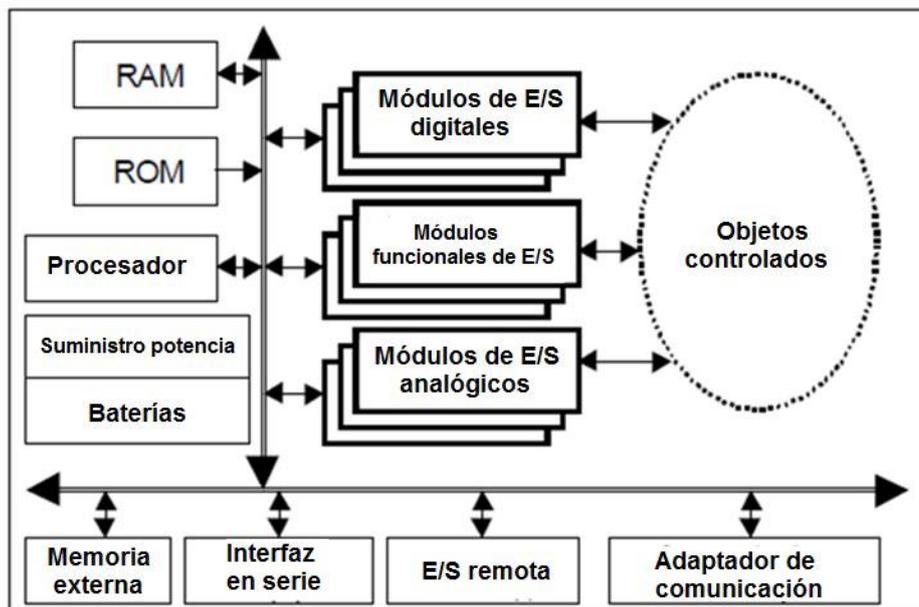


Figura 4-1: Estructura general de los PLCs Fuente: [www.ieec.uned.es](http://www.ieec.uned.es)

Como puede observarse en la figura, para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques. Los valores más frecuentemente utilizados son  $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$  y  $\pm 24V$  y existen principalmente dos módulos de suministro de potencia: los que utilizan un voltaje de entrada de la red de trabajo los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos.

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, prueba también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo. Los primeros PLCs utilizaron chips que habían sido procesados mediante la técnica denominada “bit-slice”, como el AMD2901, 2903, etc.

La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs es posible gracias a cuatro tipos de buses diferentes:

- bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales.
- bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos.
- bus de control, para las señales de control de los componentes internos.
- bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

El lugar donde se guardan los datos y las instrucciones es la memoria que se divide en memoria permanente, PM, y memoria operacional, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM. La primera, la PM, se basa en las ROM, EPROM, EEPROM o FLASH; es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM, es donde se guarda y ejecuta el programa en cuestión utilizado y es la de tipo SRAM la que se utiliza habitualmente. La condición común para las entradas de dos componentes digitales de un PLC se guarda en una parte de la RAM y se denomina tabla PII o entrada imagen de proceso. La salida controlada, o el último valor de la salida calculado por las funciones lógicas, se guardan en la parte de la RAM denominada tabla PIO, salida de la imagen del proceso. El programa utilizado también puede guardarse en

una memoria externa permanente (EPROM o EEPROM) que, para ciertos PLCs, puede ser un módulo externo que se coloca en una toma del panel frontal.

Finalmente, los módulos de E/S, son aquellos módulos de señal (SM) que coordinan la entrada y salida de las señales, con aquellas internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMs analógicos utilizan en general un voltaje en DC y una corriente directa. De este modo, opto acopladores, transistores y relés son empleados en la salida digital del SMs para cambiar los estados de la señal de salida con el fin de proteger a estos dispositivos de situaciones como un cortocircuito, una sobrecarga o un voltaje excesivo. El número de entradas y/o salidas de los SMs digitales es también bastante más elevado que en los analógicos, siendo los primeros más de 8,16 o 32, mientras que los segundos son, a lo sumo 8. Finalmente, los términos “Sinking” y “Sourcing” explican cómo se realiza la conexión de las PLC a los sensores y actuadores:

- Sinking = Línea GND común (-) – tierra común
- Sourcing = Línea VCC común (+) – suministro de potencia común

#### 4.1.4. Componentes hardware de los PLCs

Un PLC puede contener un casete con una vía en la que se encuentran diversos tipos de módulos, como puede observarse en la siguiente figura, correspondiente a una PLC de la empresa Siemens:

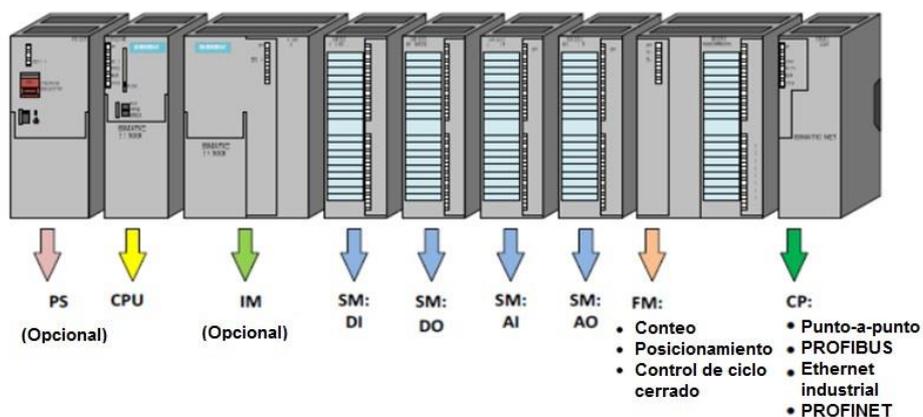


Figura 4-2: Hardware de los PLC Fuente: Siemens

Dentro del hardware de un PLC podemos encontrar diferentes tarjetas que forman el hardware del PLC, entre ellas podemos encontrar:

- Fuente alimentación.
- CPU.
- Entradas/Salidas digitales.
- Entradas/Salidas analógicas.
- Tarjetas de comunicación (Ethernet, Profibus, Profinet, etc...)
- Tarjetas de montaje, posicionamiento, etc...

#### **4.1.5. Tipo de señales que usan los PLCs**

Un PLC recibe y transfiere señales eléctricas, expresando así variables físicas finitas (temperatura, presión etc.). De este modo es necesario incluir en el SM un convertidor de señal para recibir y cambiar los valores a variables físicas. Existen tres tipos de señales en un PLC: señales binarias, digitales y analógicas.

1. Señales binarias, señal de un bit con dos valores posibles (“0” – nivel bajo, falso o “1” – nivel alto, verdadero), que se codifican por medio de un botón o un interruptor. Una activación, normalmente abre el contacto correspondiendo con el valor lógico “1”, y una no-activación con el nivel lógico “0”. Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto. Así el IEC 61131 define el rango de -3 - +5 V para el valor lógico “0”, mientras que 11 - 30 V se definen como el valor lógico de “1” (para sensores sin contacto) a 24 V DC (Fig.12). Además, a los 230 V AC, la IEC 61131 define el rango de 0 – 40 V para el valor lógico de “0”, y 164 – 253 V para el valor lógico “1”.
2. Señales digitales, se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina un bit. Los formatos típicos de las señales digitales son: tetrad – 4 bits (raramente utilizado), byte – 8 bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits (raramente utilizado).

3. Señales analógicas, son aquellas que poseen valores continuos, es decir, consisten en un número infinito de valores (ej. en el rango de 0 – 10 V). Hoy en día, los PLCs no pueden procesar señales analógicas reales. De este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y vice-versa. Esta conversión se realiza por medio de SMs analógicos, que contienen ADC. La elevada resolución y precisión de la señal analógica puede conseguirse utilizando más bits en la señal digital. Por ejemplo, una señal analógica típica de 0 – 10 V puede ser con precisión (pasos para la conversión en una señal digital) desde 0.1 V, 0.01 V o 0.001 V de acuerdo al número de bits que vaya a tener la señal digital

#### **4.1.6. Principio de funcionamiento**

Un PLC funciona cíclicamente, como se describe a continuación:

1. Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.
2. El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los SM se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.
3. Después, la CPU ejecuta el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.
4. El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a la SM desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo.

En la siguiente figura se muestra el ciclo de operación de un PLC Siemens S7-300 aunque el de otras empresas puede ser algo diferente.

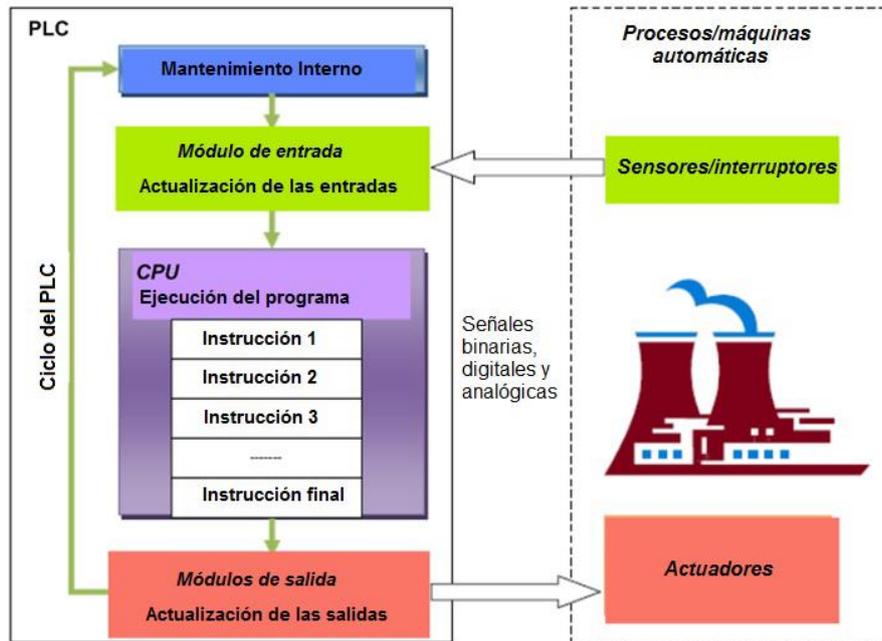


Figura 4-3: Principio de funcionamiento Fuente: Siemens

Respecto al tiempo de reacción entre un determinado evento, debemos mencionar que este dependerá del tipo de ejecución de un ciclo del programa aplicado. De este modo, se define tiempo de reacción como aquel desde el momento de ocurrencia de un evento hasta el momento en el que se envía la correspondiente señal de control a la salida del PLC, como puede observarse en la siguiente figura:

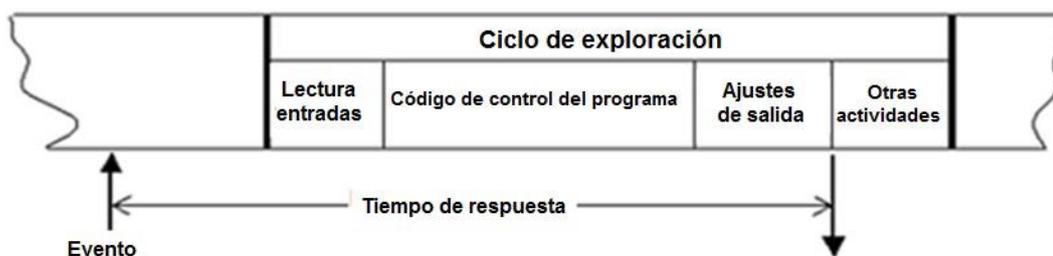


Figura 4-4: Tiempo de respuesta del PLC Fuente: Siemens

Finalmente es interesante saber que los PLCs modernos tienen la capacidad de operar bajo un modo de multitareas. Por ejemplo, un PLC puede trabajar simultáneamente en dos tareas diferentes (utilizando programas distintos). En la práctica, un PLC puede ejecutar solamente una tarea en cada momento, sin embargo, las CPUs de los PLCs trabajan tan extremadamente rápido que parece que el PLC ejecuta diferentes tareas simultáneamente. El estándar IEC 61131 define una tarea como un elemento de ejecución de control, capaz de generar la ejecución de una secuencia de unidades organizadas de un programa (programas definidos) o basada en periodicidad (tareas periódicas) o basada en un evento (tarea no-periódica). Las tareas periódicas se ejecutan periódicamente sobre un tiempo ya definido, establecido por el usuario. Las tareas no-periódicas se ejecutan con la ocurrencia de un determinado evento, relacionado con la tarea. El evento y la tarea se relacionan mediante una variable Booleana. Un bloque de prioridad de tareas se utiliza en las multitareas, el cual establece un plan de la prioridad de las tareas. [26], [27]

## **4.2. HMI**

La HMI es otro de los elementos fuertes del proyecto y el cual tendrá una función clave en el desarrollo del proyecto. Como indican sus siglas (Interface hombre-máquina), la pantalla HMI será la intermediaria entre el PLC y el usuario final. Ésta proporcionará toda la información en tiempo real de cómo está la instalación, el usuario podrá configurar la planta a sus necesidades, ver todo tipo de anomalías de la instalación, ver los totalizadores de todos los elementos de la instalación y historificar cualquier variable del sistema.

### **4.2.1. Definición**

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas, como mostraremos a continuación.

### 4.2.2. Tipos HMI

Descontando el método tradicional, podemos distinguir básicamente dos tipos de HMIs:

**Terminal de Operador**, consiste en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen).

**PC + Software**, esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio. Respecto a los softwares a instalar en el PC de modo de cumplir la función de HMI hablamos a continuación.

### 4.2.3. Software

Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, cual es la tendencia actual.

#### **4.2.4. Comunicación**

La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs. Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC.

En nuestro caso la pantalla HMI tendrá comunicación MPI y Ethernet para el acceso remoto desde cualquier punto del mundo mediante internet. [28]

### **4.3. PID**

Otro punto fuerte de la instalación será el control PID para adecuar en todo momento la frecuencia de las bombas de consumo a la consigna parametrizada. Gracias a los controles PID el sistema buscará siempre la consigna aunque varíen los valores y el consumo. Mediante este control se obtendrá el consumo mínimo eléctrico manteniendo las necesidades de la empresa.

Se realizará un control PID con dos opciones de consigna:

- Presión.
- Caudal.

#### **4.3.1. Definición**

Un controlador PID como dicen sus siglas (Controlador Proporcional-Integral-Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros.

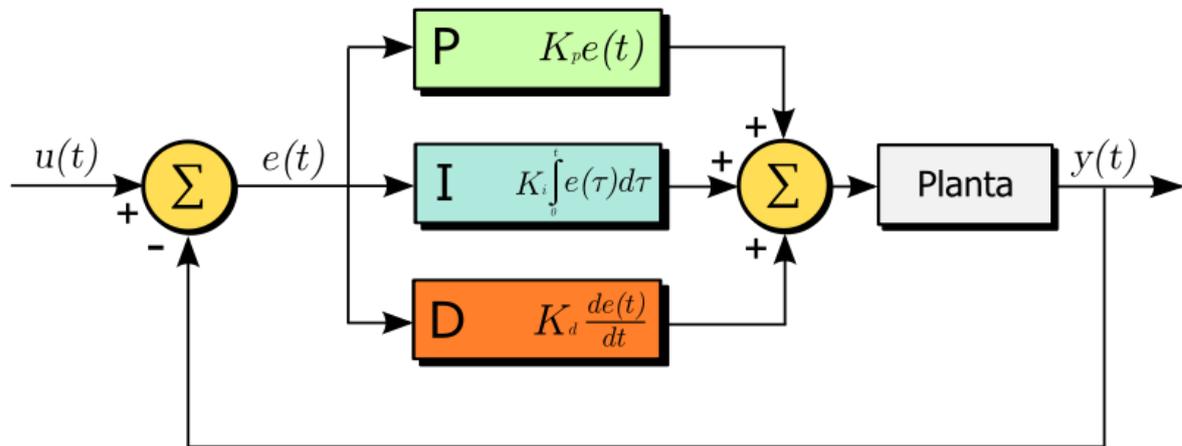


Figura 4-5: Controlador PID Fuente: Wikipedia

La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.

Cuando no se tiene conocimiento del proceso, históricamente se ha considerado que el controlador PID es el controlador más adecuado. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer una acción de control diseñado para los requerimientos del proceso en específico. La respuesta del controlador puede describirse en términos de la respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador sobrepasa el punto de ajuste, y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control. [29]

### **4.3.2. Historia y aplicaciones**

Los primeros controladores PID empezaron con el diseño de los limitadores de velocidad. Posteriormente los controladores PID fueron usados para la dirección automática de barcos. Uno de los ejemplos más antiguos de un controlador PID fue desarrollado por Elmer Sperry en 1911, mientras que el primer análisis teórico de un controlador PID fue publicado por el ingeniero ruso americano Nicolas Minorsky en 1922. Minorsky estaba diseñando sistemas de dirección automática para la Armada de los Estados Unidos, y basó sus análisis observando al timonel, notando así que el timonel controlaba la nave no solo por el error actual, sino también en los errores pasados así como en la tasa actual de cambio, logrando así que Minorsky desarrollara un modelo matemático para esto. Su objetivo era lograr estabilidad, y no control general, lo cual simplificó el problema significativamente. Mientras que el control proporcional brinda estabilidad frente a pequeñas perturbaciones, era insuficiente para tratar perturbaciones constantes, como un vendaval fuerte el cual requería un término integral. Finalmente, el término derivativo se agregó para mejorar el control.

Se realizaron pruebas del controlador en el USS New México (BB-40), donde este se encargaba de controlar la velocidad angular del timón. El control PI se mantuvo virando con un error de  $\pm 2^\circ$ . Al agregar el elemento D se logró un error del  $\pm 1/6^\circ$ , mucho mejor que lo que un timonel podría lograr.

Finalmente, debido a la resistencia del personal, la Armada no adoptó este sistema. Trabajos similares se llevaron a cabo y se publicaron en la década de 1930.

Por tener una exactitud mayor a los controladores proporcional, proporcional derivativo y proporcional integral se utiliza en aplicaciones más cruciales tales como control de presión, flujo, fuerza, velocidad, en muchas aplicaciones química, y otras variables. Además es utilizado en reguladores de velocidad de automóviles (control de crucero o cruise control), control de ozono residual en tanques de contacto.

Un ejemplo muy sencillo que ilustra la funcionalidad básica de un PID es cuando una persona entra a una ducha. Inicialmente abre la llave de agua caliente para aumentar la temperatura hasta un valor aceptable (también llamado "Setpoint"). El problema es que puede llegar el momento en que la temperatura del agua sobrepase este valor así que la persona tiene que abrir un poco la llave de agua fría para contrarrestar el calor y mantener el balance.

El agua fría es ajustada hasta llegar a la temperatura deseada. En este caso, el humano es el que está ejerciendo el control sobre el lazo de control, y es el que toma las decisiones de abrir o cerrar alguna de las llaves; pero no sería ideal si en lugar de nosotros, fuera una máquina la que tomara las decisiones y mantuviera la temperatura que deseamos.

Esta es la razón por la cual los lazos PID fueron inventados. Para simplificar las labores de los operadores y ejercer un mejor control sobre las operaciones. Algunas de las aplicaciones más comunes son:

- Lazos de temperatura (aire acondicionado, calentadores, refrigeradores, etc.)
- Lazos de nivel (nivel en tanques de líquidos como agua, lácteos, mezclas, crudo, etc.)
- Lazos de presión (para mantener una presión predeterminada en tanques, tubos, recipientes, etc.)
- Lazos de caudal (mantienen el caudal dentro de una línea o cañería.

### 4.3.3. Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.).
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador recibe una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia, valor deseado o *set point*), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte **P**roporcional, acción **I**ntegral y acción **D**erivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

#### **4.3.3.1. Proporcional**

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobre oscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación).

La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

La fórmula del proporcional está dada por:

$$P = K_p * e(t) \quad (4.1)$$

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control de control.

$K_p$  constante de proporcionalidad, se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal  $P$  mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

En la siguiente figura se puede ver la respuesta de la proporcional según el valor de la ganancia ( $K_p$ ) que se le coloque: [30]

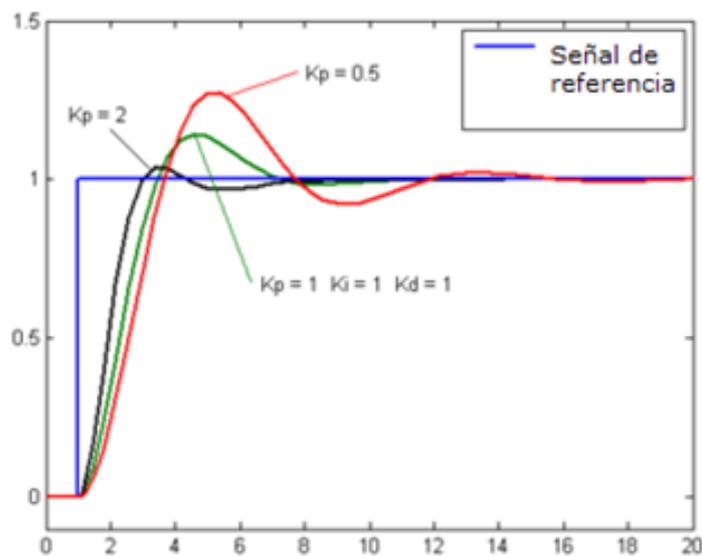


Figura 4-6: Respuesta de la proporcional Fuente: Wikipedia

#### 4.3.3.2. Integral

El modo de control integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por perturbaciones exteriores y los cuales no pueden ser corregidos por el control proporcional.

El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.

El *error* es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante **Ki**. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario. El modo integral presenta un desfase en la respuesta de 90° que sumados a los 180° de la retroalimentación ( negativa ) acercan al proceso a tener un retraso de 270°, luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con 90° de retardo para provocar la oscilación del proceso.

La ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo.

Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional.

El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

La fórmula del integral está dada por:

$$I = Ki \int_0^t \int e(t) dt \quad (4.2)$$

Ki constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

En la siguiente figura se puede ver la respuesta de la integral según el valor de la ganancia ( $K_i$ ) que se le coloque: [30]

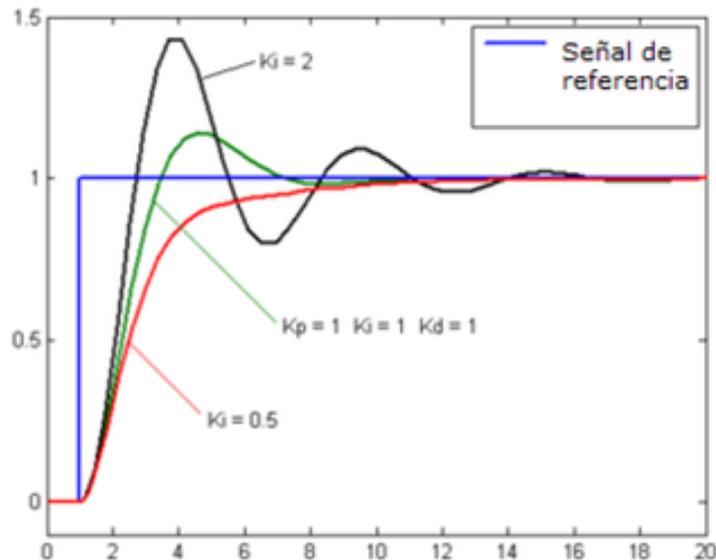


Figura 4-7: Respuesta de la integral Fuente: Wikipedia

#### 4.3.3.3. Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral).

El *error* es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "*Set Point*".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante **Kd** y luego se suma a las señales anteriores (P+I).

Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

La fórmula del derivativo está dada por:

$$D = kd \frac{de}{dt} \quad (4.3)$$

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna.

Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

Kd constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

En la siguiente figura se puede ver la respuesta de la derivada según el valor de la ganancia (Kd) que se le coloque: [30]

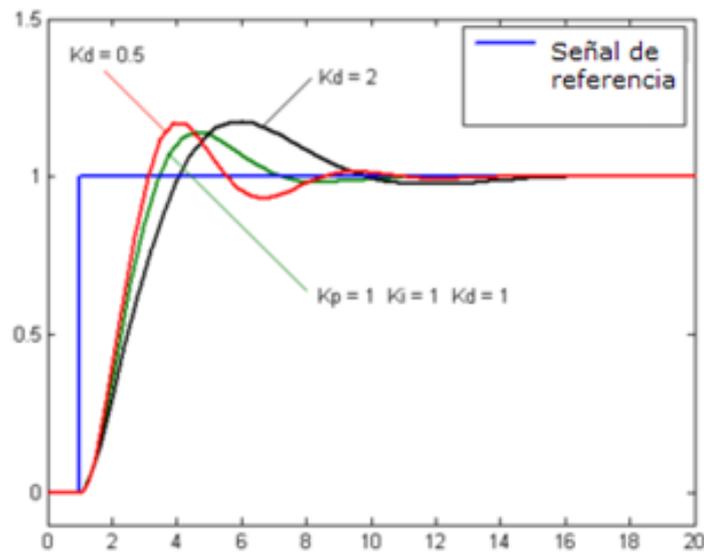


Figura 4-8: Respuesta de la derivada Fuente: Wikipedia

## 4.4. Mecánica de fluidos

- **Caudal**

El caudal  $Q$  es el volumen del fluido por unidad de tiempo que circula por una sección transversal del corriente.

$$Q = v * A \quad (4.4)$$

En un tiempo  $dt$ , el fluido que se mueve con una velocidad  $v$  se ha desplazado una distancia  $dx$ .

Por lo tanto, el volumen de fluido que ha atravesado la sección  $A$  por unidad de tiempo es:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{A * dx}{dt} = A * v \quad (4.5)$$

- **Ecuación de continuidad**

Surge del principio de conservación de la masa. Consideramos el tubo del corriente de la figura, por donde circula un fluido incompresible en régimen uniforme y permanente. En un instante determinado, en un extremo del tubo el fluido está atravesando la sección A1 a una velocidad media  $v_1$  i en el otro extremo del tubo el fluido está atravesando la sección A2 a una velocidad media  $v_2$ .

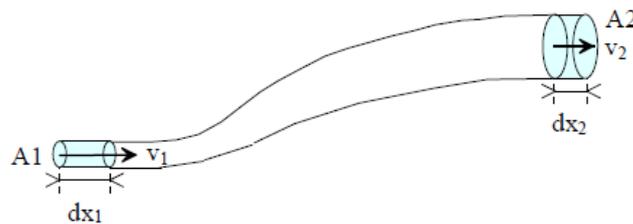


Figura 4-9: Ecuación continuidad Fuente: Apuntes mecánica de fluidos Robert Safont

En un intervalo de tiempo  $dt$ , el fluido en el extremo izquierdo del tubo se mueve una distancia:

$$dx_1 = v_1 \cdot dt \quad (4.6)$$

Si  $A_1$  es el área de la sección transversal en esta región, entonces la masa del fluido que ha atravesado  $A_1$  en el intervalo  $dt$  es:

$$dm_1 = \rho \cdot A_1 \cdot dx_1 = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot dt \quad (4.7)$$

Igualmente en el otro extremo del tubo tendremos que en el mismo intervalo de tiempo  $dt$ , una masa de fluido habrá atravesado la sección  $A_2$  con una velocidad  $v_2$ :

$$dm_2 = \rho \cdot A_2 \cdot dx_2 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot dt \quad (4.8)$$

Como el fluido es incompresible y el régimen es estable, la masa  $dm_1$  de fluido que entra por  $A_1$  en un intervalo  $dt$  debe ser igual a la masa  $dm_2$  de fluido que sale por  $A_2$  en el mismo intervalo:

$$dm_1 = dm_2 \rightarrow \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot dt = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot dt \rightarrow \rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \quad (4.9)$$

Como la densidad es constante, obtenemos una ecuación que nos dice que el producto del área de la sección considerada por la velocidad, es decir, el caudal, es constante en todo el tubo de corriente.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = Q = \text{constant} \quad (4.10)$$

Esta ecuación se conoce como ecuación de continuidad.

- **Ecuación de Bernoulli**

Surge el principio de la conservación de la energía. Relaciona la presión, la velocidad y la altura de un fluido en movimiento. Consideramos el mismo tubo de corriente que nos ha servido para estudiar la ecuación de continuidad, donde el fluido se mueve en el sentido de izquierda a derecha.

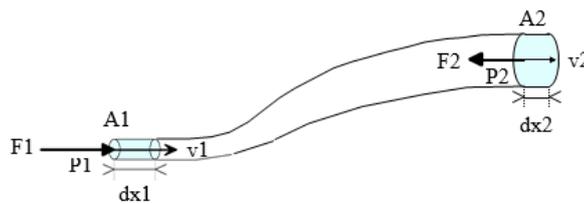


Figura 4-10: Ecuación Bernoulli Fuente: Apuntes mecánica de fluidos Robert Safont

En el extremo izquierdo la presión es  $P_1$ , y la fuerza que esta presión ejerce sobre el fluido del interior del tubo es  $F_1 = P_1 \cdot A_1$ . En el otro extremo la presión es  $P_2$ , y la fuerza que esta presión ejerce sobre el fluido del interior del tubo es  $F_2 = P_2 \cdot A_2$ .

¿Cuál es el trabajo que estas dos fuerzas realizan sobre el fluido del tubo de corriente en un intervalo  $dt$ ?

Como el fluido se desplaza una longitud  $dx_1$  en el lado izquierdo y una longitud  $DX_2$  en el lado derecho, tenemos:

$$\begin{aligned} dW_1 &= F_1 \cdot dx_1 & dW_2 &= -F_2 \cdot dx_2 \\ dW &= dW_1 + dW_2 = F_1 \cdot dx_1 - F_2 \cdot dx_2 = P_1 \cdot A_1 \cdot dx_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot dx_2 \end{aligned} \quad (4.11)$$

(El trabajo es positivo en el lado izquierdo para que la fuerza va en el sentido del desplazamiento, mientras que en el lado derecho el trabajo es negativo porque la fuerza va en el sentido contrario al desplazamiento).

$$dW = P_1 \cdot A_1 \cdot dx_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot dx_2 \quad (4.12)$$

Pero, los volúmenes considerados a cada lado son iguales,  $A_1 \cdot dx_1 = A_2 \cdot dx_2 = dV$

$$dW = (P_1 - P_2) \cdot dV \quad (4.13)$$

En qué se invierte este trabajo. Al modificar la energía cinética y la energía potencial del fluido,  $dW = dK + dU$ . Pero, la parte central del tubo queda igual; sólo tenemos que calcular las variaciones de energía cinética y potencial de las dos masas iguales de fluido consideradas en los extremos:

$$\begin{aligned} dK &= K_2 - K_1 = \frac{1}{2} \cdot dm_2 \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot dm_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot dm \cdot (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot dV \cdot (v_2^2 - v_1^2) \\ dU &= U_2 - U_1 = dm_2 \cdot g \cdot h_2 - dm_1 \cdot g \cdot h_1 = dm \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = \rho \cdot dV \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \\ dW &= dK + dU \rightarrow (P_1 - P_2) \cdot dV = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot dV \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot dV \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Simplificando el diferencial del volumen:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (4.15)$$

Ordenando los términos, tenemos:

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \quad (4.16)$$

Esta es la ecuación de Bernoulli:

$$P + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constant} \quad (4.17)$$

En esta expresión de la ecuación de Bernoulli los tres términos tienen dimensiones de presión.

Nótese que si hacemos  $v = 0$  (fluido en reposo) recuperamos la ecuación fundamental de la hidrostática ( $P + \rho \cdot g \cdot h = \text{constante}$ ). La ecuación de la hidrostática se puede considerar como un caso particular de la ecuación de Bernoulli.

También podemos expresar la ecuación de Bernoulli en términos de energía (multiplicamos todos los términos de la ecuación por el factor  $m / \rho$ ). Desde el punto de vista de las energías, tenemos tres tipos de energía: la cinética, la potencial y la de compresión debida a la presión. La ley de Bernoulli dice que la suma de las tres energías debe ser constante.

$$P \cdot \frac{m}{\rho} + m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \text{constant} \quad (4.18)$$

Finalmente, si dividimos la expresión inicial para  $\rho \cdot g$ , obtenemos una tercera expresión de la ecuación de Bernoulli expresada en alturas equivalentes (los tres términos tienen dimensiones de altura):

$$\frac{P}{\rho \cdot g} + z + \frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{constant} \quad (4.19)$$

Esta será la forma elegida preferentemente para trabajar con la ecuación de Bernoulli. Utilizaremos la palabra carga para referirnos a los términos de esta expresión.

$$\begin{aligned} h_P = \frac{P}{\rho \cdot g} & \quad : \text{càrrega deguda a la pressió} \\ h_z = z & \quad : \text{càrrega deguda a l'elevació} \\ h_v = \frac{v^2}{2 \cdot g} & \quad : \text{càrrega deguda a la velocitat} \end{aligned} \quad (4.20)$$

De acuerdo con esta expresión de la ecuación de Bernoulli diremos que la carga total se mantiene constante:

$$H_{Total} = h_P + h_v + h_z = \text{constant} \quad \text{càrrega total} \quad (4.21)$$

- **Generalización de la ecuación de Bernoulli**

En las aplicaciones reales tenemos pérdidas. Utilizando el concepto de carga, podemos decir que la carga total no se mantiene constante, sino que hay pérdidas de carga. Podemos distinguir dos tipos de pérdidas de carga en tuberías:

- las pérdidas por fricción, entre las partículas (régimen turbulento) o entre las capas (régimen laminar) del propio fluido o entre el fluido y las paredes de la conducción. Se denominan pérdidas primarias. Son importantes en los tramos largos de sección constante.
- las pérdidas provocadas por todo tipo de accesorios (estrechamientos, expansiones, codos, válvulas, etc.) interpuestos en la conducción, que obligan al fluido a transiciones repentinas. Se llaman pérdidas secundarias o pérdidas menores, ya que en conducciones bastante largas son menos importantes que las primarias.

Además, en instalaciones reales podemos encontrar máquinas que suministran energía al fluido (bombas) o absorben energía del fluido (turbinas).

Sin entrar en un estudio más profundo de las causas y la cuantificación de las pérdidas en tuberías ni en un estudio tecnológico de la constitución, funcionamiento y características de los tipos de máquinas hidráulicas, sino únicamente conceptual (pérdida de carga, aportación de carga y gasto de carga), podemos seguir utilizando una forma de la ecuación de Bernoulli, que las diremos generalizada, que tenga en cuenta estas variaciones de la carga con los términos correspondientes.

- HP: carga equivalente de las pérdidas energéticas primarias o secundarias, que disminuye la energía del fluido (resistencia por fricción y accesorios).
- HG o HB: carga equivalente de la energía aportada por una máquina generadora, que incrementa la energía del fluido (bombas).
- HM o HT: carga equivalente de la energía absorbida por una máquina motora, que disminuye la energía del fluido (turbinas).

De acuerdo con las explicaciones anteriores, la ecuación de Bernoulli generalizada adopta la forma siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \Sigma H_P - \Sigma H_T + \Sigma H_B = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = H_1 \quad : \text{càrrega total en el punt 1}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} = H_2 \quad : \text{càrrega total en el punt 2}$$

$\Sigma H_P$  : suma de les pèrdues de càrrega entre 1 i 2

$\Sigma H_T$  : suma dels consums de càrrega entre 1 i 2

$\Sigma H_B$  : suma dels guanys de càrrega entre 1 i 2

(4.22)

Dicho de otra forma, si el fluido fluye desde el punto 1 hasta el punto 2, la carga total en el punto 2 final es igual a la carga total en el punto 1 inicial menos la suma de las pérdidas de carga en la conducción entre 1 y 2, menos la suma de los consumos de carga de todas las turbinas instaladas entre 1 y 2, más la suma de todas las ganancias de carga de todas las bombas instaladas entre 1 y 2.

La figura siguiente representa un sistema entre el punto 1 y el punto 2, donde encontramos una bomba, una turbina y un conjunto de pérdidas en la tubería (primarias) y en los accesorios interpuestos.

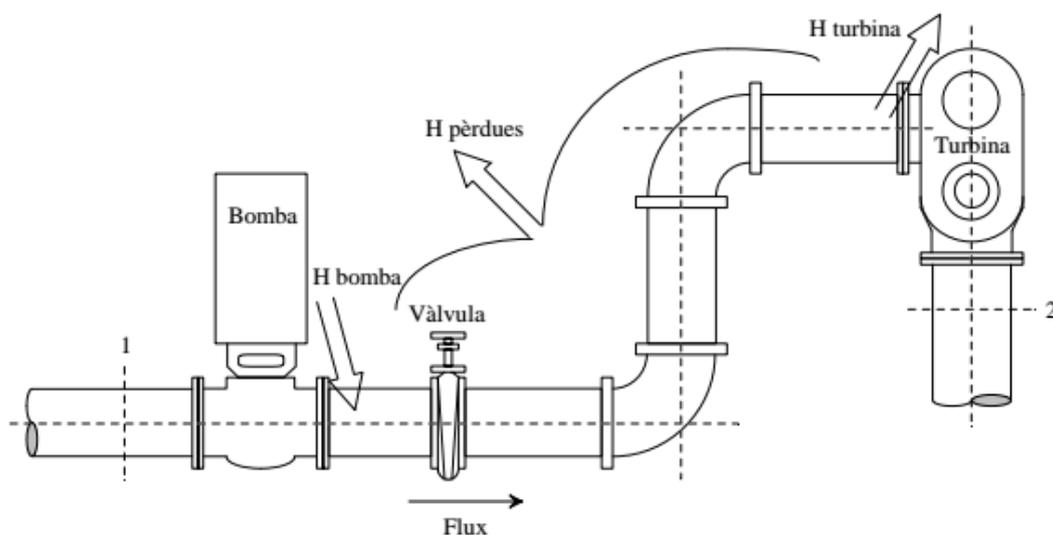


Figura 4-11: Bernoulli generalizada Fuente: Apuntes mecánica fluidos Robert Safont

Podemos escribir la siguiente ecuación de Bernoulli generalizada:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_P - H_T + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.23)$$

[31]

## 4.5. Rentabilidad de la inversión

- **Ingresos:**

$$Ing = qe * \text{precio de venta} \quad (4.24)$$

- **Costes de material y montaje:**

$$CMM = \text{Costes materia prima} + \text{Mano de obra} + \text{Recursos energéticos} \quad (4.25)$$

- **Amortización:**

$$AM = \frac{\text{Inversión}}{\text{Nº años inversión}} \quad (4.26)$$

- **Beneficio antes de impuestos (BAI):**

$$BAI = \text{Ingresos} - CMM \quad (4.27)$$

- **Beneficio neto (BN):**

$$BN = BAI - \text{Impuestos} \quad (4.28)$$

- **Cash-Flow:**

$$CF = BN + AM \quad (4.29)$$

- **Valor actual neto (VAN):**

$$VAN = -C_0 + \sum_{t=1}^N \frac{Ct}{(1+i)^t(1+g)^t} \quad (4.30)$$

[32], [33]



## **5. Desarrollo de la solución.**

### **5.1. Viabilidad técnica**

#### **5.1.1. Estado del arte**

Como se ha explicado en el apartado de selección de otras alternativas, hemos elegido la CPU que ya dispone actualmente la instalación. Esta CPU tiene una carencia en comunicaciones, como es la comunicación vía Ethernet que no nos podemos permitir de prescindir si queremos incorporar la instalación a la “industria 4.0”. Por eso se ha tenido que invertir en una tarjeta de comunicaciones Siemens CP343-1. En el caso de la pantalla HMI nos decantamos por la proface GP4501-TW. Comentar que las otras opciones también eran buenas y alcanzaban los objetivos del proyecto sin problemas y al final el tema económico es lo que ha decantado la balanza hacia nuestra elección final.

Si analizamos el proyecto y miramos detenidamente como estará desarrollado, se puede decir, que será un control de una planta de enfriamiento de agua totalmente automatizada. La idea es que los operarios tengan un total control y gestión de la instalación en todo momento.

La gestión del proyecto estará llevada a cabo por un PLC Siemens que mediante una pantalla de interface hombre-máquina HMI se podrá visualizar el estado de la misma. La parte de gestión de alarmas será un punto fuerte del proyecto ya que el operario se tiene que enterar en tiempo real de cualquier anomalía del sistema. Para ello se incorporará un sistema de control de alarmas por GSM, el cual mandará un SMS con la información necesaria y realizará una llamada al usuario. Se han escogido estos elementos por ser marcas punteras en el mercado de la automatización aparte de ser recambios estandarizados de la empresa.

Siemens, hoy día, es la marca líder en Europa en el entorno de automatización, marca muy reconocida y conocida. Con PLC muy intuitivos y con muchas posibilidades a la hora de poder gestionar un proyecto industrial.

Las siglas PLC (Programable Logic Controller) en conjunto con la pantalla táctil HMI y el sistema de alarmas GSM harán de la instalación un sistema compacto y fiable.

Darán al usuario un total control de la instalación, pudiendo parametrizar cualquier variable del sistema.

El sistema constará básicamente de 4 partes importantes:

- El control del abastecimiento al depósito de la instalación.
- El control de las enfriadoras para mantener el agua entre 4°C y 6°C.
- El control de las bombas de recirculación de agua hacia las enfriadoras.
- El control de las bombas de circuito para hacer llegar el agua enfriada a la producción para la refrigeración de equipos y maquinaria.

La parte de control de abastecimiento al depósito permitirá al usuario poder tener controlado en tiempo real la apertura de la válvula, si está abierta o cerrada y tener un control graficado de los litros/m<sup>3</sup> de consumo de agua en la instalación.

En la parte de control de las enfriadoras se realizará un control minucioso de éstas, para aprovechar al máximo los recursos energéticos. Las enfriadoras irán arrancando según las necesidades de la instalación para mantener el agua entre 4°C y 6°C. A parte se tendrá un control de las horas de marcha de cada una para que todas trabajen por un igual.

En la parte de control de las bombas de recirculación al final se ha decidido no colocar un variador de frecuencia por no tener la necesidad de variar el caudal/presión del agua que llega a las enfriadoras. Se ha tenido en cuenta de colocar un arrancador electrónico para controlar la rampa de aceleración de las bombas para evitar consumos altos de energía eléctrica.

Un punto fuerte de la instalación, vendrá dado por la instalación de variadores de frecuencia en cada una de las tres bombas de consumo que envían el agua a producción. Estos variadores de frecuencia irán controlados por un PID para dar el caudal y presión necesarios en la instalación. A la misma vez que se tendrá un control de las horas de funcionamiento de las bombas para que trabajen por un igual y tener constancia de cuando les toca los mantenimientos preventivos con el fin de no evitar averías.

Toda la instalación irá controlada por el PLC y los datos configurados por el usuario en la pantalla HMI de control del sistema.

La idea, es que una vez configurados todos los parámetros de la instalación por el usuario, sea un sistema totalmente autónomo, capaz de reaccionar ante cualquier contratiempo. Conjuntamente con el PLC y la pantalla HMI el sistema irá dotado de un sistema de alarmas GSM con tal de que el usuario se pueda enterar de cualquier anomalía en la instalación. A parte el usuario se podrá conectar desde cualquier punto del mundo al sistema y monitorizar cualquier variable del mismo.

Para hacer el análisis de viabilidad técnica del sistema se han estudiado los diferentes puntos que se detallan a continuación:

**Mejoras:**

Se va a mejorar la instalación dotándola de una automatización a la altura de la época en la que estamos. Se tienen que mejorar varios puntos para introducir el sistema a la tecnología actual. Los aspectos que se tendrán muy en cuenta a la hora de desarrollar el proyecto son:

- Instalación de sensores analógicos para llevar a cabo el control de la planta.
- Tecnología a nivel hardware y software a la altura de la industria 4.0.
- Sistema con conectividad total y desde cualquier sitio mediante internet.
- Control y adquisición de cualquier dato relevante del sistema. Con sistema de monitorización de variables e históricos.
- Sostenibilidad (ahorro de agua y energía eléctrica).

**Tecnología:**

Se quiere conseguir una actualización de la instalación actual e incorporar ésta a la tan actual tecnología de la industria 4.0. Se conseguirá una instalación capaz de ser autónoma en todo momento, capaz de reaccionar ante cualquier imprevisto, capaz de preservar los tan preciados recursos naturales como son el agua y la energía eléctrica y sobretodo tener una conectividad total, con la posibilidad de poder consultar cualquier variable de la instalación, para con ello sacar las conclusiones oportunas.

Esta actualización, principalmente estará centrada en la digitalización de toda la instalación. Actualmente está exenta de sensores y elementos que nos proporcionen información del correcto funcionamiento de la planta.

La idea será incorporar una serie de sensores analógicos como pueden ser, PT100 para un control de la temperatura en los diferentes puntos del circuito, transductores de presión para determinar el nivel del depósito y la presión de impulsión de las bombas, caudalímetros para controlar el caudal necesario y cualquier elemento que nos pueda ser útil y nos proporcione información valiosa de la planta.

Se han escogido unos componentes que están a la altura de las necesidades de la empresa. Un PLC, una pantalla HMI, módulo GSM para control de alarmas del sistema, y unos variadores de frecuencia que serán los principales participantes de que la instalación responda a los objetivos marcados en el proyecto y sobre todo a las necesidades de la empresa.

El usuario final en cualquier momento podrá ver en tiempo real como está respondiendo la instalación a las necesidades de la empresa. Toda la instalación será parametrizable para poder configurar el sistema a las necesidades de producción.

Se dejará toda la instalación preparada para poder incorporarla al scada que se está desarrollando actualmente en la empresa. Aunque no se incorpore de inicio al ya nombrado scada, la instalación gracias a la opción de “Web Server” el usuario podrá ver, modificar y actuar en la instalación cuando lo desee y desde cualquier sitio con acceso a internet.

El módulo GSM proporcionará una seguridad y tranquilidad de que la instalación está funcionando correctamente. En caso, de avería y anomalía de cualquier elemento de la instalación, el sistema gracias al módulo GSM realizará una llamada y enviará un SMS con la descripción de la avería a los números de teléfono programados en éste. Esto, nos garantizará un sistema con una fiabilidad y efectividad muy elevada.

Otra de las partes importantes en cuestión de tecnología que se añadirá, será la del control PID para que las bombas trabajen por un igual y a la presión/caudal necesaria. Este control estará realizado por el PLC que mediante unas salidas analógicas irá fijando la frecuencia de las bombas en referencia del valor parametrizado en la pantalla HMI.

### **Sostenibilidad:**

El tema de la sostenibilidad del proyecto es un tema que se ha tenido muy en cuenta y se ha trabajado a fondo para conseguir uno de los objetivos más importantes, como es la

optimización de la gestión medioambiental. Todo irá centrado en realizar una gestión minuciosa del consumo del agua y de la energía eléctrica.

Esta gestión de ahorro de consumo estará controlada por el PLC mediante un software que garantice el mínimo consumo de agua y electricidad en todo momento. El control PID de las bombas y la gestión de arranque de las enfriadoras será un punto a tener muy en cuenta, ya que será lo que nos dé un ahorro energético importante. A parte, mediante toda la parametrización de la instalación se podrá jugar con las variables de la instalación para hacer de esta un sistema lo más sostenible posible teniendo en cuenta las necesidades de producción.

### **5.1.2. Análisis de viabilidad de la solución**

La viabilidad será estudiada desde dos puntos:

- Estudiando técnicamente la solución que se propone.
- Estudiando técnicamente los elementos que harán el proyecto posible.

Si analizamos la solución que se propone se puede observar que es una solución viable perfectamente, ya que hoy día la automatización es un sector que se ha desarrollado a un ritmo muy elevado. Con lo que con mucho trabajo y mediante las especificaciones técnicas escogidas podemos dar una solución viable. Tanto el PLC y la pantalla HMI serán los dos elementos más importantes que harán del proyecto un sistema que mirado desde el punto de vista de técnico, se pueda llevar a cabo sin problemas.

La solución planteada conjuntamente con los elementos escogidos harán de la instalación un sistema eficiente, viable y lo más rentable posible para la empresa.

El hecho que sea una instalación automática aportará a la empresa y al usuario de una ganancia en cuanto a tiempo se refiere. No se tendrá que disponer de un control diario como se tiene hasta ahora mediante el personal de mantenimiento de la instalación.

La parte más compleja del proyecto será el control minucioso de PID de las bombas de producción y el control de arranque de las enfriadoras, para conseguir que en cada momento arranquen las enfriadoras y bombas necesarias.

La parte más sencilla del proyecto será la del control de llenado ya que es un control que se realizará mediante una comparación del valor parametrizado de llenado con el valor de nivel del depósito. Si es necesario agua se activará la correspondiente salida digital de la electroválvula de llenado.

Una vez analizada ya en más en profundidad la solución, tendremos dos partes importantes dentro del proyecto:

- **Modificación de hardware:** adaptando el cuadro eléctrico a las nuevas necesidades. Cableado de los nuevos elementos que formaran la instalación, como son los variadores de frecuencia, la instalación de la tarjeta de comunicaciones CP343-1 de Ethernet y todos los sensores analógicos y digitales que se han nombrado anteriormente y que dotaran a la planta de toda la información valiosa de la misma.
- **Software:** muchas horas de programación tenemos por delante tanto en el entorno del PLC como en el entorno de la pantalla HMI. En lo que se refiere a software, estos dos últimos puntos nombrados serán los más importantes porque en ellos estará toda la gestión eficiente del sistema, toda la parametrización de todas las variables importantes de la instalación y todos los parámetros de alarma que harán de la planta una instalación versátil, efectiva, cómoda y sobretodo intuitiva.

Teniendo en cuenta todas las cuestiones anteriores, a continuación presentamos todos los elementos que harán posible la actualización y modernización de la planta e incorporarla a la tecnología de hoy día.

Todas las características técnicas de todos los elementos se pueden observar en “*capítulo III de los anexos*”.

- **Digitalización de la planta:**
  - Sensores de temperatura PT-100 con salida 4-20mA.
  - Transductores de presión con salida 4-20mA (Nivel depósito).
  - Transductores de presión con salida 4-20mA (Presión bombas).
  - Caudalímetros con salida 4-20mA (caudal en líneas).

- Sistema de control de la planta.
  - PLC de Siemens S7-300, con CPU referencia Ref. S7-313C 2DP, 6ES7313-6CF03-0A0B.
  - CP343-1 Lean de Siemens (tarjeta comunicaciones vía Ethernet), Ref. 6GK7343-1CX10-0XE0.
  - Pantalla táctil Proface de 10,4", Ref. GP4501TW.
  - Módulo GSM Hermes LC1 de MicroCom Hermes. Ref. LC1
  
- Aparamenta eléctrica de control.
  - Variador de frecuencia Omron, modelo V1000, ref. VZ4015

Una vez comentado todos los puntos importantes y elementos que harán posible el proyecto, hemos podido ver que la viabilidad técnica del proyecto se cumplirá sin problemas y que el proyecto será viable técnicamente.

## 5.2. Metodología.

La metodología se refiere al camino o conjunto de procedimientos racionales utilizados para llegar hasta un objetivo. No se debe confundir metodología con cualquier procedimiento, ya que se trata de un concepto que en la gran mayoría de los casos resulta demasiado amplio.

Una vez focalizado el objetivo, una buena elección de la metodología a seguir tendrá un efecto definitivo sobre el logro de estos al final del proyecto.

El objetivo del proyecto es la actualización e incorporación de una planta de enfriamiento de agua. Para conseguir este diseño viable se necesita de una investigación en profundidad de información. Para conseguir una buena interconexión entre el ritmo de trabajo, el diseño y la información, hay una metodología de gestión.

Para tener una visión global de las metodologías empleadas en el proyecto, se realiza una pequeña reflexión sobre cada dimensión.

### **5.2.1. Metodología de gestión**

La eficacia del proyecto depende en gran medida de su gestión y la minimización de los errores. Entre las metodologías estudiadas en el largo de carrera han sido el diagrama de Gantt, Pert y CPM. Cada una de estas metodologías tienen sus ventajas e inconvenientes, pero todas suponen una gran ayuda a la hora de planificar y administrar recursos y en el control de la evolución del proyecto, gracias a la definición de metas temporales que permitirán conseguir los objetivos.

La metodología elegida ha sido el Diagrama de Gantt. Su simplicidad en la estructura y el manejable de su planteamiento hacen que sea una herramienta ideal.

Las principales dificultades del diagrama de Gantt se encuentran en la definición de las prioridades y la detección de relaciones de precedencia de actividades.

### **5.2.2. Metodología de documentación**

En la redacción de los documentos del proyecto se ha seguido la siguiente planificación:

- Identificación previa del objetivo final del documento, con las ideas principales que se quieren transmitir.
- Definir una estructura clara para estructurar de forma correcta el documento y facilitar su interpretación para todo tipo de público.
- Utilización de la normativa explícita en referencia a los documentos, para facilitar al máximo tanto la interpretación y elaboración de informes y documentos como el flujo de información.

### **5.2.3. Metodología de diseño**

Así mismo, a la hora de diseñar un proyecto industrial de ingeniería no sirve la intuición para alcanzar los problemas demasiado complejos, ya que la información necesaria para la resolución de un problema de este tipo, un solo diseñador no la puede alcanzar de manera individual.

Si a esto se suma que los problemas evolucionan más rápidamente que la experiencia acumulada en el tiempo en la mayoría de los casos, se puede concluir que hay metodología en el diseño.

Por eso, se ha seguido una metodología de diseño siguiendo las premisas que en este caso que pone la empresa, Grifols S.A para el cual es el proyecto. En Grifols S.A, para el desarrollo de proyectos, por ejemplo, la elección de un material eléctrico pasa por una estandarización que está establecida, para luego tener un control de recambios controlados.

### **5.3. Herramientas utilizadas.**

Otro punto muy importante en cuanto al desarrollo de la solución del proyecto son las herramientas de desarrollo.

Estas herramientas principalmente son software con el que desarrollaremos todos los programas por ejemplo del PLC, la pantalla HMI, control de alarmas GSM, variadores de frecuencia, etc... En este apartado vamos a ver que software y herramientas necesitamos para desarrollar el proyecto.

El software serán programas de las marcas de los elementos escogidos para la realización del proyecto, estos son:

- Simatic Step 7 v5.5, software muy potente de Siemens para programar todo el entorno del PLC. Dentro de éste, tendremos el programa ordenado por bloques y puntos importantes de la instalación. Dentro de estos bloques tendremos el bloque principal (OB1), los bloques de sistema (OB...), los bloques de función y programación FC, y por último los bloques de datos (DB).
- GP-Pro Ex v4.0, software para el desarrollo de todo el entorno gráfico e interactivo de la instalación. Se desarrollaran todas las pantallas necesarias de la instalación creando un entorno lo más intuitivo y sencillo posible. La idea es que el usuario final pueda ver toda la instalación y el estado de la misma sin problemas. A través de esta el usuario podrá parametrizar cualquier variable de funcionamiento y alarmas del sistema para adaptar la instalación en cada momento a las necesidades de la producción.

- Microcom Hermes GSM, software que nos permitirá programar la parte del módulo GSM para que éste informe al usuario en tiempo real de cualquier anomalía en el sistema esté donde esté. Con este software podemos llegar a introducir hasta un total de 10 números de teléfonos móviles, a los cuales el sistema enviará una llamada de alerta y un SMS con la descripción de la avería. El sistema va realizando a parte del SMS una llamada cada x tiempo definido en la programación hasta que el usuario descuelgue la llamada. Con lo que es un sistema muy fiable que nos garantiza que ante una anomalía en el sistema el usuario estará al corriente. Una vez la anomalía queda subsanada el sistema GSM envía un SMS de desactivación de la alarma en cuestión.
- CX-Drive, software para la programación de todo lo que es el entorno de los variadores de frecuencia Omron. Dentro de este software irán programadas todas las características de las bombas a controlar y todos los parámetros de control motion para realizar el control PID en relación a la presión o caudal deseado en el circuito de producción.
- Autocad electrical, software para el desarrollo y toda la actualización de los esquemas eléctricos de la planta.

A parte del software de las marcas de los elementos escogidos para la realización del proyecto, también tenemos otros para el desarrollo del proyecto como son:

- Microsoft Office, se ha utilizado el paquete completo de office para la elaboración del proyecto, Word y Excel en la edición de documentos, Visio en el diseño de diagramas y finalmente PowerPoint para la presentación.
- Microsoft Project, software de Microsoft para la planificación del proyecto, control de tareas y análisis durante la fase de ejecución.

## 6. Presentación y análisis de resultados.

Una vez elegida la solución final, se explicará con detalle cuales son los objetivos de funcionamiento y como se llevaran a cabo.

Tal y como se expresa en el “*capítulo 5.1 viabilidad técnica*”, éste se dividirá en 4 grandes bloques:

- El control del abastecimiento al depósito de la instalación.
- El control de las enfriadoras para mantener el agua entre 4°C y 6°C.
- El control de las bombas de recirculación de agua hacia las enfriadoras.
- El control de las bombas de circuito, para hacer llegar el agua enfriada a la producción para la refrigeración de equipos y maquinaria.

Para explicar el funcionamiento y desarrollo de la solución, nos basaremos en el entorno hombre máquina. El desarrollo de éste entorno, como se comentó en las especificaciones técnicas, estará ligado al desarrollo del software donde el usuario podrá realizar cualquier tipo interacción con la instalación.

En el desarrollo de este software de la pantalla HMI se ha tenido muy en cuenta cumplir con todos los objetivos iniciales del proyecto. Observaremos que se ha conseguido un entorno muy sencillo e intuitivo con el que el usuario aparte de poder ver toda la instalación, podrá interactuar poniendo elementos en manual, automático, podrá cambiar variables y modos del sistema, y también podrá tener a su alcance cualquier variable del sistema en los totalizadores o graficar la variable que le interese.

Se ha realizado un menú principal muy sencillo y con el que rápido el usuario se podrá mover por las diferentes pantallas. Desde este menú principal se podrá acceder a:

- Validar usuario.
- Sinóptico de la instalación.
- Parámetros de la instalación.
- Alarmas de la instalación.
- Totalizados.
- Gráficas.

Todo este entorno se ha desarrollado para la ya comentada pantalla HMI de Proface GP4501-TW de 10,4". Todo el desarrollo del software se ha desarrollado en el entorno de programación de la misma marca Proface llamado GP-PRO.EX v.4.0

## 6.1. Menú principal de acceso a las diferentes pantallas.

### 6.1.1. Menú principal y pantalla inicial.



Figura 6-1: Pantalla menú principal Fuente: Propia

En la figura 6-1, se puede observar la pantalla de inicio y el menú de acceso a todas las partes del sistema. El entorno se ha dividido en varias partes como son, control de elementos, parámetros de la instalación, alarmas, totalizados y gráficas.

Mediante los botones azules el usuario podrá acceder a las diferentes pantallas tal y como hemos comentado al inicio del capítulo.

Cabe comentar un punto muy importante. Para poder acceder al sistema te has de identificar en la pantalla como usuario, botón "VALIDAR USUARIO".

En la siguiente pantalla se explica el funcionamiento de la validación de usuarios para poder acceder al mismo.

### 6.1.2. Pantalla de validación de usuario.



Figura 6-2: Pantalla validación usuario Fuente: Propia

Como se ha comentado anteriormente sin validarte en la instalación como usuario, no se podrá acceder al sistema. Esto se ha realizado para que ninguna persona externa a la instalación pueda acceder a parámetros importantes y pueda manipular a su antojo.

Comentar que una vez dentro de la pantalla, se han creado dos usuarios que son los que más usaran la instalación, estos usuarios son:

- Usuario: Mantenimiento
- Usuario: Jefe

Una vez el usuario validado le daremos a “SALIR” para acceder al menú principal y entonces ya nos dejará acceder a las diferentes partes de la instalación.

Una vez se entregue la instalación a los usuarios se determinaran los password de acceso y se introducirán en el sistema. Cabe comentar que se pueden dar tantos usuarios y password como se necesiten.

## 6.2. Pantallas de control de la instalación.

### 6.2.1. Sinóptico de la instalación.

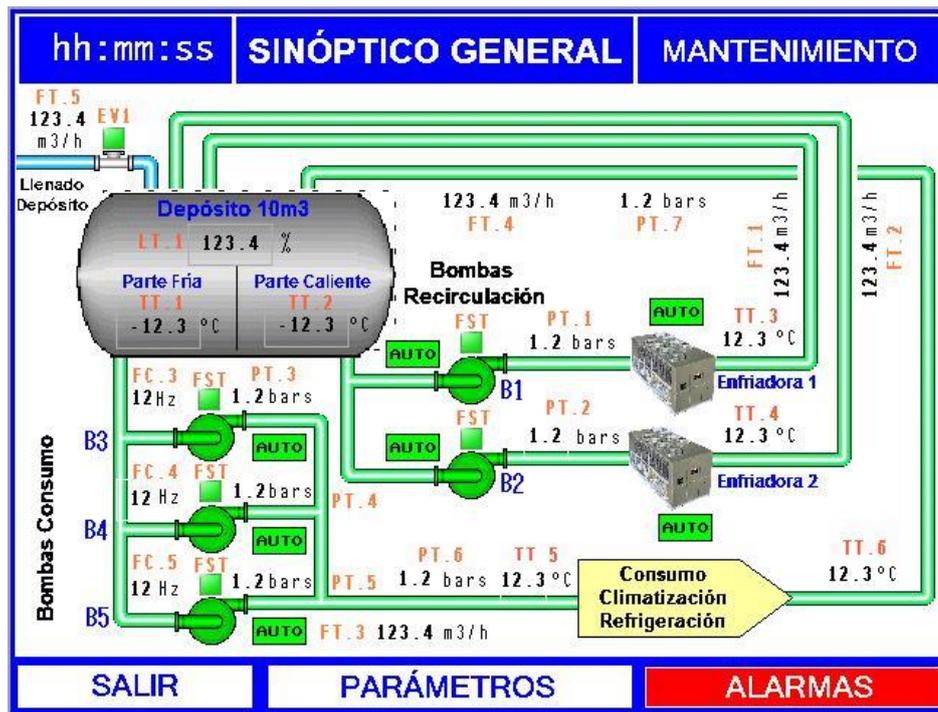


Figura 6-3: Pantalla sinóptico de la instalación Fuente: Propia

En figura 6-3, podemos observar el sinóptico de toda la instalación, se pueden observar todos los elementos y todas las variables de presión, nivel, caudal, temperatura del sistema.

Una vez dentro de esta pantalla podemos acceder al menú principal pulsando “SALIR”, podemos acceder al menú “PARÁMETROS” y a la pantalla de “ALARMAS”.

Después, se ha realizado un acceso directo donde pulsando encima de los elementos que nos interese se podrá a la pantalla de control del dicho elemento.

Se puede acceder a las 4 partes importantes de la instalación como se ha comentado al inicio del capítulo:

- Control del depósito.
- Control de las bombas de recirculación.
- Control de las enfriadoras.
- Control de las bombas de consumo.

A continuación se muestran las diferentes pantallas de control:

### 6.2.2. Pantalla de control depósito.

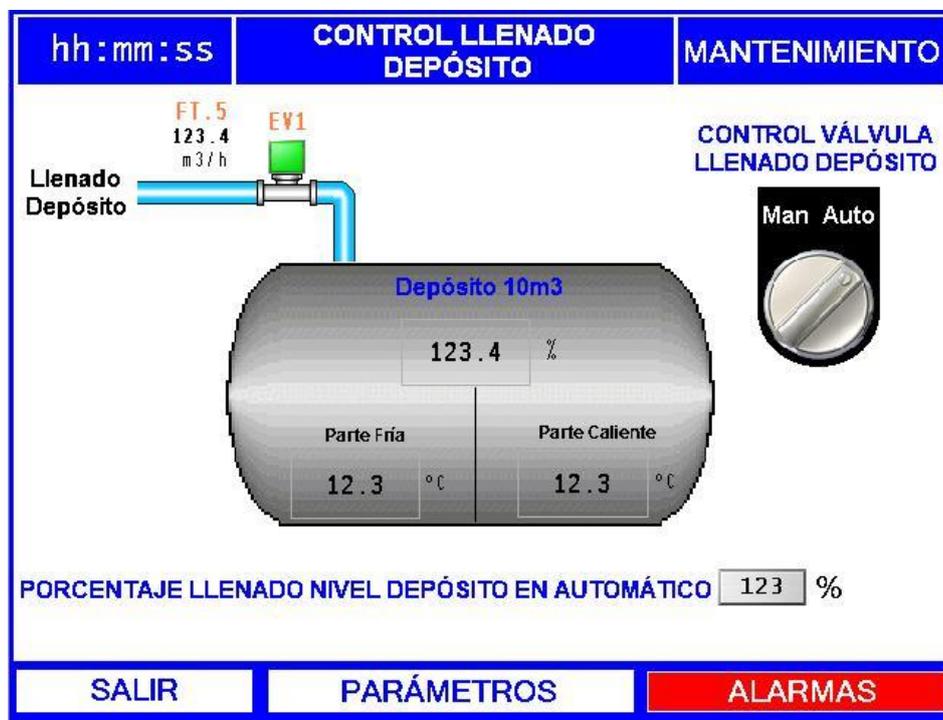


Figura 6-4: Pantalla control depósito Fuente: Propia

En la figura 6-4, podremos ver en tiempo real las diferentes variables de temperatura (tanto la temperatura de la parte fría como la de la parte caliente del depósito), caudal de entrada y nivel del depósito y ver como oscilan en el tiempo.

También se puede observar el estado de la válvula de llenado, cuando está abierta se enciende el piloto de encima. Mediante el caudalímetro de entrada agua podremos tener un control del agua consumida por el sistema como un totalizador de litros.

El usuario podrá accionar la válvula entrada agua a depósito en manual. Si la válvula se encuentra en automático el sistema mantendrá el nivel del depósito en el valor parametrizado que se ve en la pantalla “%” en automático.

A parte de las diferentes opciones que da la pantalla al igual que en las anteriores podremos “SALIR”, acceder a la pantalla de parámetros del depósito, y a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.2.3. Pantalla de control bombas de recirculación.



Figura 6-5: Pantalla control bombas de recirculación Fuente: Propia

En la figura 6-5, se podrá tener un control total de las dos bombas de recirculación que envían agua a las enfriadoras. Si las bombas están en automático la orden de marcha vendrá dada por la necesidad de que arranque la enfriadora correspondiente. También se podrán parar las bombas o colocarlas en manual.

A parte se mostrará unos totalizadores de horas en marcha para tener un control de las horas de funcionamiento de cada bomba y un totalizador con el número de arranques de cada una de las mismas.

También podremos ver si a estas, están en fallo de por protección térmica o por fallo del interruptor de caudal. Cuando estas estén en marcha la bomba se iluminará en verde intenso indicando que están en marcha.

A parte de las diferentes opciones que da la pantalla al igual que en las anteriores podremos “SALIR”, acceder a la pantalla de parámetros del depósito, y a la pantalla de “ALARMAS”.

#### 6.2.4. Pantalla de control enfriadoras.



Figura 6-6: Pantalla control enfriadoras Fuente: Propia

En la figura 6-6, se podrá tener un control total de las dos enfriadoras. Se podrán poner las enfriadoras en manual, para ello siempre hay que tener en cuenta que a la enfriadora que queramos colocar en manual le tiene que estar llegando agua de su bomba de recirculación.

En automático las enfriadoras irán arrancando según la consigna de temperatura fría que deseemos en el depósito y los parámetros configurados en estas. A parte de la temperatura del depósito mediante la consigna temperatura trabajo se le enviará la consigna de funcionamiento a las enfriadoras. Las enfriadoras podrán trabajar en manual, auto o en off según coloquemos los selectores de cada una según nos interese, también se podrá configurar el tiempo alternancias entre enfriadoras, para con ello conseguir que las dos trabajen por un igual.

A parte se mostrará unos totalizadores de horas en marcha para tener un control de las horas de funcionamiento de cada enfriadora y un totalizador con el número de arranques de cada una de las mismas.

También podremos ver si estas, están en fallo y cuando estas estén en marcha mediante el piloto verde intenso indicando que están en marcha.

Como en las anteriores pantallas podremos acceder a “SALIR”, “PARÁMETROS” y “ALARMAS”.

### 6.2.5. Pantalla de control bombas de consumo.

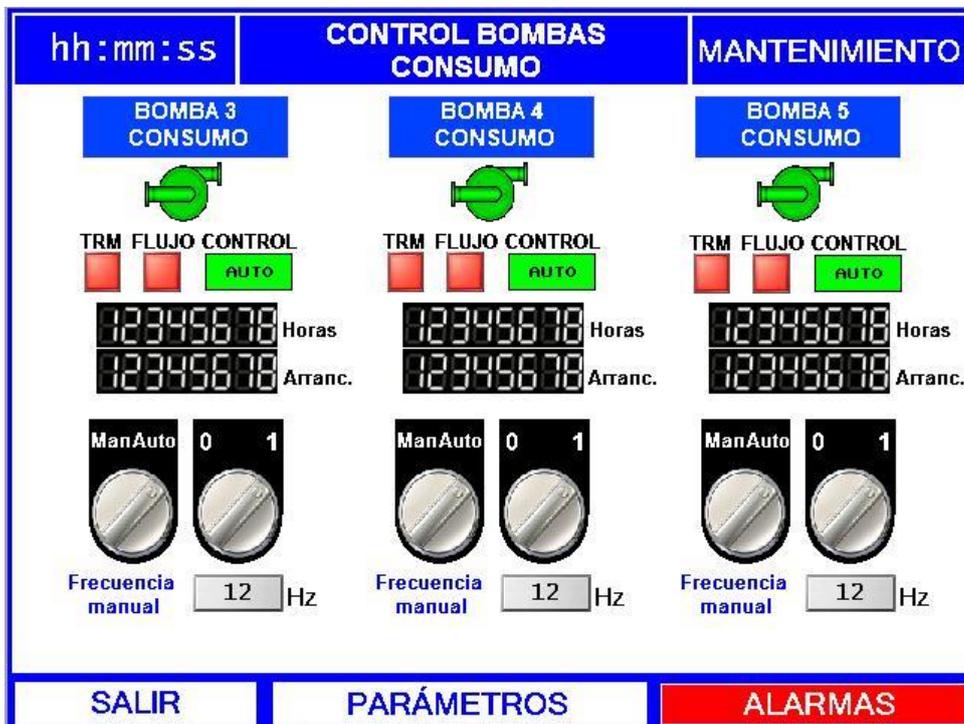


Figura 6-7: Pantalla control bombas de consumo Fuente: Propia

En la figura 6-7, se podrá tener un control total de las tres bombas de consumo que envían agua a fábrica para refrigeración y climatización. Si las bombas están en automático la orden de marcha vendrá dada por la consigna de presión o caudal que harán que el PID regule en función del parámetro seleccionado. También se podrán parar las bombas o colocarlas en manual a la frecuencia deseada.

A parte se mostrará unos totalizadores de horas en marcha para tener un control de las horas de funcionamiento de cada bomba y un totalizador con el número de arranques de cada una de las mismas. También podremos ver si a estas, están en fallo de por protección térmica o por fallo del interruptor de caudal. Cuando estas estén en marcha la bomba se iluminará en verde intenso indicando que están en marcha.

Como en las anteriores pantallas podremos acceder a “SALIR”, “PARÁMETROS” y “ALARMAS”.

### 6.3. Pantallas de parámetros de la instalación.

#### 6.3.1. Menú de parámetros de la instalación.



Figura 6-8: Pantalla menú principal de parámetros Fuente: Propia

En la figura 6-8, tal y como se observa podremos acceder a todas las pantallas de parámetros. Estos los hemos dividido en 3 grupos:

- Parámetros generales de la instalación.
- Parámetros funcionamiento de la instalación.
- Parámetros de alarma de la instalación.

Cada grupo de parámetros da acceso a un submenú de parámetros donde podemos ver los parámetros de control y alarma de cada elemento al igual que hemos visto en la parte de control del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.1.1. Parámetros generales de la instalación.

hh:mm:ss	PARÁMETROS GENERALES DEL SISTEMA	MANTENIMIENTO
IDENTIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN		
NÚMERO DE ENFRIADORAS	<input type="text" value="12"/>	Unid.
NÚMERO DE BOMBAS DE RECIRCULACIÓN	<input type="text" value="12"/>	Unid.
NÚMERO BOMBAS DE CONSUMO	<input type="text" value="12"/>	Unid.
SALIR	SIGUIENTE	ALARMAS

Figura 6-9: Pantalla parámetros generales del sistema Fuente: Propia

En la siguiente figura 6-9, podemos observar los parámetros de identificación de la instalación. Con ellos tenemos la instalación bien identificada con el número y tipo de elementos de los que disponemos.

La idea, es con ellos realizar un sistema que luego se pueda adaptar a cualquier planta de la empresa, para que con pequeñas modificaciones el proyecto pueda valer para cada planta y no se necesite de volver a reconstruir todo el proyecto.

La empresa tiene bastantes plantas de enfriamiento repartidas en los diferentes polígonos, con esta opción se ganaría bastante tiempo ya que sería un proyecto adaptable a cualquier planta de enfriamiento del grupo.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.2. Menú parámetros funcionamiento de la instalación.



Figura 6-10: Pantalla menú parámetros funcionamiento Fuente: Propia

En la figura 6-10, podemos ver el menú que dará acceso a las diferentes pantallas de parámetros de funcionamiento. Podremos acceder a las siguientes pantallas de parámetros:

- Parámetros de funcionamiento depósito.
- Parámetros de funcionamiento bombas de recirculación.
- Parámetros de funcionamiento enfriadoras.
- Parámetros de funcionamiento bombas de consumo.

Cada grupo de parámetros, da acceso a un submenú de parámetros donde podemos ver los parámetros de control y alarma de cada elemento al igual que hemos visto en la parte de control del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.2.1. Parámetros funcionamiento depósito.

hh:mm:ss	PARÁMETROS DEPÓSITO	MANTENIMIENTO
<b>CONSIGNA LLENADO DEPÓSITO</b>		
CONSIGNA LLENADO NIVEL DEPÓSITO	<input type="text" value="123"/>	%
<b>DIFERENCIAL APERTURA VÁLVULA LLENADO</b>		
PORCENTAJE DIFERENCIAL APERTURA VÁLVULA LLENADO	<input type="text" value="123"/>	%
<b>SALIR</b>	<b>SIGUIENTE</b>	<b>PARÁMETROS ALARMA</b>
		<b>ALARMAS</b>

Figura 6-11: Pantalla parámetros funcionamiento depósito Fuente: Propia

En la siguiente pantalla como se puede observar en la figura 6-11 podremos parametrizar los siguientes parámetros:

- **Consigna llenado nivel depósito:**  
Con este parámetro la instalación siempre y cuando esté la válvula de llenado depósito en automático el sistema mantendrá el nivel del depósito en el valor parametrizado.
- **Diferencial apertura válvula llenado:**  
En este parámetro seleccionaremos el diferencial para la apertura de la válvula de llenado, para tener un control de cuando se quiere comenzar el llenado del depósito

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR”, acceder a la siguiente pantalla de parámetros “SIGUIENTE”, acceder a los parámetros de alarma del depósito “PARÁMETROS ALARMA”, o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.2.2. Parámetros funcionamiento bombas recirculación.

hh:mm:ss	PARÁMETROS BOMBAS RECIRCULACIÓN	MANTENIMIENTO
<b>TIEMPO MARCHA INHIBIR CONFIRMACIÓN MARCHA</b>		
TIEMPO RETARDO MARCHA POR CONFIRMACIÓN	<input type="text" value="123"/>	seg.
<b>TIEMPO MARCHA INHIBIR DETECTOR DE FLUJO</b>		
TIEMPO RETARDO MARCHA POR DETECTOR FLUJO	<input type="text" value="123"/>	seg.
<b>SALIR</b>	<b>SIGUIENTE</b>	<b>PARÁMETROS ALARMA</b>
		<b>ALARMAS</b>

Figura 6-12: Pantalla param. funcionamiento bombas recirculación Fuente: Propia

En la siguiente pantalla como se puede observar en la figura 6-12, podremos parametrizar los siguientes parámetros:

- Tiempo retardo marcha inhibir confirmación de marcha:  
Con este parámetro podremos seleccionar el tiempo para poder inhibir la alarma por fallo confirmación marcha que nos dará el arrancador de cada bomba para evitar que esta se nos parase.
- Tiempo retardo marcha por detector de flujo:  
Con este parámetro podremos seleccionar el tiempo para poder inhibir la alarma por fallo detector de caudal ya que al arrancar cada bomba el interruptor de flujo como es lógico no estará a 1. Así podremos evitar que la bomba pare sin ser una alarma real.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR”, acceder a la siguiente pantalla de parámetros “SIGUIENTE”, acceder a los parámetros de alarma del depósito “PARÁMETROS ALARMA”, o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.2.3. Parámetros funcionamiento enfriadoras.

hh:mm:ss	PARÁMETROS ENFRIADORAS	MANTENIMIENTO
<b>TEMPERATURAS CONSIGNAS SISTEMA</b>		
CONSIGNA TEMPERATURA AGUA FRÍA DEPÓSITO PARA MARCHA ENFRIADORAS		<input type="text" value="12"/> °C
CONSIGNA TEMPERATURA AGUA FRÍA DEPÓSITO PARA PARO ENFRIADORAS		<input type="text" value="12"/> °C
<b>TIEMPO MARCHA ENFRIADORA DESPUÉS DE ARRANQUE BOMBA RECIRCULACIÓN</b>		
TIEMPO RETARDO MARCHA ENFRIADORA EN AUTO		<input type="text" value="12"/> seg.
<b>TIEMPO PARO BOMBA RECIRCULACIÓN DESPUÉS DE PARADA ENFRIADORA</b>		
TIEMPO RETARDO DESPUÉS PARO ENFRIADORA EN AUTO		<input type="text" value="12"/> seg.
<b>TIEMPO MARCHA ENFRIADORA ADICIONAL POR NO LLEGAR A CONSIGNA</b>		
TIEMPO MARCHA ENFRIADORA ADICIONAL		<input type="text" value="12"/> min.
<b>SALIR</b>	<b>SIGUIENTE</b>	<b>PARÁMETROS ALARMA</b>
		<b>ALARMAS</b>

Figura 6-13: Pantalla enfriadoras Fuente: Propia

En la siguiente pantalla como se puede observar en la figura 6-13 podremos parametrizar los siguientes parámetros:

- Consignas temperaturas agua fría depósito para paro/marcha enfriadoras:  
Con estos parámetros podremos seleccionar la consigna de paro / marcha con la que las enfriadoras buscaran enfriar el agua, estando en automático.
- Tiempo marcha enfriadora después marcha bomba recirculación:  
Con este tiempo retardaremos el arranque de la enfriadora para confirmar que la bomba de recirculación le está enviando agua. Si arrancase la enfriadora sin la bomba de recirculación la enfriadora pararía por avería.
- Tiempo paro bomba recirculación después de parada enfriadora:  
Con este tiempo retardaremos el paro de la bomba de recirculación una vez la enfriadora esté parada.
- Tiempo marcha enfriadora adicional por no llegar a consigna:  
Con este parámetro forzaremos el arranque de una enfriadora adicional por no poder enfriar hasta la temperatura de consigna con una sola enfriadora.

#### 6.3.2.4. Parámetros funcionamiento bombas de consumo.

hh:mm:ss	PARÁMETROS BOMBAS CONSUMO	MANTENIMIENTO
<b>OPCIONES CONTROL PID</b>		
FUNCIONAMIENTO CONTROL PID BOMBAS DE CONSUMO POR PRESIÓN		<input type="button" value="PRESIÓN"/>
FUNCIONAMIENTO CONTROL PID BOMBAS DE CONSUMO POR CAUDAL IMPULSIÓN		<input type="button" value="m3/h"/>
<b>CONSIGNA PRESIÓN / CAUDAL BOMBAS CONSUMO PARA PID</b>		
CONSIGNA PRESIÓN PID	<input type="text" value="12"/> bars	CONSIGNA CAUDAL PID <input type="text" value="12"/> m3/h
<b>TIEMPO MARCHA INHIBIR CONFIRMACIÓN MARCHA</b>		
TIEMPO RETARDO MARCHA POR CONFIRMACIÓN	<input type="text" value="123"/> seg.	
<b>TIEMPO MARCHA INHIBIR DETECTOR DE FLUJO</b>		
TIEMPO RETARDO MARCHA POR DETECTOR FLUJO	<input type="text" value="123"/> seg.	
<input type="button" value="SALIR"/>	<input type="button" value="PARÁMETROS ALARMA"/>	<input type="button" value="ALARMAS"/>

Figura 6-14: Pantalla bombas consumo Fuente: Propia

En la siguiente pantalla como se puede observar en la figura 6-14, podremos parametrizar los siguientes parámetros:

- Opciones de control PID:  
Con esta opción se podrá configurar la regulación del PID de las bombas. Podremos realizar un control PID en función de la presión o caudal a aportar al sistema.
- Consigna presión/caudal para regulación PID de las bombas:  
Una vez seleccionada la opción del punto anterior, en estos parámetros configuraremos la presión o caudal de consigna para que el control PID busque la consigna parametrizada.
- Tiempo retardo marcha inhibir confirmación de marcha:  
Al igual que en las bombas de recirculación mediante este tiempo inhibimos la alarma por falta de confirmación de marcha al arrancar.
- Tiempo retardo marcha por detector de flujo:  
Al igual que en las bombas de recirculación mediante este tiempo inhibimos la alarma por no tener la señal del interruptor de caudal al arrancar.

### 6.3.3. Menú parámetros alarmas de la instalación.



Figura 6-15: Pantalla menú parámetros alarmas Fuente: Propia

En la figura 6-15, podemos ver el menú que dará acceso a las diferentes pantallas de parámetros de alarmas del sistema. Podremos acceder a las siguientes pantallas de parámetros:

- Parámetros alarmas depósito.
- Parámetros alarmas bombas de recirculación.
- Parámetros alarmas enfriadoras.
- Parámetros alarmas bombas de consumo.

Cada grupo de parámetros da acceso a un submenú de parámetros donde podemos ver los parámetros de alarma de cada elemento al igual que hemos visto en la parte de control del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.3.1. Parámetros alarmas depósito.

hh:mm:ss	PARÁMETROS ALARMAS DEPÓSITO	MANTENIMIENTO
<b>ALARMA NIVELES DEPÓSITO</b>		
ALARMA NIVEL MÍNIMO	<input type="text" value="123"/> %	<input type="button" value="ALARMA VIA GSM ACTIVADA"/>
ALARMA NIVEL MÁXIMO	<input type="text" value="123"/> %	
<b>ALARMAS TEMPERATURAS DEPÓSITO</b>		
ALARMA ALTA TEMPERATURA EN DEPÓSITO {TT.2}	<input type="text" value="12"/> °C	<input type="button" value="ALARMA VIA GSM ACTIVADA"/>
ALARMA BAJA TEMPERATURA EN DEPÓSITO {TT.1}	<input type="text" value="12"/> °C	
<b>ALARMA VÁLVULA LLENADO DEPÓSITO</b>		
EXCEDIDO TIEMPO APERTURA VÁLVULA LLENADO	<input type="text" value="12"/> seg.	
<input type="button" value="SALIR"/>	<input type="button" value="SIGUIENTE"/>	<input type="button" value="ALARMAS"/>

Figura 6-16: Pantalla menú parámetros alarmas Fuente: Propia

En la figura 6-16, se podrá parametrizar los siguientes valores de alarma:

- Alarma nivel mínimo: Al bajar el nivel del parametrizado saltará la alarma.
- Alarma nivel máximo: Al subir el nivel del parametrizado saltará la alarma.
- Alarmas temperaturas baja y alta: Una vez alcanzados los valores parametrizados saltará la alarma de temperatura correspondiente.
- Alarma excedido tiempo apertura válvula: Si la válvula permanece abierta el tiempo parametrizado provocaremos alarma y la válvula cerraría.

Cabe comentar que se ha colocado un botón para poder escoger la opción de una vez que salte cualquier alarma que el sistema avise al usuario vía GSM o no. Con esta opción el usuario podrá discriminar o no las alarmas prioritarias del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR”, acceder a la siguiente pantalla de parámetros de alarma “SIGUIENTE” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.3.2. Parámetros alarmas bombas recirculación.

hh:mm:ss	PARÁMETROS ALARMAS BOMBAS RECIRCULACIÓN	MANTENIMIENTO
<b>ALARMA ALTA PRESIÓN BOMBAS RECIRCULACIÓN</b>		
ALARMA ALTA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBA 1 (PT.1)	<input type="text" value="12"/> bars	<input type="button" value="ALARMA VIA GSM ACTIVADA"/>
ALARMA ALTA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBA 2 (PT.2)	<input type="text" value="12"/> bars	
ALARMA BAJA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBA 1 (PT.1)	<input type="text" value="12"/> bars	
ALARMA BAJA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBA 2 (PT.2)	<input type="text" value="12"/> bars	
<b>ALARMA CAUDAL BOMBAS RECIRCULACIÓN</b>		
ALARMA BAJO CAUDAL IMPULSIÓN BOMBA 1 (FT.1)	<input type="text" value="123"/> m3/h	<input type="button" value="ALARMA VIA GSM ACTIVADA"/>
ALARMA BAJO CAUDAL IMPULSIÓN BOMBA 2 (FT.2)	<input type="text" value="123"/> m3/h	
<b>TIEMPOS ALARMAS BOMBAS RECIRCULACIÓN</b>		
TIEMPO RETARDO ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA	<input type="text" value="123"/> seg.	<input type="button" value="ALARMA VIA GSM ACTIVADA"/>
TIEMPO RETARDO ALARMA FALLO DETECTOR FLUJO	<input type="text" value="123"/> seg.	
<input type="button" value="SALIR"/>		<input type="button" value="ALARMAS"/>
<input type="button" value="SIGUIENTE"/>		

Figura 6-17: Pantalla param. alarmas bombas recirculación Fuente: Propia

En la figura 6-17, se podrá parametrizar los siguientes valores de alarma:

- Alarma alta/baja presión: Al llegar al valor parametrizado saltará la alarma correspondiente de presión.
- Alarma bajo caudal: Al bajar el valor del parametrizado saltará la alarma de caudal.
- Alarmas temperaturas baja y alta: Una vez alcanzados los valores parametrizados saltará la alarma de temperatura correspondiente.
- Tiempo alarma fallo confirmación marcha: Una vez pasado el tiempo parametrizado y perder la confirmación marcha activamos la alarma.
- Tiempo alarma interruptor de flujo: Una vez pasado el tiempo parametrizado y el interruptor de flujo detecte que no hay paso de agua activamos la alarma.

Al igual que en el depósito se ha colocado un botón para poder escoger la opción de una vez que salte cualquier alarma que el sistema avise al usuario vía GSM o no. Con esta opción el usuario podrá discriminar o no las alarmas prioritarias del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR”, acceder a la siguiente pantalla de parámetros de alarma “SIGUIENTE” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

### 6.3.3.3. Parámetros alarmas enfriadoras.

hh:mm:ss	PARÁMETROS ALARMAS ENFRIADORAS	MANTENIMIENTO
<b>ALARMA TEMPERATURAS ENFRIADORAS</b>		
ALARMA ALTA TEMPERATURA ENFRIADORA 1 {TT.3}	<input type="text" value="12"/> °C	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA
ALARMA ALTA TEMPERATURA ENFRIADORA 2 {TT.4}	<input type="text" value="12"/> °C	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA
ALARMA BAJA TEMPERATURA ENFRIADORA 1 {TT.3}	<input type="text" value="12"/> °C	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA
ALARMA BAJA TEMPERATURA ENFRIADORA 2 {TT.4}	<input type="text" value="12"/> °C	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA
<b>SALIR</b>	<b>SIGUIENTE</b>	<b>ALARMAS</b>

Figura 6-18: Pantalla enfriadoras Fuente: Propia

En la figura 6-18, se podrá parametrizar los siguientes valores de alarma:

- Alarma temperatura alta enfriadora 1 y 2: Al llegar al valor parametrizado saltará la alarma correspondiente de temperatura por no poder llegar a la consigna.
- Alarma temperatura baja enfriadora 1 y 2: Al llegar al valor parametrizado saltará la alarma correspondiente de temperatura por no poder llegar a la consigna.

Al igual que en los elementos anteriores se ha colocado un botón para poder escoger la opción de una vez que salte cualquier alarma que el sistema avise al usuario vía GSM o no.

Con esta opción el usuario podrá discriminar o no las alarmas prioritarias del sistema.

Al igual que en pantallas anteriores podremos “SALIR”, acceder a la siguiente pantalla de parámetros de alarma “SIGUIENTE” o acceder a la pantalla de “ALARMAS”.

#### 6.3.3.4. Parámetros alarmas bombas de consumo.

hh:mm:ss	PARÁMETROS ALARMAS BOMBAS CONSUMO	MANTENIMIENTO
<b>ALARMAS PRESION BOMBAS CONSUMO</b>		IMPULSIÓN {PT.6}    RETORNO {PT.7}
ALARMA ALTA PRESIÓN BOMBAS	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> bars <input type="text" value="12"/> bars
ALARMA BAJA PRESIÓN BOMBAS	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> bars <input type="text" value="12"/> bars
<b>ALARMA CAUDAL BOMBAS CONSUMO</b>		IMPULSIÓN {FT.3}    RETORNO {FT.4}
ALARMA ALTO CAUDAL BOMBAS	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="123"/> m3/h <input type="text" value="123"/> m3/h
ALARMA BAJO CAUDAL BOMBAS	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="123"/> m3/h <input type="text" value="123"/> m3/h
<b>TIEMPOS ALARMAS BOMBAS CONSUMO</b>		BOMBAS 3, 4, 5
TIEMPO RETARDO ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> seg.
TIEMPO RETARDO ALARMA FALLO DETECTOR FLUJO	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> seg.
<b>ALARMA FRECUENCIA BOMBAS CONSUMO</b>		BOMBA 3    BOMBA 4    BOMBA 5
ALARMA ALTA FRECUENCIA	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> Hz <input type="text" value="12"/> Hz <input type="text" value="12"/> Hz
ALARMA BAJA FRECUENCIA	<input type="checkbox"/> ALARMA VIA GSM ACTIVADA	<input type="text" value="12"/> Hz <input type="text" value="12"/> Hz <input type="text" value="12"/> Hz
<b>SALIR</b>		<b>ALARMAS</b>

Figura 6-19: Pantalla bombas de consumo Fuente: Propia

En la figura 6-19, se podrá parametrizar los siguientes valores de alarma:

- Alarma alta/baja presión bombas 3, 4 y 5: Al llegar al valor parametrizado saltará la alarma correspondiente de alta y baja presión de la bomba correspondiente.
- Alarma alto/bajo caudal bombas 3, 4 y 5: Al llegar al valor parametrizado saltará la alarma correspondiente de alto y bajo caudal de la bomba correspondiente.
- Tiempo alarma fallo confirmación marcha bomba 3, 4 y 5: Una vez pasado el tiempo parametrizado y perder la confirmación marcha activamos la alarma de la correspondiente bomba.
- Tiempo alarma interruptor de flujo bomba 3, 4 y 5: Una vez pasado el tiempo parametrizado y el interruptor de flujo detecte que no hay paso de agua activamos la alarma de la correspondiente bomba.
- Alarmas alta/baja frecuencia bomba 3, 4 y 5: Una vez llegado al lindante del valor parametrizado activamos la alarma de frecuencia correspondiente.

Al igual que en los elementos anteriores se ha colocado un botón para poder escoger la opción de una vez que salte cualquier alarma que el sistema avise al usuario vía GSM o no. Con esta opción el usuario podrá discriminar o no las alarmas prioritarias del sistema.

#### 6.4. Pantalla de alarmas del sistema

hh:mm:ss	ALARMAS ACTIVAS 1	MANTENIMIENTO
<b>ALARMAS DEPÓSITO ABASTECIMIENTO SISTEMA</b>		
BAJO NIVEL DEPÓSITO		ALTO NIVEL DEPÓSITO
ALTA TEMPERATURA DEPÓSITO		BAJA TEMPERATURA DEPÓSITO
EXCEDIDO TIEMPO VÁLVULA LLENADO ABIERTA		
<b>ALARMAS BOMBAS DE RECIRCULACIÓN</b>		
ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA BMB 1		ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA BMB 2
ALARMA INTERRUPTOR CAUDAL BMB 1		ALARMA INTERRUPTOR CAUDAL BMB 2
ALARMA ARRANCADOR/DISYUNTOR BMB 1		ALARMA ARRANCADOR/DISYUNTOR BMB 2
ALARMA ALTA PRESIÓN BMB 1		ALARMA ALTA PRESIÓN BMB 2
ALARMA BAJA PRESIÓN BMB 1		ALARMA BAJA PRESIÓN BMB 2
ALARMA BAJO CAUDAL BMB 1		ALARMA BAJO CAUDAL BMB 2
<b>ALARMAS ENFRIADORAS</b>		
ALARMA CONF. MARCHA ENFRIADORA 1		ALARMA CONF. MARCHA ENFRIADORA 2
ALARMA ENFRIADORA 1		ALARMA ENFRIADORA 2
ALTA TEMPERATURA ENFRIADORA 1		ALTA TEMPERATURA ENFRIADORA 2
BAJA TEMPERATURA ENFRIADORA 1		BAJA TEMPERATURA ENFRIADORA 2
VALIDAR ALARMA		RESET ALARMA
SALIR	IR A PAG. SIGUIENTE ALARMAS	HISTÓRICO DE ALARMAS

Figura 6-20: Pantalla de alarmas 1 Fuente: Propia

hh:mm:ss	ALARMAS ACTIVAS 2	MANTENIMIENTO
<b>ALARMAS BOMBAS DE CONSUMO</b>		
ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA BMB 3	ALARMA INTERRUPTOR CAUDAL BMB 3	
ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA BMB 4	ALARMA INTERRUPTOR CAUDAL BMB 4	
ALARMA CONFIRMACIÓN MARCHA BMB 5	ALARMA INTERRUPTOR CAUDAL BMB 5	
ALARMA VARIADOR FRECUENCIA BMB 3	ALARMA DISYUNTOR BMB 3	
ALARMA VARIADOR FRECUENCIA BMB 4	ALARMA DISYUNTOR BMB 4	
ALARMA VARIADOR FRECUENCIA BMB 5	ALARMA DISYUNTOR BMB 5	
ALTA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBAS	BAJA PRESIÓN IMPULSIÓN BOMBAS	
ALTA PRESIÓN RETORNO BOMBAS	BAJA PRESIÓN RETORNO BOMBAS	
ALTA CAUDAL IMPULSIÓN BOMBAS	BAJA CAUDAL IMPULSIÓN BOMBAS	
ALTA CAUDAL RETORNO BOMBAS	BAJA CAUDAL RETORNO BOMBAS	
ALARMA FRECUENCIA ALTA BMB 3	ALARMA FRECUENCIA BAJA BMB 3	
ALARMA FRECUENCIA ALTA BMB 4	ALARMA FRECUENCIA BAJA BMB 4	
ALARMA FRECUENCIA ALTA BMB 5	ALARMA FRECUENCIA BAJA BMB 5	
<b>VALIDAR ALARMA</b>		<b>RESET ALARMA</b>
<b>SALIR</b>		<b>HISTÓRICO DE ALARMAS</b>

Figura 6-21: Pantalla de alarmas 2 Fuente: Propia

En las figura 6-20 y 6-21 podemos observar todas las alarmas del sistema. Una vez activada cualquier alarma esta se pone en rojo como podemos ver en las figuras.

Por la gran cantidad de alarmas generadas en el sistema se han tenido que crear dos pantallas de alarmas. Dentro de las pantallas de alarmas, éstas se han dividido en grupo según el elemento de la instalación que esté en alarma para así tenerlas mejor identificadas y que sea más intuitivo ver que está pasando en el sistema.

Dentro de cada pantalla una vez activada una alarma, ésta se podrá validar silenciado el avisar acústico aunque el luminoso permanecerá encendido hasta que se rearme dicha alarma. Para poder rearmar la alarma, ésta tendrá que haberse subsanado previamente y una vez actuamos sobre el botón de reset alarma esta se rearmará perdiendo el color rojo que se muestra en las figuras anteriores.

A parte de lo comentado, se podrá salir de la pantalla “SALIR” y acceder a la pantalla de “HISTÓRICO DE ALARMAS”.



## 6.5. Pantalla de totalizados



Figura 6-23: Pantalla totalizados 1 Fuente: Propia

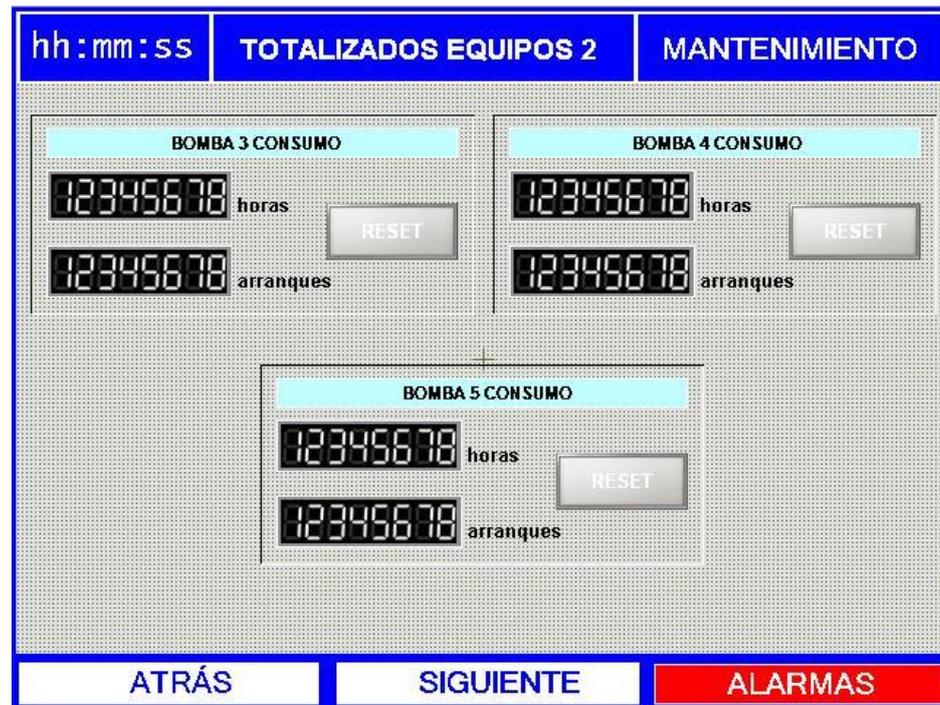


Figura 6-24: Pantalla totalizados 2 Fuente: Propia

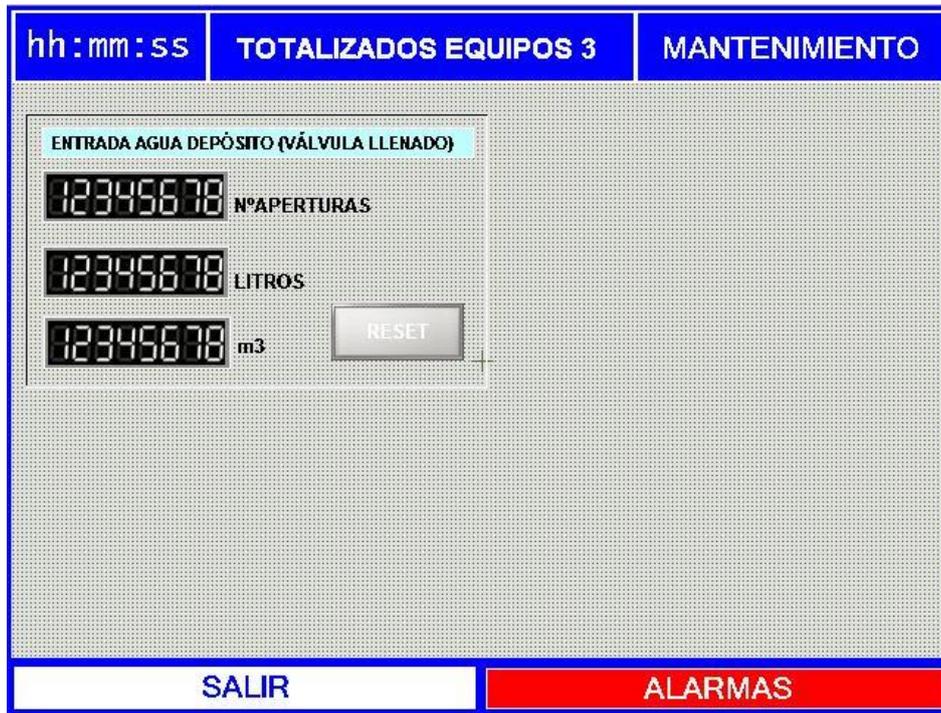


Figura 6-25: Pantalla totalizados 3 Fuente: Propia

En las figuras 6-23, 6-24, 6-25 se han generados unos totalizadores de todos los elementos del sistema para poder tener un control de horas de marcha y arranques de los mismos.

Con estos valores tendremos una información valiosa que luego se podrá tratar para conseguir las conclusiones pertinentes y así con ellas poder ajustar o configurar el sistema de acuerdo a unas necesidades u otras.

## 6.6. Pantallas de gráficas del sistema

Se han generado unas pantallas para poder graficar todas las variables del sistema y así tener una información muy amplia de cómo está trabajando el sistema.

Podremos ver si en algún punto o momento ha pasado alguna cosa y tener una gran trazabilidad al disponer de todas las variables del sistema.

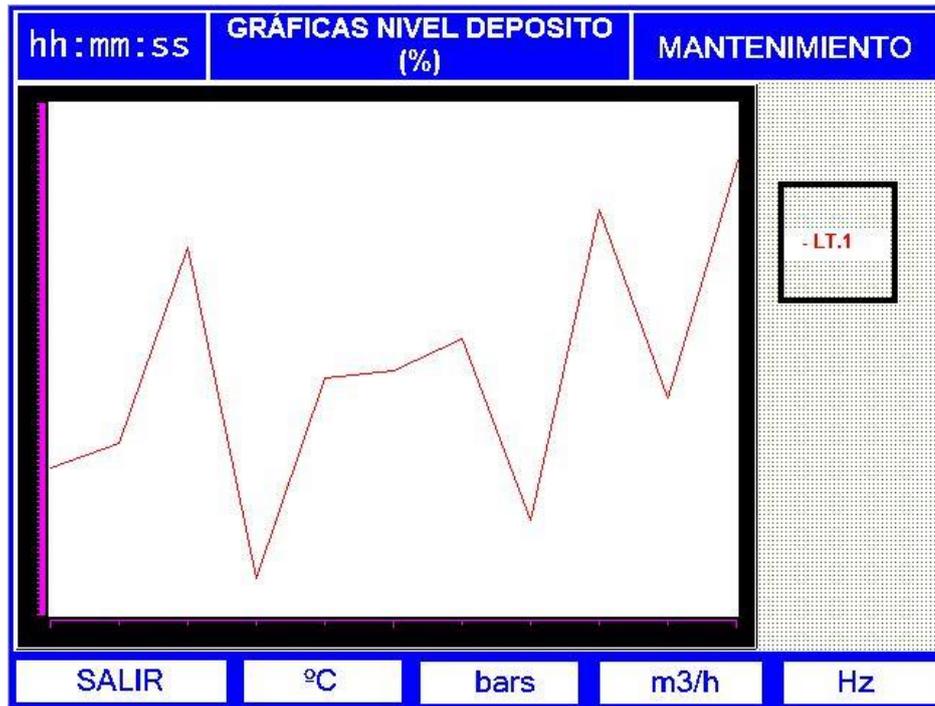


Figura 6-26: Pantalla gráfica nivel depósito Fuente: Propia

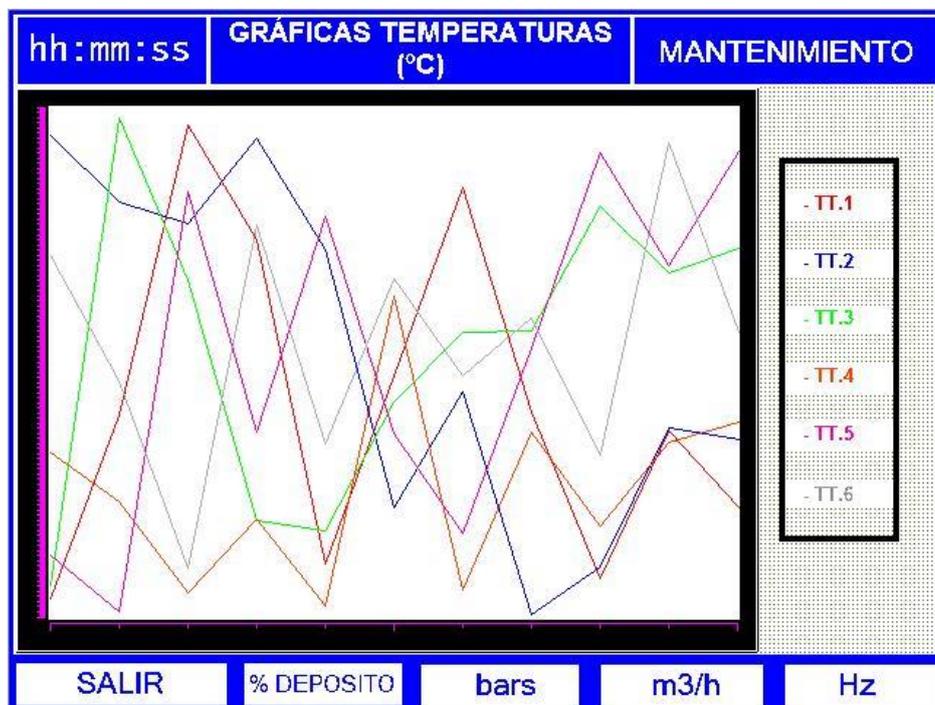


Figura 6-27: Pantalla gráfica nivel depósito Fuente: Propia

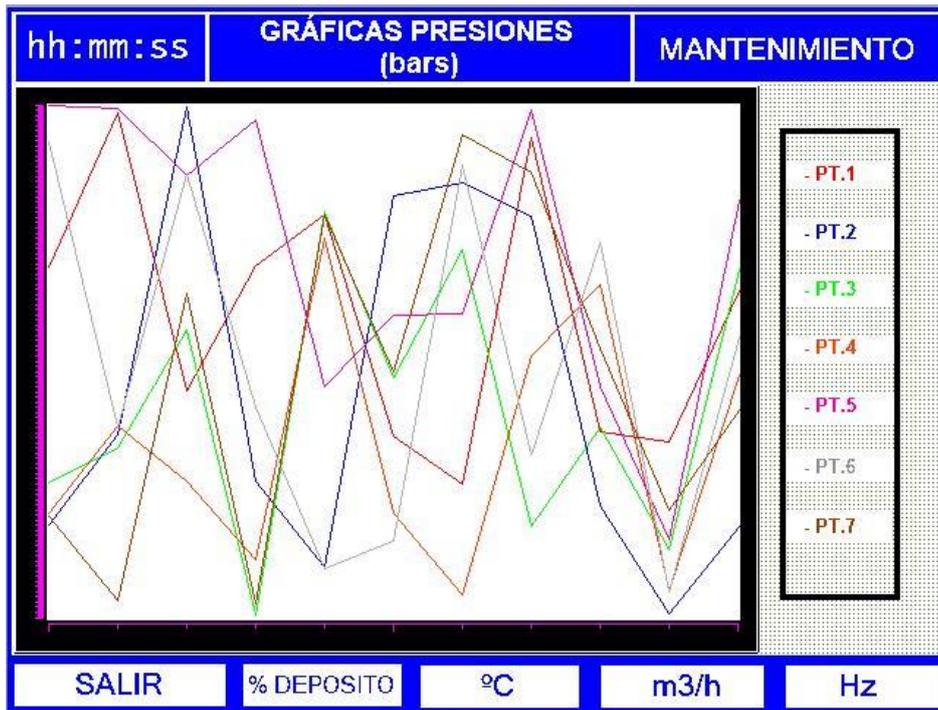


Figura 6-28: Pantalla gráfica nivel depósito Fuente: Propia

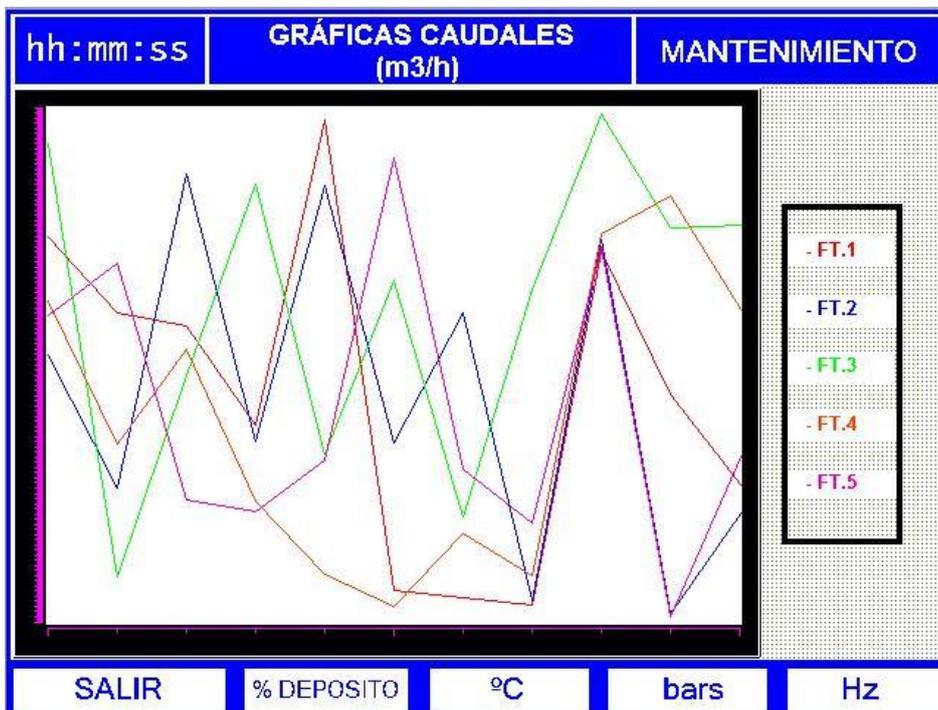


Figura 6-29: Pantalla gráfica nivel depósito Fuente: Propia



Figura 6-30: Pantalla gráfica nivel depósito Fuente: Propia

Como se puede observar en todas las figuras de las gráficas, tendremos unos históricos de cómo han ido evolucionando las diferentes variables en el tiempo para así poder detectar posibles averías y así anticiparnos a cualquier problema.

## 7. Planificación.

### 7.1. Introducción

La planificación está diseñada para poder controlar tres grandes bloques que nos facilitaran el control de los datos clave para así conseguir cumplir con más fiabilidad los plazos previstos.

- Diseño producto acabado con todos los estudios, materiales y legislación necesarios.
- Redactado: Acoplamiento y redactado del cuerpo del proyecto y sus conclusiones.
- Presentación: Simulación del proyecto, revisión i presentación al cliente.

A partir de esta definición general, la estructura de las tareas tiende a finalizar de manera unida para poder pasar a la siguiente etapa. Por otro lado una parte importante del trabajo consistirá en controlar e indexar todo el trabajo realizado, para facilitar el flujo de información que requerirán las tareas entre sí. Se va a planificar poder llevar a cabo el proyecto en la parada de la fábrica de verano que suele ser de finales de julio hasta finales de agosto (del 30/07/2018 al 29/08/2018), dispondremos de un mes aproximado para la implantación del proyecto. Habrá tareas que las podremos realizar antes, para anticiparnos y poder cumplir con los plazos, para ello el proyecto de detalle tendrá las siguientes fechas:

- Inicio del proyecto de detalle: 30/04/2018
- Final previsto: 29/08/2018

Según las fechas indicadas tendremos desde el 30 de abril hasta la parada de la fábrica para adelantar las faenas relacionadas con el estudio, diseño, realización de esquemas eléctricos y programación entre ellas. Estas faenas y alguna más, serían imposible por tiempo poder desarrollarlas en el periodo de paro de la fábrica en verano, por eso se van a ir desarrollando a partir del 30 de abril para llegar sin problemas a la finalización del proyecto en los tiempos marcados.

La planificación se ha llevado a cabo mediante el software de Microsoft “MS Project”.

## 7.2. Definición de tareas

Las tareas las dividiremos según el ámbito de actuación dentro del proyecto:

### 7.2.1. Tareas de estudio del proyecto

**1. Objeto del proyecto:**

Estudio donde se va a tratar que va a solucionar el proyecto, que necesidad tiene a día la empresa y que carencias tiene la instalación.

**2. Estudio de la situación actual:**

Estudio donde se valorará como está la instalación a día de hoy. Con este punto se concretará muchas de las tareas que se realizarán a posteriori.

**3. Definición de necesidades:**

Estudio donde se trataran los puntos importantes que tiene que solucionar el proyecto. Carencias de la instalación.

**4. Alcance del proyecto:**

Se realizará un acotamiento del proyecto para tener definido que trataremos y que no en el proyecto.

**5. Objetivos / especificaciones técnicas:**

Mediante los objetivos que queremos alcanzar se detallaran unas especificaciones técnicas que harán que el proyecto sea una realidad.

**6. Generación de diferentes soluciones:**

Generación de posibles soluciones al problema inicial para poder valorar y escoger la opción más adecuada a nuestras necesidades.

**7. Selección de la alternativa más adecuada:**

Se realizará un estudio con los pros y los contras de cada opción dada para seleccionar la mejor para el proyecto valorando todos los aspectos importantes.

**8. Análisis de viabilidad técnica:**

Estudio donde se comprobará que el proyecto se puede llevar a cabo técnicamente.

**9. Análisis de viabilidad económica:**

Estudio donde se comprobará que el proyecto es viable económicamente.

**10. Análisis de viabilidad medioambiental:**

Estudio donde se comprobará que el proyecto es viable medioambientalmente.

**11. Estudio utilización de energía renovable:**

Se realizará un estudio para ver la viabilidad de incorporar energías renovables al proyecto.

**12. Materiales y proveedores:**

Tarea de búsqueda de los elementos que proporcionaran a la instalación de toda la información necesaria, se buscarán los proveedores con mejores prestaciones para el proyecto.

**13. Legislación nacional y europea:**

Búsqueda y documentación de toda la parte relativa a legislaciones nacionales y europeas relacionadas con instalaciones de enfriamiento de agua.

**7.2.2. Tareas desarrollo del proyecto****14. Desarrollo de la solución:**

Búsqueda de información relacionada con el proyecto y que pueda tener un impacto importante sobre él.

**15. Acoplamiento de documentación:**

Recopilación de toda la información obtenida hasta el momento para llevar un control de la misma. Tarea que se desarrollará al acabar cada punto del proyecto.

**16. Planificación inicial:**

Tarea que se realizará en continuo para controlar el control de tiempos de ejecución del proyecto y todas sus tareas para la anticipación de posibles desviaciones.

**17. Presupuesto inicial:**

Desarrollo del presupuesto inicial con el fin de tener una primera toma de contacto con los gastos iniciales del proyecto.

**18. Corrección del anteproyecto:**

Tarea en continuo que realiza el Project Manager. La tarea representa la gestión de todo el anteproyecto, incluye la revisión de toda la documentación elaborada realizando las correcciones oportunas a medida que avanza el proyecto.

**19. Revisión del trabajo realizado:**

Tarea en continuo que realiza el Project Manager una vez corregido el anteproyecto para revisar y valorar la documentación pendiente para desarrollar el proyecto de detalle.

**20. Planificación final:**

Informe de la planificación donde se indica con que precisión y fiabilidad se ha desarrollado la planificación del proyecto, las desviaciones y las correcciones en la planificación y unas conclusiones.

**21. Realización nuevos esquemas eléctricos:**

Desarrollo de los nuevos esquemas eléctricos para una vez llegue la hora de la parada poder implementar la modificación en el cuadro de control y en toda la instalación.

**22. Programación PLC, HMI, variadores de frecuencia y módulo GSM.**

Programación de toda la parte de control del sistema, en esta tarea se incluye la programación del PLC, pantalla HMI, variadores de frecuencia de las bombas y el módulo de alarma GSM.

**23. Cableado y colocación de todos los nuevos sensores digitales y analógicos:**

Cableado y colocación de todos los elementos de campo en su ubicación final.

Tarea desarrollada por el eléctrico 1.

**24. Modificación cuadro eléctrico:**

Tareas de modificación del cuadro eléctrico desarrollada por eléctricos donde se implementaran todas las modificaciones añadiendo todas las señales y dispositivos nuevos al sistema. Tarea desarrollada por el eléctrico 2.

**25. Puesta en marcha y pruebas in situ:**

Una vez integrado todo el nuevo sistema, éste se verificará que cumple con todos los requerimientos y objetivos decididos inicialmente. Se realizará una prueba de todo el sistema verificando todas y cada una de las condiciones planteadas para asegurar el correcto funcionamiento del mismo.

**26. Ajustes de puesta en marcha:**

Tarea realizada por el eléctrico 1, donde éste ajustará todos los elementos del sistema para que cada elemento de la señal en el momento oportuno. Ajuste de spam, cero e histéresis de los diferentes elementos que proporcionaran la información al sistema.

**27. Validación de la instalación**

Realización de un informe detallando todas las pruebas realizadas y en el que se refleja que la instalación ha cumplido todos los requisitos inicialmente planteados.

**28. Presupuesto final:**

Corrección del presupuesto inicial informando de todo lo gastado hasta la fecha para poder comprobar las desviaciones y así dar el presupuesto final del coste del proyecto.

**29. Manual de usuario y mantenimiento:**

Realización de los manuales de usuario y mantenimiento, donde explicará con detalle todo lo necesario para que la instalación funcione perfectamente.

**30. Revisión final del trabajo realizado:**

Una vez completado el proyecto se revisa todas las tareas y faenas realizadas para poder dar la documentación final y preparar la presentación del proyecto al cliente.

**31. Documentación final del proyecto de detalle:**

Elaboración del documento final para el cliente siguiendo la norma i elaboración del proyecto y su guion.

**32. Presentación final del proyecto de detalle:**

Realización de la presentación para dar a conocer al cliente todos los puntos fuertes del proyecto y de interés del proyecto.

**33. Cierre y entrega del proyecto:**

Recopilación de toda la información interna (documentación, actas, actividades, desviaciones, resultados, etc...) para realizar unas conclusiones sobre el proyecto y sintetizar la experiencia obtenida en éste.

## 7.3. Tareas y recursos

### 7.3.1. Tiempo tareas y recursos

Tiempo Tareas y recursos			
Código	Descripción	Partes Iguales (horas)	Responsable
1	Objeto del proyecto	10	Project Manager
2	Estudio de la situación actual	8	Project Manager
3	Definición de necesidades	6	Project Manager
4	Alcance del proyecto	6	Project Manager
5	Objetivos del proyecto/especificaciones técnicas	18	Project Manager
6	Generación de diferentes soluciones	6	Project Manager
7	Selección de alternativa más adecuada	6	Project Manager
8	Análisis viabilidad técnica	20	Project Manager
9	Análisis viabilidad económica	20	Project Manager
10	Análisis viabilidad medioambiental	20	Project Manager
11	Estudio utilización energía renovable	20	Project Manager
12	Materiales y proveedores	25	Project Manager
13	Legislación nacional y europea	20	Project Manager
14	Desarrollo de la solución	30	Project Manager
15	Acoplamiento documentación	30	Project Manager
16	Planificación inicial	30	Project Manager
17	Presupuesto inicial	20	Project Manager
18	Corrección del anteproyecto	6	Project Manager
19	Revisión del trabajo realizado	5	Project Manager
20	Planificación final	10	Project Manager
21	Realización nuevos esquemas eléctricos	15	Project Manager
22	Programación PLC, HMI, variadores y módulo GSM	60	Project Manager
23	Cableado y colocación de todos los nuevos sensores	40	Eléctrico 1
24	Modificación cuadro eléctrico	70	Eléctrico 2
25	Puesta en marcha y pruebas in situ	20	Project Manager
26	Ajustes de puesta en marcha	10	Eléctrico 1
27	Validación final de la instalación	5	Project Manager
28	Presupuesto final	12	Project Manager
29	Manual de usuario y mantenimiento	20	Project Manager
30	Revisión final del trabajo realizado	5	Project Manager
31	Documento final del proyecto de detalle	20	Project Manager
32	Presentación final del proyecto de detalle	20	Project Manager
33	Cierre y entrega del proyecto	10	Project Manager

Tabla 7-1: Listado tiempo de tareas y recursos Fuente: Elaboración propia

### 7.3.2. Uso de los recursos

En los siguientes gráficos podemos ver la cantidad de horas que realiza cada uno de los recursos y las fechas de comienzo y fin. También podemos observar las horas totales de trabajo de todos los recursos del proyecto.

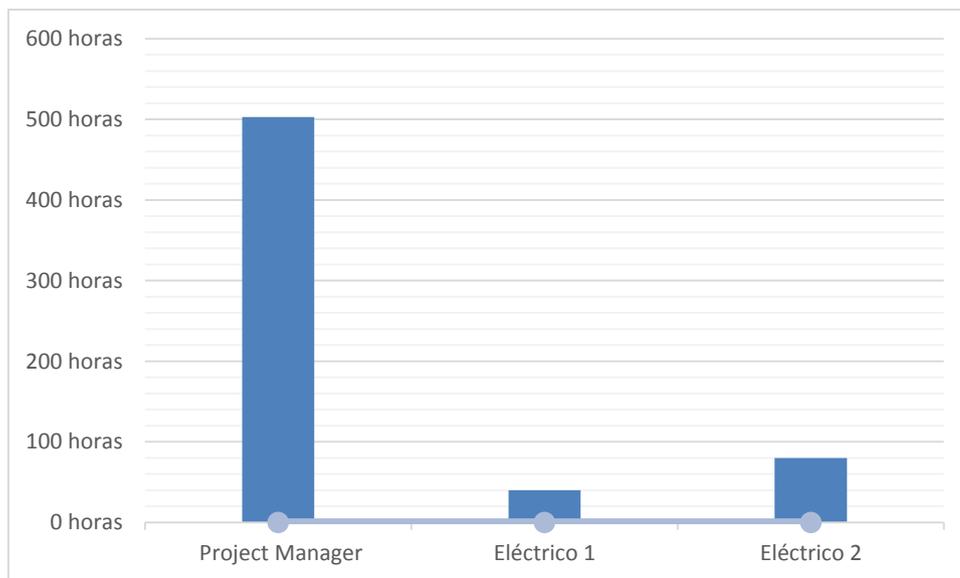


Figura 7-1: Gráfica uso de recursos Fuente: Propia

Nombre	Comienzo	Fin	Horas de Trabajo
Project Manager	lun 30/04/18	mié 29/08/18	503 horas
Eléctrico 1	lun 30/07/18	vie 10/08/18	50 horas
Eléctrico 2	lun 30/07/18	jue 09/08/18	70 horas
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>lun 30/04/18</b>	<b>mié 29/08/18</b>	<b>623 horas</b>

Tabla 7-2: Listado de recursos Fuente: Elaboración propia

## 7.4. Programación de tareas

Tiempo Tareas y recursos						
Tarea	Descripción	Duración (horas)	Inicio	Fin	Precede	Recurso
TFG	Trabajo fin de grado	87,75 días	lun 30/04/18	mié 29/08/18	-	Project Manager
1	Objeto del proyecto	10	lun 30/04/18	mar 01/05/18	-	Project Manager
2	Estudio de la situación actual	8	mar 01/05/18	mié 02/05/18	1	Project Manager
3	Definición de necesidades	6	mié 02/05/18	mié 02/05/18	2	Project Manager
4	Alcance del proyecto	6	jue 03/05/18	jue 03/05/18	3	Project Manager
5	Objetivos del proyecto /especificaciones técnicas	18	jue 03/05/18	Lun 07/05/18	4	Project Manager
6	Generación de diferentes soluciones	6	mar 08/05/18	mar 08/05/18	5	Project Manager
7	Selección de alternativa más adecuada	6	mar 08/05/18	mié 09/05/18	6	Project Manager
8	Análisis viabilidad técnica	20	mié 09/05/18	vie 11/05/18	7	Project Manager
9	Análisis viabilidad económica	20	lun 14/05/18	mié 16/05/18	8	Project Manager
10	Análisis viabilidad medioambiental	20	mié 16/05/18	vie 18/05/18	9	Project Manager
11	Estudio utilización energía renovable	20	lun 21/05/18	mié 23/05/18	10	Project Manager
12	Materiales y proveedores	25	mié 23/05/18	lun 28/05/18	11	Project Manager
13	Legislación nacional y europea	20	lun 28/05/18	jue 31/06/18	12	Project Manager
14	Desarrollo de la solución	30	jue 31/06/18	mar 05/06/18	13	Project Manager
15	Acoplamiento documentación	30	mar 05/06/18	lun 11/06/18	14	Project Manager
16	Planificación	30	lun 11/06/18	vie 15/06/18	15	Project Manager
17	Presupuesto 1	20	vie 15/06/18	mar 19/06/18	16	Project Manager
18	Corrección del anteproyecto	6	mar 19/06/18	mié 20/06/18	17	Project Manager
19	Presupuesto final	5	jue 21/06/18	vie 22/06/18	18	Project Manager
20	Planificación final	10	vie 22/06/18	lun 25/06/18	19	Project Manager

Tiempo Tareas y recursos						
Tarea	Descripción	Duración (horas)	Inicio	Fin	Precede	Recurso
21	Realización nuevos esquemas eléctricos	15	lun 25/06/18	mié 27/06/18	20	Project Manager
22	Programación PLC, HMI, Variadores y módulo GSM	60	mié 27/06/18	vie 06/07/18	21	Project Manager
23	Cableado y colocación de todos los nuevos sensores digitales y analógicos	40	lun 30/07/18	vie 03/08/18	---	Eléctrico 1
24	Modificación cuadro eléctrico	70	lun 30/07/18	jue 09/08/18	---	Eléctrico 2
25	Puesta en marcha y pruebas in situ	20	jue 09/08/18	mar 14/08/18	24	Project Manager
26	Ajustes de puesta en marcha	10	jue 09/08/18	vie 10/08/18	24	Eléctrico 1
27	Validación de la instalación	5	mar 14/08/18	mar 14/08/18	25;26	Project Manager
28	Presupuesto final	12	mar 14/08/18	jue 16/08/18	26;27	Project Manager
29	Manual de usuario y mantenimiento	20	jue 16/08/18	lun 20/08/18	28	Project Manager
30	Revisión final del trabajo realizado	5	lun 20/08/18	mar 21/08/18	29	Project Manager
31	Documentación final del proyecto de detalle	20	mar 21/08/18	jue 23/08/18	30	Project Manager
32	Presentación final del proyecto de detalle	20	vie 24/08/18	mar 28/08/18	31	Project Manager
33	Cierre y entrega del proyecto	10	mar 28/08/18	mié 29/08/18	32	Project Manager

Tabla 7-3: Listado de tareas con periodos y recursos Fuente: Elaboración propia

En el listado anterior, podemos observar el inicio y fin de cada una de las tareas así como el recurso que ejecutará cada una de ellas.

En la tabla también se pueden observar la duración de cada tarea y la precedencia.

Cabe comentar que el proyecto será llevado a cabo como se observa en la tabla por tres recursos (Project manager, eléctrico 1 y eléctrico 2). Como se puede ver casi todas las tareas serán ejecutadas por el Project manager, menos las tareas de cableado en campo, modificación del cuadro eléctrico de control y los ajustes de puesta en marcha de la instalación.

Esto conlleva, a tener un diagrama de Gantt bastante lineal hasta que aparecen los recursos (eléctricos 1 y 2), ya que las tareas van precedidas una tras otra para ir desarrollando el proyecto, ya que éste, está integro desarrollado por el Project manager al ser el proyecto de fin de carrera.

Ésta linealidad la perdemos al llegar a las tareas 23, 24 (cableado y modificación cuadro) que se pueden llevar a cabo conjuntamente ya que aparecen los recursos eléctricos 1 y 2. Después una vez finalizan estas últimas y pasamos a las tareas de puesta en marcha y ajustes también observamos que perdemos la linealidad en la precedencia de las tareas ya que las tareas 25 y 26 (Puesta en marcha y ajustes de puesta en marcha) serán desarrolladas por el Project manager y el eléctrico 1.

También, se puede observar como muchas de las tareas se pueden realizar antes de la parada de la instalación para su posterior modificación en agosto, menos las tareas de modificación y cableado que implicarían un paro en la instalación. Por eso estas dos tareas y las siguientes a las mismas, se ejecutaran a partir del 30 de julio, una vez la fábrica pare por vacaciones de verano.

En la siguiente página podemos observar el diagrama de Gantt donde se ve claramente la linealidad del diagrama.

Para poder ver gráficamente la intervención de los diferentes recursos del proyecto se ha identificado el diagrama de Gantt con diferentes colores.

Mediante Microsoft Project, podemos concretar que el TFG tendrá una duración de 87,75 días y como se planificó con anterioridad este comenzará el lunes 30/04/2018 y finalizará el miércoles 29/08/2018.

### 7.5. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt se ha dividido en las tareas que se pueden realizar antes de la parada y las que no. Veamos el Diagrama de Gantt de la primera parte:

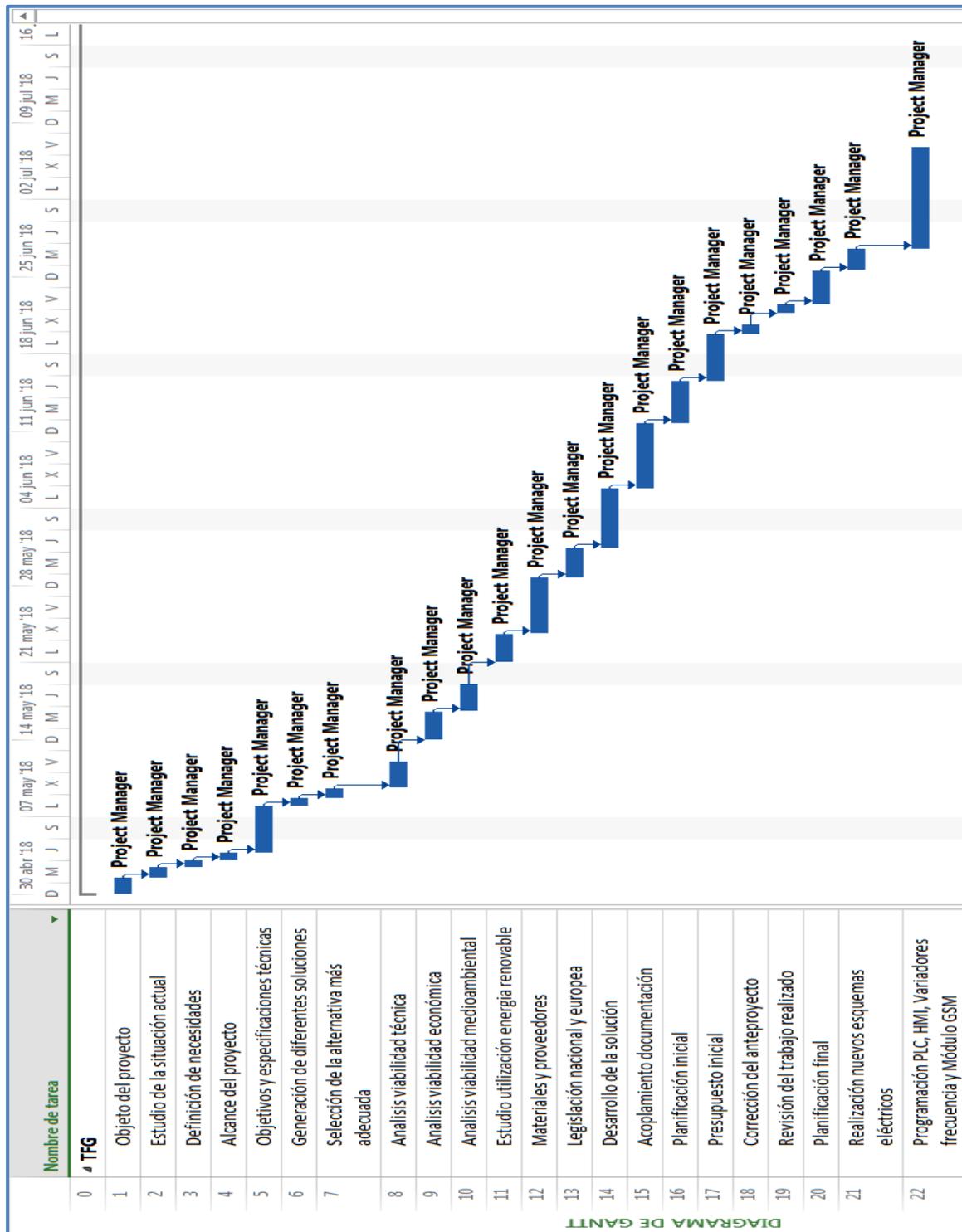


Figura 7-2: Diagrama de Gantt 1era parte Fuente: Propia

Ahora, veamos las tareas que se realizarán una vez llegados al paro de vacaciones de verano, del 30 de julio de 2018.

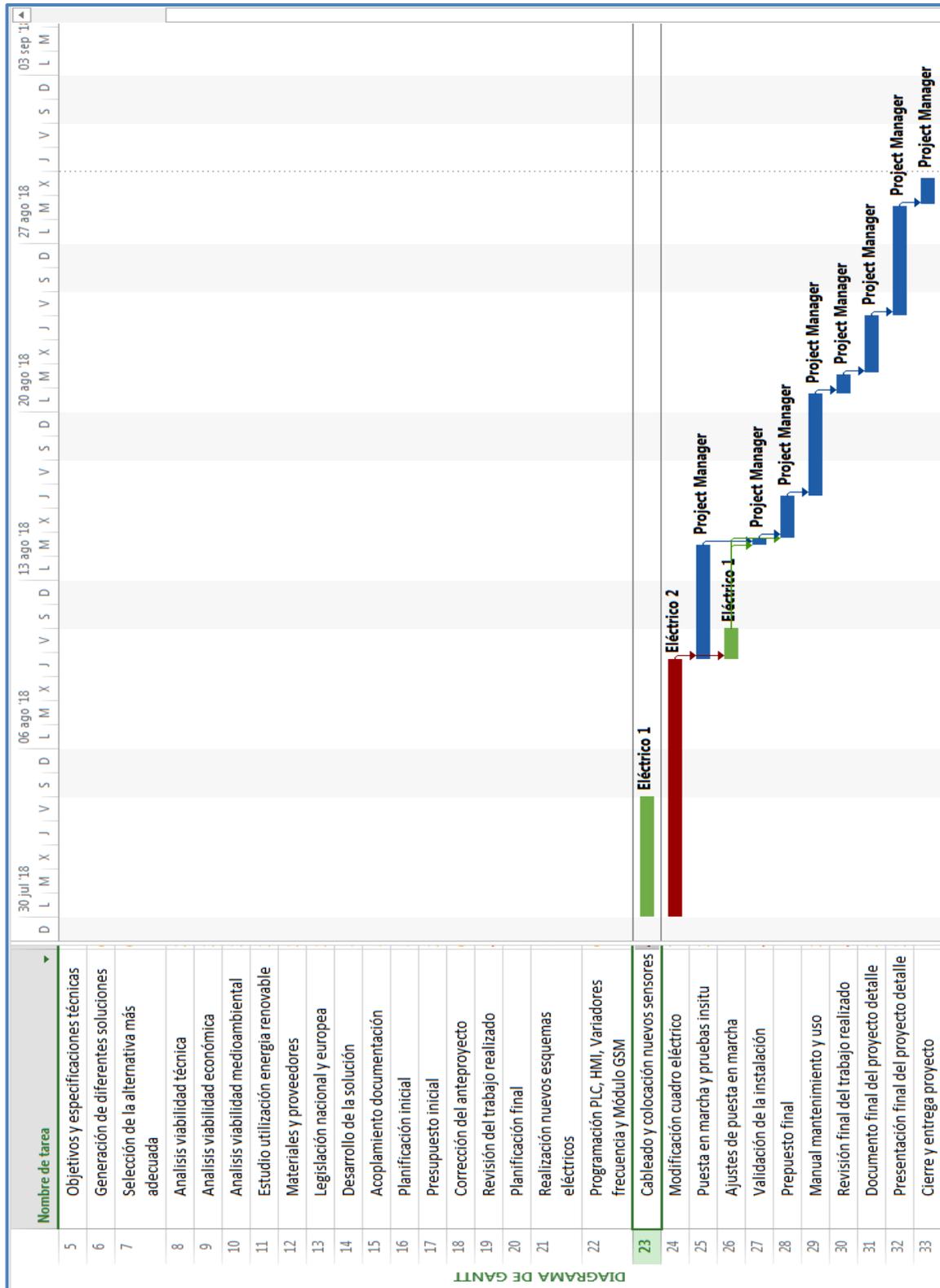


Figura 7-3: Diagrama de Gantt 2da parte Fuente: Propia

Ahora, se mostrará el Gantt completo con ambas partes anteriores incluidas:

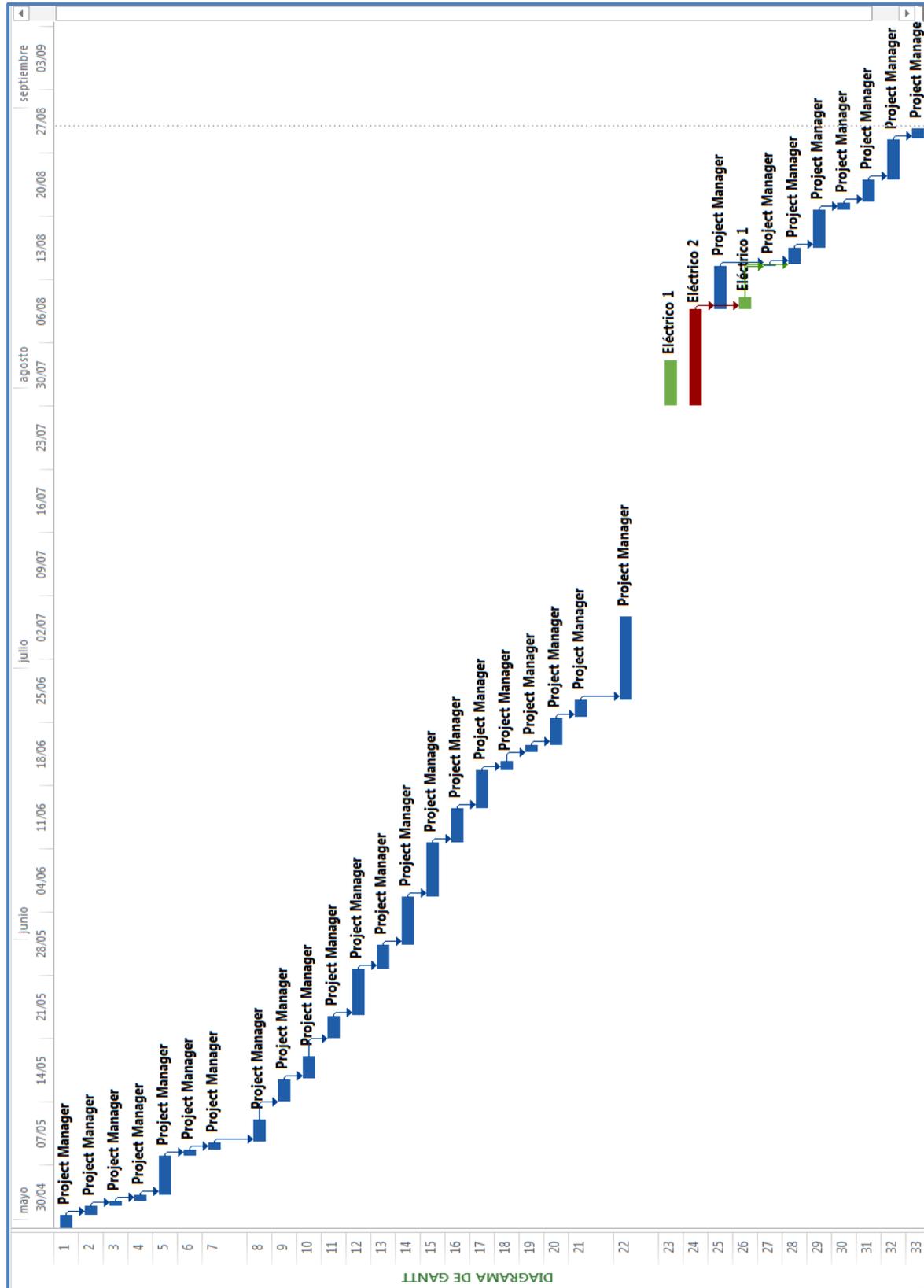


Figura 7-4: Diagrama de Gantt completo Fuente: Propia

## 7.6. Desviaciones de la planificación

Este apartado contempla toda la información relevante sobre el progreso de las tareas durante la elaboración del proyecto. Para poder comprender con claridad las desviaciones de la planificación, éstas se dividen en informes, donde se muestra el progreso de las tareas, la justificación de los retardos en estas, las nuevas tareas que aparecen debido a los nuevos intereses del proyecto y una actualización de la planificación y costes.

Los puntos importantes que han hecho variar la planificación son:

- Recortar tiempo de algunas tareas por realizarlas antes del tiempo planificado.
- Necesidad de incorporar 4 nuevas tareas para llegar al objetivo final sin mermas de ningún tipo.
- Necesidad de tener que repartir en dos alguna tarea.

Inicialmente el proyecto comenzaba el 01/05/2018 y acababa el 28/08/2018. Una vez se ha llegado a las tareas de desarrollo, se ha visto que era necesario el cambio de planificación, el periodo de inicio y fin del proyecto ha variado en dos días y finalmente comienza el 30/04/2018 y finalizará el 29/08/2018.

Como podemos observar la desviación ha sido pequeña, un día en el inicio del proyecto y otro al final. De hecho el tiempo más importante es la finalización del proyecto para no interferir en el arranque de la producción.

El retraso de finalización del proyecto en un día respecto a lo planificado inicialmente, se ha tenido en cuenta para que esta desviación no interfiriera en la puesta en marcha de la fábrica al volver de vacaciones de verano.

Si miramos la planificación final, podemos observar que la tarea final que se retrasa es la entrega y cierre de la documentación final y alguna más que no afecta a la producción. Las tareas de puesta en marcha, ajustes finales y validación siguen estando dentro de los tiempos de la parada de fábrica en agosto con lo que se cumple los requisitos iniciales de tiempos de desarrollo.

Se van a mostrar a continuación las 28 tareas iniciales planificadas y las 33 finales que han sido necesarias para llevar a cabo el proyecto, para ver a que se refieren estas desviaciones. En ellas se identificarán las que se han modificado y las que se han añadido.

### 7.6.1. Planificación inicial

Tiempo Tareas y recursos			
Código	Descripción	Partes Iguales (horas)	Responsable
1	Objeto del proyecto	10	Project Manager
2	Estudio de la situación actual	8	Project Manager
3	Definición de necesidades	6	Project Manager
4	Alcance del proyecto	6	Project Manager
5	Objetivos del proyecto/especificaciones técnicas	18	Project Manager
6	Generación de diferentes soluciones	6	Project Manager
7	Selección de alternativa más adecuada	6	Project Manager
8	Análisis viabilidad técnica	20	Project Manager
9	Análisis viabilidad económica	20	Project Manager
10	Análisis viabilidad medioambiental	20	Project Manager
11	Estudio utilización energía renovable	20	Project Manager
12	Materiales y proveedores	40	Project Manager
13	Legislación nacional y europea	20	Project Manager
14	Desarrollo de la solución	30	Project Manager
15	Acoplamiento documentación	30	Project Manager
16	Planificación	30	Project Manager
17	Presupuesto 1	20	Project Manager
18	Corrección del anteproyecto	6	Project Manager
19	Presupuesto final	12	Project Manager
20	Planificación final	10	Project Manager
21	Realización nuevos esquemas eléctricos	15	Project Manager
22	Programación PLC, HMI, Variadores y módulo GSM	60	Eléctricos (2 operarios)
23	Cableado y colocación de todos los nuevos sensores digitales y analógicos	40	Eléctricos (2 operarios)
24	Modificación cuadro eléctrico	80	Project Manager
25	Puesta en marcha y pruebas in situ	20	Project Manager
26	Manual de usuario y mantenimiento	20	Project Manager
27	Documento final y presentación	40	Project Manager
28	Cierre del proyecto	10	Project Manager

Tabla 7-4: Planificación tareas inicial Fuente: Elaboración propia

## 7.6.2. Planificación final

Tiempo Tareas y recursos			
Código	Descripción	Partes Iguales (horas)	Responsable
1	Objeto del proyecto	10	Project Manager
2	Estudio de la situación actual	8	Project Manager
3	Definición de necesidades	6	Project Manager
4	Alcance del proyecto	6	Project Manager
5	Objetivos del proyecto/especificaciones técnicas	18	Project Manager
6	Generación de diferentes soluciones	6	Project Manager
7	Selección de alternativa más adecuada	6	Project Manager
8	Análisis viabilidad técnica	20	Project Manager
9	Análisis viabilidad económica	20	Project Manager
10	Análisis viabilidad medioambiental	20	Project Manager
11	Estudio utilización energía renovable	20	Project Manager
12	Materiales y proveedores	25	Project Manager
13	Legislación nacional y europea	20	Project Manager
14	Desarrollo de la solución	30	Project Manager
15	Acoplamiento documentación	30	Project Manager
16	Planificación inicial	30	Project Manager
17	Presupuesto inicial	20	Project Manager
18	Corrección del anteproyecto	6	Project Manager
19	Revisión del trabajo realizado	5	Project Manager
20	Planificación final	10	Project Manager
21	Realización nuevos esquemas eléctricos	15	Project Manager
22	Programación PLC, HMI, variadores y módulo GSM	60	Project Manager
23	Cableado y colocación de todos los nuevos sensores	40	Eléctrico 1
24	Modificación cuadro eléctrico	70	Eléctrico 2
25	Puesta en marcha y pruebas in situ	20	Project Manager
26	Ajustes de puesta en marcha	10	Eléctrico 1
27	Validación final de la instalación	5	Project Manager
28	Presupuesto final	12	Project Manager
29	Manual de usuario y mantenimiento	20	Project Manager
30	Revisión final del trabajo realizado	5	Project Manager
31	Documento final del proyecto de detalle	20	Project Manager
32	Presentación final del proyecto de detalle	20	Project Manager
33	Cierre y entrega del proyecto	10	Project Manager

Tabla 7-5: Planificación tareas final Fuente: Elaboración propia

### 7.6.3. Gantt inicial

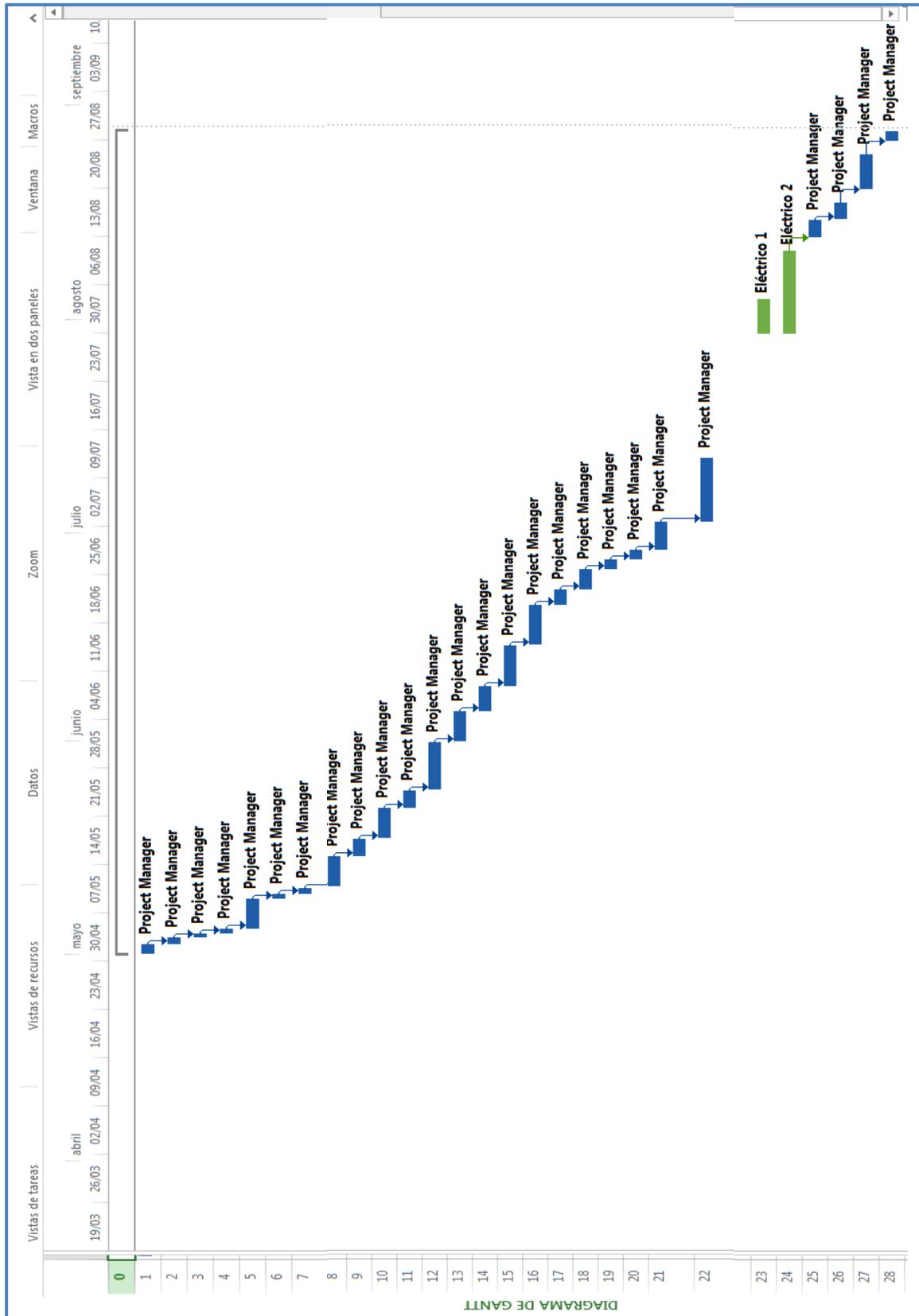


Figura 7-5: Diagrama de Gantt inicial Fuente: Propia

### 7.6.4. Gantt ejecución final

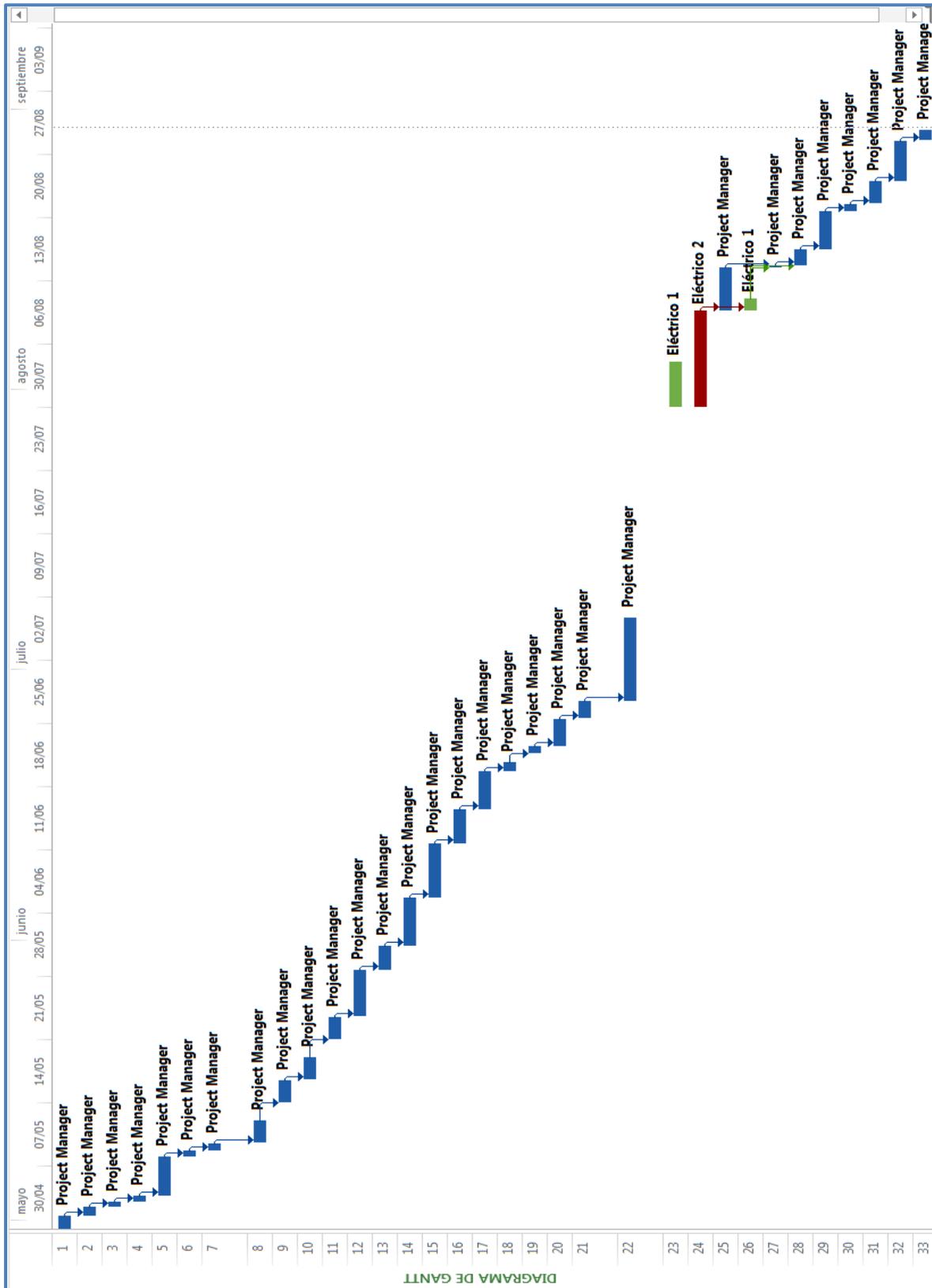


Figura 7-6: Diagrama de Gantt final Fuente: Propia

### **7.6.5. Informe de progreso 1 (30/04/16 - 20/06/16)**

El proyecto comienza como ya se ha comentado el día 30/4/2018 como se ha especificado en la planificación final. En este periodo, se han realizado todas las faenas de documentación necesarias para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se han definido objetivos, se ha corregido el anteproyecto con sus correcciones pertinentes a medida que avanzaba el tiempo y las tareas.

Comentar que hasta la tarea 18 (corrección del anteproyecto) se han ido cumpliendo los plazos perfectamente.

### **7.6.6. Informe de progreso 2 (20/06/16 - 25/06/16)**

En este periodo se ha desarrollado y acabado de ajustar la planificación final del proyecto una vez se ha realizado la revisión de la documentación obtenida hasta la fecha y las correcciones del anteproyecto.

Se han cumplido los tiempos perfectamente llegando al inicio de las tarea 21 de desarrollo de la solución.

### **7.6.7. Informe de progreso 3 (25/06/16 - 06/07/16)**

Una vez llegados a este punto tenemos todo realizado según la planificación hasta la tarea 22 (programación PLC, HMI, variadores, módulo GSM).

Se ha llegado sin complicaciones en la planificación, con lo que se llega al punto de tener que esperar a que la fábrica pare por vacaciones de verano y así poder parar la planta para implementar todo el proyecto. El paro de la fábrica será el 30 de julio, donde comenzará la modificación importante y donde tendremos que prestar especial atención a los tiempos para ir subsanando los contratiempos.

Al estar el paro de la planta después de la fecha de entrega del proyecto no podremos dar el último informe de cómo ha ido la puesta en marcha e implementación de todo el proyecto, pero cabe decir que se tendrá un control muy exhaustivo de los plazos para hacer del proyecto una realidad.

### 7.6.8. Conclusiones

La planificación ha funcionado en la mayoría de las ramas, aunque los principales problemas y desviaciones han surgido por el cambio de tiempo de duración en algunas tareas, la división de otras y la incorporación de 4 nuevas con respecto a la planificación inicial.

Estas nuevas 4 tareas se han tenido que añadir debido al gran volumen de faena y documentación. Estas 4 tareas han sido:

- Tarea 19: Revisión del trabajo realizado
- Tarea 26: Ajustes puesta en marcha.
- Tarea 27: Validación final de la instalación.
- Tarea 30: Revisión final del trabajo realizado.

Después, teníamos la tareas, 31 (documento final del proyecto de detalle) y 32 (presentación final del proyecto de detalle) que inicialmente las teníamos juntas en una sola tarea y que se han tenido que separar debido a la gran envergadura de cada una y para conseguir tener acotados mejor los objetivos finales del proyecto.

La desviación del tiempo total del proyecto se ha visto afectada únicamente en dos días, uno al inicio y otro al final del mismo, ya que las nuevas actividades, y la separación de tareas que han aparecido, así lo han provocado.

Cabe comentar, que en este proyecto ha salido un Gantt muy lineal, esto es debido a que es el proyecto de final de carrera y el Project manager ha desarrollado cada una de las tareas del proyecto. Y como es lógico, cuando se acababa una tarea o punto se empezaba por el siguiente. Solamente se ha dispuesto de dos recursos, los dos eléctricos. En la vida real se contará con más recursos que harán que el diagrama de Gantt pueda representar más tareas que se ejecuten a la vez y así no tener la linealidad que se ha tenido en el presente proyecto.



## **8. Impacto medioambiental del proyecto**

En este apartado se ha tenido en cuenta la zona geográfica donde está instalada la instalación, en este caso Parets del Valles, más localizada en una de las azoteas de una de las plantas de Grifols S.A. Con la localización se ha determinado realizar un estudio en función de la normativa i la legislación territorial del proyecto. Si bien es cierto que se ha realizado el estudio de una planta que actualmente ya está en funcionamiento, aunque veremos qué cosas son necesarias para que el proyecto cumpla los requisitos medioambientales.

Se ha considerado la Ley del 9 de julio 7/2007 que hace referencia a la Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

También se ha tenido en cuenta la Ley del 9 de diciembre, 21/2013, de Evaluación Ambiental. Mediante esta la Ley se regirá el ordenamiento jurídico español a la Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de junio, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente y la Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del consejo del 13 de diciembre, relativa de la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medioambiente. [35], [36], [37], [38]

### **8.1. Materias primas**

Hablando de materias primas, primeramente se hará un repaso de los objetivos del proyecto para saber que materias primas regirán el proyecto.

Una vez repasado los objetivos podemos decir que las materias primas que llevaran a cabo este proyecto estarán todas orientadas a material eléctrico como pueden ser variadores de frecuencia, sensores analógicos, electroválvula, PLC, HMI y todo tipo de a paramenta eléctrica.

Si es cierto, y es muy importante para que este proyecto se pueda llevar a cabo la necesidad de agua y energía eléctrica, por eso se tendrá muy en cuenta a la hora de hacer una gestión medioambiental importante en cuanto a estos dos factores muy importantes hoy día.

## **8.2. Sostenibilidad**

En este proyecto, se ha tenido muy en cuenta desde una etapa inicial, el funcionamiento del sistema en lo que se refiere al ahorro de energía eléctrica. Se realizó un pequeño estudio de consumos eléctricos para poder incorporar al proyecto placas fotovoltaicas y baterías, para hacer del proyecto una instalación lo más sostenible posible para el medio ambiente.

Una vez realizado el estudio se ha tenido que desestimar por varios motivos. Uno de ellos y el principal, es la gran cantidad de placas fotovoltaicas que necesitaríamos para abastecer a todo el proyecto. Se necesitarían muchísimas debido al alto consumo eléctrico de las enfriadoras y las bombas de consumo y recirculación. El otro motivo, era que la viabilidad económica del proyecto se podría complicar en función de cada caso, en concreto de estudio y proyecto; i obviamente también se alargaría el proceso de amortización del proyecto.

De otra banda, también entra el conflicto político que actualmente existe en España debido a la gestión y regularización de estos sistemas de autoconsumo eléctrico, que actualmente por intereses económicos el estado los desestima y no los potencia.

Finalmente, como se ha explicado anteriormente el problema del alto consumo eléctrico del sistema y la gran cantidad de placas que harían falta, y con ello el gran espacio físico que necesitaríamos para llevar a cabo la instalación hemos descartado la inversión en placas fotovoltaicas y baterías de litio.

Comentar que aunque desestima la opción de la energía renovable como podía ser las placas fotovoltaicas, el proyecto tiene un gran compromiso con el medioambiente. Desde los comienzos, un objetivo de éste era el de realizar una gestión de ahorro importante en lo que se refiere a la energía eléctrica y el agua.

En lo que se refiere a los dos grandes recursos principales que necesita el proyecto para llevarse a cabo, como son el agua y la energía eléctrica se hará hincapié en consumir lo que realmente necesita la instalación, ni más ni menos. Se realizará un estudio para gestionar la puesta en marcha de los diferentes elementos de la instalación cuando realmente las necesidades de producción lo necesiten para no mal gastar en ningún momento estos dos bienes.

En el caso del agua también se controlará el consumo de ésta y se hará un control minucioso del consumo de la misma, pudiendo observar en cada momento el consumo de agua que necesita la instalación. [39]

### **8.3. Residuos**

En principio se estima que habrá diferentes residuos, unos ligados al desarrollo del proyecto para llevarlo a cabo y otros residuos que se generaran con el funcionamiento de la planta y con el paso del tiempo.

- Ligados al desarrollo del proyecto:

Podemos decir que para llevar a cabo el proyecto lo primero que necesitaremos es actualizar el cuadro eléctrico de control para incorporar los variadores de frecuencia y sustituir la aparamenta que quedará en desuso. Por lo tanto con el desarrollo del proyecto se generaran residuos del tipo “paramenta eléctrica”.

Otro residuo que se generará serán residuos del tipo metálico, hierros, acero inoxidable y demás materiales con la incorporación de los elementos para digitalizar la instalación surgirán.

- Ligados al funcionamiento de la instalación en régimen normal:

Una vez la instalación esté en funcionamiento al igual que ahora está necesita de diferentes productos químicos que se le echan al agua, como pueden ser anticorrosivos, desinfectantes etc... Estos productos se aditivan en el agua para mantener el agua en unas condiciones óptimas de funcionamiento y para un cuidado de las tuberías del sistema con el fin de alargar la vida a la instalación lo máximo posible.

Todos los residuos generados por el desarrollo del proyecto serán gestionados en éste y será una empresa externa del sector de residuos la encargada de gestionar los diferentes residuos comentados.

El proyecto en sí, no es un proyecto contaminante que ponga en dificultades el medioambiente, pero se tendrá que tener en cuenta la gestión de los diferentes residuos comentados.

## **8.4. Gestión y control**

Este proyecto contempla un sistema de monitorización de todas las partes de la instalación en remoto, en local y en tiempo real que permitirá al usuario poder saber en cualquier momento en qué estado se encuentra la instalación.

Si la instalación tiene una avería que no puede subsanar el propio sistema, éste nos enviará una llamada por teléfono y nos enviará un mensaje con el error que tiene el sistema al móvil.

## **8.5. Efectos y acciones**

Se incluyen los diversos elementos que pueden alterar acústicamente al ambiente industrial donde está ubicada la instalación. En la instalación tenemos varios elementos que se encargan de transformar energía eléctrica en energía mecánica y con ello movimiento. Esos dispositivos serán las bombas de circuito y las de recirculación, aunque también tenemos que destacar las enfriadoras de agua.

En el caso de las bombas se prevén ciertos niveles de contaminación acústica, unos niveles que trasladados a decibelios podemos decir que se trata de una contaminación acústica que la podemos describir como menospreciable. Cabe decir, que las bombas actualmente trabajan a un régimen de su potencia nominal y que el objetivo del proyecto es mediante unos variadores de frecuencia bajar la velocidad de giro de dichas bombas. Con lo que con esto, ganaremos en contaminación acústica ya que las bombas realizaran menos ruido al trabajar a menos frecuencia que la actual.

Si hablamos de las enfriadoras, decir que estas son bastantes ruidosas. Si bien es cierto, que el proyecto trata de una actualización de la maquinaria con lo que a día de hoy el ruido que generan dichas enfriadoras ya está aceptado por el departamento de seguridad y salud y por el entorno donde está situada la instalación.

Comentar que se realizará una gestión para evitar que estén las enfriadoras en marcha innecesariamente, con lo que se ganará en contaminación acústica al igual que con las bombas.

Con la actualización de la instalación, cabe comentar que uno de los objetivos es ser un sistema lo más eficiente posible, éste objetivo corre también en la misma dirección que la contaminación acústica, ya que si por un lado necesitamos de un sistema eficiente que arranque en cada momento las enfriadoras necesarias y las bombas a la frecuencia óptima, quiere decir que ya estamos reduciendo la contaminación acústica al reducir horas de funcionamiento

Otra cosa a comentar, es que en el aspecto de la contaminación acústica, decir que actualmente la instalación trabaja a régimen nominal con el ruido que implica cada elemento de la instalación. Una vez acabado el proyecto y con ello la gestión minuciosa de los diferentes elementos, para realizar un sistema lo más sostenible posible, visto desde todos los puntos, podremos decir que la contaminación acústica habrá descendido notablemente.

## **8.6. Situación geográfica**

La zona donde está situada la instalación es en Parets del Vallés, un pueblo a las afueras de Barcelona, más en concreto en el Valles Oriental. Comentar que Grifols S.A, en Parets actualmente tiene varias plantas en los diferentes polígonos repartidos en la extensión del pueblo.

La planta a actualizar está, en una de las plantas de producción de Grifols S.A, dentro de un polígono industrial llamado “Polígono Autopista, 08150 de Parets del Vallés” bastante poblado de grandes y medianas industrias.

Comentar que el polígono industrial está bastante separado del núcleo urbano de Parets del Vallés. Distancia considerable para poder amortiguar cualquier contaminación acústica que se pudiese generar. De hecho, es la única contaminación, la acústica, la que podría llegar a crear algún problema ya que no tenemos otros tipos de riesgos por el tipo de instalación.

En los siguientes planos podemos ver la ubicación exacta de la planta:

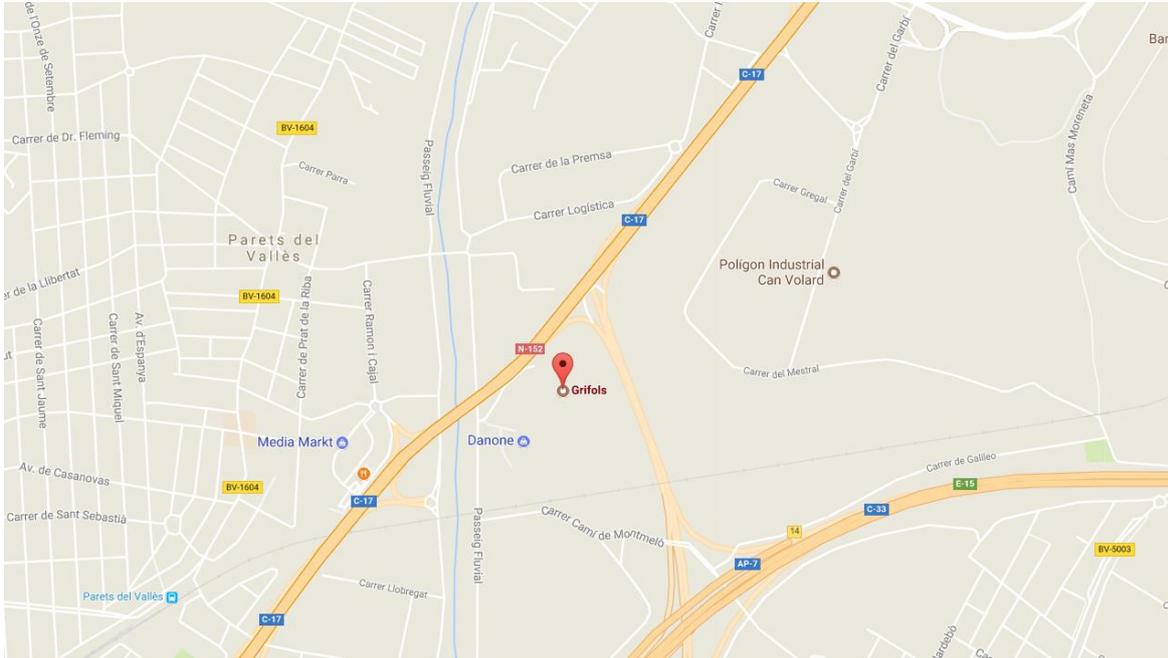


Figura 8-1: Situación geográfica de la planta Fuente: Google Maps



Figura 8-2: Situación geográfica de la planta Fuente: Google Maps



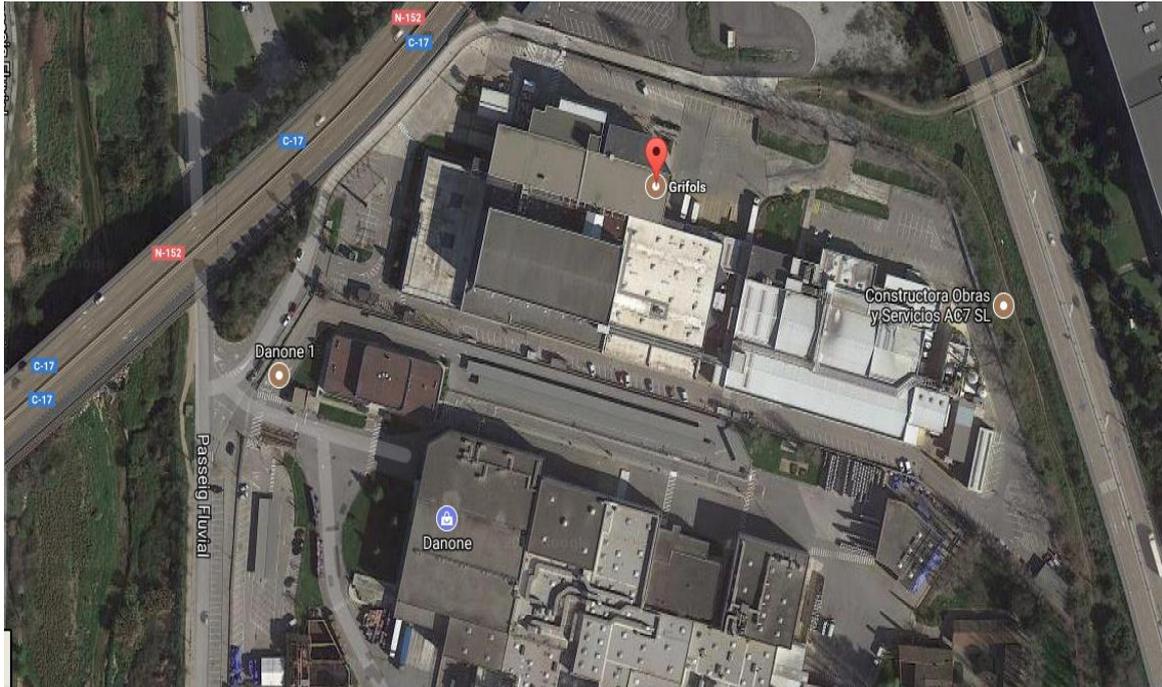


Figura 8-4: Situación geográfica de la planta, vista satélite Fuente: Google Maps

## 8.7. Impacto social

Entre otros, uno de los objetivos del proyecto es reducir costes, en lo que puede ser mantenimientos preventivos y averías de maquinaria. La digitalización de la planta garantizará una serie de datos que se tratarán de manera que se pueda ganar en reducción de costes debidos al mantenimiento de los equipos y predicción de averías.

Al igual que otros proyectos puedan ocasionar impactos sociales debidos a la reducción de personal, éste no es el caso del proyecto aquí descrito, ya que se trata de una actualización e incorporación de la planta a la industria 4.0. De hecho, podríamos comentar que en vez de reducir personal habría que pensar en personal que pueda tratar todas estas nuevas variables que el sistema almacenará para llegar a una serie de conclusiones. Con lo cual, en este aspecto el proyecto podría proporcionar de nuevos puestos de trabajo.

También es cierto, que actualmente hay operarios controlando la planta en cada turno, la automatización de la instalación sería una mejora para ellos en cuanto a la fiabilidad en el sistema y confianza pero en ningún caso derivaría el desarrollo del proyecto a una reducción de personal.

Con lo cual el desarrollo del proyecto derivará en un aumento de fiabilidad y confianza para los usuarios de la planta, una mejora en la adquisición de datos del sistema para con ello, realizar una gestión preventiva de la instalación. Podemos decir, que el impacto social de la instalación se verá afectado de forma positiva.

## 8.8. Alternativa de consumo sostenible

En este proyecto se ha tenido en cuenta la introducción de energías renovables para dar un valor de sostenibilidad añadido al proyecto y más concretamente, se ha centrado el estudio en incorporar un sistema fotovoltaico con sistema de acumulación de energía mediante baterías, para poder dar soporte a la instalación y al proyecto final. [40], [41]

### 8.8.1. Estimación del consumo total de la instalación eléctrica

Los componentes principales que requieren de alimentación eléctrica son los siguientes:

- Bombas de recirculación de agua 400V / AC3 / 9'2 KW / 18.1A
- Bombas de circuito de agua 400V / AC3 / 18'5 KW / 36.3A
- Enfriadoras Trane 400V / AC3 / 206 KW
- Cuadro de control 400V / AC3 / 0.5KW

Elemento	Unid.	Potencia unitaria	Energía necesaria	Energía necesaria + 20% margen
<b>Bombas recirculación</b>	2	9.2 KW	18.4 KW	22.08 KW
<b>Bombas circuito</b>	3	18.5 KW	55.5 KW	66.6 KW
<b>Enfriadoras Trane</b>	2	206 KW	412 KW	494.4 KW
<b>Cuadro de control</b>	1	0.5 KW	0.5 KW	0.6 KW
		<b>Total</b>	486.4 KW	583.68 KW

Tabla 8-1: Tabla de consumos alternativa sostenible Fuente: Propia

### **8.8.2. Conclusiones a la alternativa de consumo sostenible**

Si revisamos los datos de consumo de la tabla anterior de los diferentes elementos que forman la instalación, podemos ver que necesitamos un sistema que nos proporcione 583.68 KW instantáneos. Todo y ser una solución medioambiental muy buena y que daría un valor añadido al proyecto, económicamente no es viable debido a la gran cantidad de placas fotovoltaicas y baterías que nos harían falta para alimentarlo todo, sin contar donde haríamos la instalación de dichas placas fotovoltaicas.

Al ser un proyecto de alto consumo eléctrico se ha dado por desestimada la opción de energías renovables por no alcanzar las necesidades del proyecto.

### **8.8.3. Conclusión**

Finalmente, según los estudios realizados a nivel de dimensiones y de cálculos para la incorporación de placas fotovoltaicas, nuestro proyecto desestima la opción por no ser viable económicamente y técnicamente ya que supondría un gasto enorme al proyecto y no tendríamos la certeza de poder amortizar dicha inversión en los años siguientes a la finalización del proyecto.

En relación a los otros aspectos medioambientales que se han comentado, decir que se prestará especial atención a la única contaminación que afecta al proyecto, como es la acústica. Se estudiará con atención aunque como se ha comentado los daños acústicos por la ubicación de la planta son mínimos.

Para acabar, comentar que las placas fotovoltaicas no se han podido llevar a cabo, pero cabe destacar que uno de los objetivos del proyecto es minimizar los costes debidos al consumo de energía eléctrica y agua. Estos estarán gestionados con un software que en todo momento mirará por hacer del proyecto un sistema sostenible en lo que al ahorro de energía eléctrica y de agua se refiere.

## 9. Conclusiones

El presente proyecto pretende dar solución a las carencias que tiene la instalación, hacer de ésta, una instalación completa en el ámbito de la tecnología actual que tenemos hoy día. La empresa tendrá un sistema fiable, eficiente y lo más importante viable económico y medioambientalmente hablando.

Este proyecto una vez en marcha, será una garantía de rentabilidad, tanto económicamente como la rentabilidad intangible explicada en el “*capítulo 3.4 del estudio económico*”. Esta rentabilidad intangible, es igual o más importante que la económica ya que tendrá un aporte económico más grande para la empresa, ya que garantizará una seguridad y fiabilidad en cuanto a paros de producción por averías.

El proyecto se divide en dos partes: la primera analiza la problemática que se trata, la búsqueda de antecedentes (información, históricos, tendencias, etc.), definición del alcance del proyecto y el planteamiento de diversas vías de solución; y la otra hace referencia a una vez escogida la solución, se analiza la viabilidad y se procede a su diseño y definición.

Una vez finalizada la primera parte, se presenta al tribunal para su aceptación y corrección. Al ser aceptada de primeras, se comienza la segunda etapa a principios de febrero.

El desarrollo de la solución técnica está ligado al alcance del proyecto, ya que se han de cumplir todos los puntos acordados en los objetivos.

Comentar que a medida que se iba desarrollando el proyecto, éste aportaba cada vez más seguridad de haber escogido el proyecto idóneo, se tiene claro que aportará grandes beneficios para la empresa, como para el Project manager, personalmente hablando.

Por último se realiza el cierre del proyecto analizando las desviaciones de planificación y costes previstos en el anteproyecto, los puntos fuertes y débiles de la solución final introduciendo las futuras líneas de trabajo.

## **9.1. Desviaciones de planificación y presupuesto**

### **9.1.1. Desviación en la planificación**

La planificación como ya se ha comentado en el “*capítulo 7.6 desviaciones de planificación*”, se ha llevado a cabo dentro de tiempo en todas las tareas hasta las que hemos llegado, que han sido todas menos las de puesta en marcha, ya que la empresa para producción a finales de julio y hasta que no pare no podemos implementar el proyecto.

El proyecto tiene un gran volumen de faena que ha provocado la desviación en la planificación creando nuevas tareas (4 nuevas en total), la separación de otras dividiendo en dos para acotar mejor los puntos y la distribución de la duración de las mismas ya que algunas se han desarrollado antes de los planificado inicialmente.

Estos puntos comentados han provocado una pequeña desviación de la planificación inicial en dos días, quedando el proyecto acotado entre los días 30/04/2018 y 29/08/2018 que se finalizaría el mismo con la entrega y cierre del proyecto de detalle.

### **9.1.2. Desviación del presupuesto**

Hablando de desviaciones de presupuesto, comentar que una vez pasamos a la parte de las tareas de desarrollo del proyecto, una vez trabajando en los nuevos esquemas eléctricos se ha visto un error a la hora de contar las señales analógicas que necesitaba el proyecto. Estas señales que no se habían contabilizado inicialmente son:

- Entradas analógicas que se necesita para saber en tiempo real a que frecuencia están girando las bombas de consumo.
- Salidas analógicas para enviar mediante una salida de 4-20mA la consigna de enfriamiento a cada una de las enfriadoras.

En el “*capítulo 4 de los anexos*“, en costes de materiales se ha tenido que añadir como se ha comentado una tarjeta más de entradas analógicas, una de salidas analógicas y los dos conectores para cablear estas dos nuevas tarjetas.

Esta desviación ha implicado un aumento en el capítulo II (costes de materiales) de **1006,26 €**. Por lo tanto el capítulo II ha pasado de un valor inicial de **18.547,89 €** a una cantidad de **19.554,16 €**. Esta desviación en el presupuesto, ha sido absorbida por el porcentaje del 15% de imprevistos, con lo cual la rentabilidad del proyecto no se ha visto afectada.

Otro punto a comentar en las desviaciones de presupuesto, ha sido al tener que recalcular las tareas de planificación al habernos visto obligados a añadir 5 tareas más de desarrollo del proyecto.

Como se ha comentado en el punto de desviaciones de planificación, estas tareas no han supuesto ningún coste más de presupuesto, pero sí es cierto que al contabilizarse se ha visto un error en la contabilidad ya existente de las tareas iniciales de la parte del capítulo I (elaboración del proyecto), que ha supuesto un aumento de **200 €**. Por lo tanto este capítulo I, ha pasado de **17.300 € a 17.500 €**. Esta desviación ha sido absorbida por el 25% de margen aplicado inicialmente, con lo cual la rentabilidad del proyecto no se ha visto afectada tampoco en este caso.

Por lo tanto los costes totales de ingeniería y del proyecto quedan acotados en un total de **44.447,79 €**, que con IVA hacen un total de **53.781,82 €**.

## **9.2. Futuras mejoras.**

Aunque el sistema cumple con todos los objetivos y especificaciones técnicas planteadas al comienzo del proyecto, durante el desarrollo y la realización del proyecto han salido nuevos objetivos que aportarían más funcionalidades al sistema. Algunos se han añadido, como puede ser la elección “presión o caudal” en la consigna para la regulación de los PIDs de las bombas de consumo, otros se van a tener en cuenta para futuras mejoras ya que por temas de planificación no se han llevado a cabo.

En lo que a futuras mejoras que se podrían incorporar al sistema, podríamos destacar las siguientes:

- Incorporación de la nueva planta de enfriamiento con todas las nuevas variables significativas de la instalación, en el Scada que se está desarrollando en el departamento, para al igual que otras instalaciones tenerla representada.
- Incorporación del nuevo funcionamiento de la planta al resto de las instalaciones de enfriamiento del grupo para tener un funcionamiento único para todas las plantas del grupo.
- Añadir en el “big data” de la instalación la señal de consumo eléctrico de todos los elementos de la instalación para una historificación del consumo de los diferentes elementos.
- Modificar la regulación de los PIDs de las bombas de consumo, realizando una nueva pantalla de parametrización de los PIDs, donde se pueda modificar las siguientes constantes:
  - $K_p$ : Constante de la proporcional
  - $K_i$ : Constante de la integral.
  - $K_d$ : Constante de la derivada.

Estas futuras mejoras tienen el objetivo de ser una base y un camino a seguir para hacer de la instalación, aún un sistema más robusto. Con estas mejoras se aprovecha toda la información y conocimiento adquirido en el proyecto para se pueda rentabilizar más el proyecto.

### **9.3. Futuras líneas de trabajo**

En lo que se refiere a las futuras líneas de trabajo, cabe comentar que al ser una instalación específica de la empresa se reduce el campo de actuación, aunque como se ha comentado en el apartado de futuras mejoras, se puede incorporar el proyecto al resto de instalaciones de enfriamiento que hay en el grupo, que no son pocas y a la vez se tendrá en cuenta para las nuevas líneas de trabajo que puedan venir en este tipo de instalaciones.

Grifols S.A, es una empresa en pleno desarrollo y seguramente se irán desarrollando nuevos proyectos de plantas enfriadoras como la descrita en el presente proyecto. Esto garantizará que al proyecto se le siga sacando un buen provecho.

En este aspecto la empresa tendrá un gran ahorro al tener ya el proyecto desarrollado y solo tener la necesidad de volver a poner en marcha de nuevo.

Las futuras líneas de trabajo que se tendrán muy en cuenta son:

- Actualización de la instalación para que no se quede obsoleta y esté actualizada a la última tecnología.
- Actualización del resto de plantas del grupo.
- Tener una comunicación con el usuario que está el día a día con la instalación para comentar en futuras reuniones los puntos a mejorar.
- Optimización de los recursos. Tener un continuo control del gasto en relación al consumo eléctrico y al bien tanpreciado como es el agua.



## 10. Bibliografía

- [1] LUCIO A. MUÑOZ. (2017). *Editorial EUNSA EDICIONES. La cuarta revolución industrial en España.*
- [2] SCHWAB KLAUS. (2016). *Editorial DEBATE. La cuarta revolución industrial.*
- [3] Página web de economipedia. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://economipedia.com/historia/cuarta-revolucion-industrial.html> (Octubre 2017)
- [4] ALEXANDER PREUKSCHAT. (2017). *Editorial GESTION 2000. Blockchain. La revolución industrial de internet.*
- [5] [FRANCISCO YÁÑEZ BREA. \(2017\).](#) *Editorial INDEPENDENTLY PUBLISHED. Las 20 tecnologías clave de La Industria 4.0: El camino hacia la Fábrica del Futuro.*
- [6] LUIS JOYANES AGUILAR. (2017). *Editorial MARCOMBO. Industria 4.0, la cuarta revolución industrial.*
- [7] Página web del instituto de la ingeniería en España. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://ies.es/eventos/industria-4-0/> (Octubre 2017)
- [8] Página web de más ingenieros. El Nuevo reto: la industria 4.0, [Versión electrónica]. Disponible en: [www.masingenieros.com](http://www.masingenieros.com) (Octubre 2017)
- [9] CARLOS NUÑEZ ZORRILLA. (2017). *Editorial INDEPENDENTLY PUBLISHED. Industria 4.0: Digitalización*
- [10] FRANCISCO YÁÑEZ BREA. (2017). *Editorial INDEPENDENTLY PUBLISHED. La Meta es la Industria 4.0: Descubre la tecnología que hace posible la nueva Revolución Industrial.*
- [11] Página web de industria conectada. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx#inicio> (Octubre 2017)

- [12] LUIS ENRIQUE IÑIGO FERNANDEZ. (2012). *Editorial EDICIONES MAEVA. Breve historia de la revolución industrial.*
- [13] Página web de papeles de inteligencia. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://papelesdeinteligencia.com/que-es-industria-4-0/> (Octubre 2017).
- [14] SEBASTIAN J.BRAU. (2016). *Editorial GESTION 2000. Lean manufacturing. La evolución tecnológica del Lean.*
- [15] Página web de Unir. *Puntos importantes de la industria 4.0*, [Versión electrónica]. Disponible en: [www.unir.net](http://www.unir.net) (Octubre 2017)
- [16] ADOLFO RAMÍREZ MORALES. (2017). *Editorial GESTION 2000. Digitalizarse o desaparece. Claves para transformarse y competir en la nueva era.*
- [17] Página de la web del periódico el economista. *Art. 10 empresas que lideran la industria 4.0.* (1/11/2017). [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2017/11/08/59f8a85922601d1b458b4618.html> (Octubre 2017)
- [18] MARTA GARCÍA ALLER. (2017). *Editorial PLANETA. El fin del mundo tal y como lo conocemos: Las grandes innovaciones que van a cambiar tu vida.*
- [19] Página del CEEI de Alcoy Valencia. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://ceeialcoi.emprenemjunts.es/?op=8&n=12340> (Febrero 2018)
- [20] Página del ministerio de energía, turismo y agenda digital. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/> (Octubre 2017)
- [21] Página oficial de directivas de la Unión Europea. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=es> (Diciembre 2017)
- [22] Página oficial de leyes y real decretos de la Generalitat de Cataluña. [Versión electrónica]. Disponible en: [http://mediambient.gencat.cat/es/05\\_ambits\\_dactuacio/empresa\\_i\\_produccio\\_sostenible/prevencio\\_i\\_control\\_dactivitats/](http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/) (Diciembre 2017)

- [23] Página oficial del Boletín Oficial del Estado. [Versión electrónica]. Disponible en: <https://www.boe.es/> (Diciembre 2017)
- [24] Página oficial de la UNED. PDF en master en ingeniería de sistemas industriales. [Versión electrónica]. Disponible en: [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion de referencia ISE6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf) (Febrero 2018)
- [25] Página oficial de slideshare. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/carcpolo/2-historia-de-los-plc-s> (Febrero 2018)
- [26] Página oficial de la facultad de la ingeniería [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf> (Febrero 2018)
- [27] Página oficial de gustato. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.gustato.com/eprotocolos.html> (Febrero 2018)
- [28] Página oficial de aie. [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf> (Febrero 2018)
- [29] Página oficial de Wikipedia. . [Versión electrónica]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Controlador\\_pid.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Controlador_pid.svg) (Marzo 2018)
- [30] Página oficial de Wikipedia. . [Versión electrónica]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_PID](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID) (Marzo 2018)
- [31] SAFONT.R. (2015). *Capítulo 1, 2 y 3 de los apuntes de la asignatura de Termodinámica y mecánica de fluidos*
- [32] HORRILLO. J. (2009). *Capítol 3, Apartado 3.5: Administración de empresas y Organización de la producción.*

- [33] HORRILLO. J. (2016). *Capítol 2, Apartado 7: Gestión de proyectos (Anteproyecto I y II)*.
- [34] HORRILLO. J. (2016). *Capítol 3: Gestión de proyectos, Planificación de proyectos con MS-Project*.
- [35] Página oficial de Comunidad ISM, [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.comunidadism.es/blogs/10-leyes-ambientales-que-toda-empresa-deberia-conocer> (Enero 2018)
- [36] Página oficial de directivas medioambientales de la Unión Europea. [Versión electrónica]. Disponible en: [https://europa.eu/european-union/business/environment-rules\\_es](https://europa.eu/european-union/business/environment-rules_es) (Diciembre 2017)
- [37] Página oficial del Boletín Oficial del Estado en relación a directivas medioambientales. [Versión electrónica]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18475> (Diciembre 2017)
- [38] Página oficial de la Generalitat de Cataluña en relación a directivas medioambientales. [Versión electrónica]. Disponible en: [http://mediambient.gencat.cat/es/05\\_ambits\\_dactuacio/empresa\\_i\\_produccio\\_sostenible/prevencio\\_i\\_control\\_dactivitats/la\\_llei\\_de\\_prevencio\\_i\\_control\\_ambiental\\_dactivitats/](http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/la_llei_de_prevencio_i_control_ambiental_dactivitats/)
- [39] Página web oficial de Ecologistas en acción. *Los peores datos de contaminación por ozono*. (Abril 2016). [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article30374.html> (Enero 2018)
- [40] Página web oficial software de cálculo de radiación solar [Versión electrónica]. Disponible en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (Enero 2018)
- [41] Página oficial de SunFields. *Venta paneles solares y equipos fotovoltaicos*. (Abril 2016). [Versión electrónica]. Disponible en: <http://www.sfe-solar.com/> (Enero 2018)

