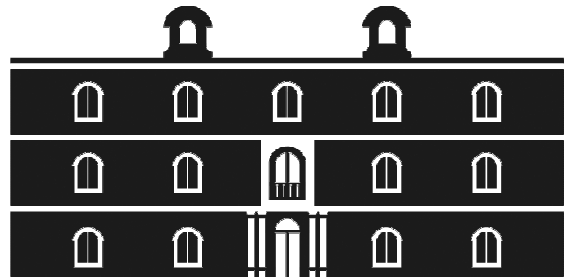


Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

## PROYECTO FIN DE CARRERA:

**Coste del ciclo de vida de una máquina de  
control de agentes químicos.**

**Titulación: Ingeniería de Organización Industrial**  
**Intensificación: Gestión de la producción**  
**Alumno/a: Javier de las Heras Pagán**  
**Director/a/s: Dr. D. José García-Bravo García**

Cartagena Febrero de 2013

## Propuesta de PFC

### 1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es calcular el coste económico que tiene mantener en funcionamiento una máquina de control de agentes químicos durante un periodo de tiempo de 10 años, sin perder ninguna prestación y manteniendo un nivel de fiabilidad próximo al que tenía en el momento de su puesta en marcha.

### 2. Resumen

Este proyecto está orientado al cálculo de costes que hagan trabajar una máquina de control de agentes químicos durante 10 años, manteniendo las condiciones de operación en perfecto estado. Para poder obtener estos costes, se hace un estudio del ciclo de vida de los componentes que integra.

Dicho ciclo de vida se calculará a partir del tiempo medio entre fallos, la fiabilidad y la obsolescencia de los componentes que lo componen.

La máquina de control de agentes químicos, se diseña con elementos comerciales (COTS) de tipo industrial que cuentan con una gran implantación en el mercado, atendiendo a criterios de diseño, robustez, fiabilidad y seguridad.

### 3. Fases del Proyecto

Primera parte: Análisis, estudio y ensayos de datos.

Segunda parte: Cálculo de las variables que implican ciclo de vida en una máquina.

Tercera parte: Cálculo de costes.

Cuarta parte: Redacción del PFC.

### 4. Bibliografía básica

Reliability, maintainability and risk [Recurso electrónico] practical methods for engineers 8<sup>a</sup> ed.  
Smith, David John 2011

Reliability engineering theory and practice 5th ed.  
Birolini, Alessandro 2007

Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad un enfoque sistémico  
Sols, Alberto 2000



## INDICE

Página:

PROYECTO FIN DE CARRERA: .....	i
Coste del ciclo de vida de una máquina de control de agentes químicos.....	i
<b>1. OBJETIVO .....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	1
1.2 FASES DEL PROYECTO .....	1
<b>2. CONSIDERACIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ESTUDIO DEL CICLO DE VIDA .....</b>	<b>5</b>
3.1 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS MTBF. ....	5
3.2 FIABILIDAD DEL EQUIPO. ....	7
3.2.1 Rutas críticas .....	8
3.2.1.1 Comunicación con los equipos de red del exterior. ....	8
3.2.1.2 Comunicación con la red de socorro.....	9
3.2.1.3 Interface con el operador. ....	10
3.2.1.4 Fiabilidad del conjunto.....	12
3.3 OBSOLESCENCIA .....	13
<b>4. ACTUACIONES DEL ESTUDIO.....</b>	<b>15</b>
<b>5. COSTE DE CICLO DE VIDA .....</b>	<b>16</b>
5.1 COSTE ANUAL DE CICLO DE VIDA.....	16
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>24</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	24
6.2 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	24
<b>BIBLIOGRAFÍA BÁSICA .....</b>	<b>25</b>
 <b>ANEXO A: Cálculos de fiabilidad.</b>	



---

## INDICE DE FIGURAS

	Page:
<i>Figura 1. Diagrama funcional de la comunicación con los equipos de red del exterior.....</i>	8
<i>Figura 2. Diagrama funcional de la comunicación con la red de socorro.....</i>	9
<i>Figura 3. Diagrama funcional del Interface con el operador.....</i>	10
<i>Figura 4. Diagrama funcional del Interface del sistema.....</i>	12

## INDICE DE TABLAS

	Page:
<i>Tabla 1. MTBF.....</i>	6



## **1. OBJETIVO**

El objetivo de este proyecto es calcular el coste económico que tiene mantener en funcionamiento una máquina de control de agentes químicos durante un periodo de tiempo de 10 años, sin perder ninguna prestación y manteniendo un nivel de fiabilidad próximo al que tenía en el momento de su puesta en marcha.

### **1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA**

Este proyecto está orientado al cálculo de costes que hagan trabajar una máquina de control de agentes químicos durante 10 años, manteniendo las condiciones de operación en perfecto estado. Para poder obtener estos costes, se hace un estudio del ciclo de vida de los componentes que integra.

Dicho ciclo de vida se calculará a partir del tiempo medio entre fallos, la fiabilidad y la obsolescencia de los componentes que lo componen.

La máquina de control de agentes químicos, se diseña con elementos comerciales (COTS) de tipo industrial que cuentan con una gran implantación en el mercado, atendiendo a criterios de diseño, robustez, fiabilidad y seguridad.

### **1.2 FASES DEL PROYECTO**

Septiembre 2012: Búsqueda de documentación y artículos relacionados con los objetivos del proyecto.

Octubre 2012: Familiarización con el equipo de control de agentes químicos y estudio de sus componentes, obteniendo el tiempo medio entre fallos de cada componente.

Noviembre 2012: Realización de los estudios de fiabilidad en las rutas críticas y de obsolescencia de componentes.

Diciembre 2012: Realización de los cálculos de coste anual de ciclo de vida.

Enero y Febrero 2013: Redacción y defensa del proyecto.





## **2. CONSIDERACIONES**

A la hora de realizar el estudio del ciclo de vida se han tenido en cuenta los siguientes cálculos:

- Determinación del MTBF: Se hace por componentes individuales. Su unidad de medida son las horas de funcionamiento.
- Cálculo de la fiabilidad: Se realiza al conjunto del equipo. Se calcula a partir del tiempo medio entre fallos (MTBF) de los componentes del equipo y de las relaciones que se extraen de su flujo de funcionamiento.
- Estimación de la Obsolescencia: Se hace por componentes individuales y por equipo, dependiendo en cada caso del fabricante de la tecnología.

A la hora de realizar el estudio del ciclo de vida se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se considera un funcionamiento continuo de los sistemas durante todo el año, y además, que las maniobras de encendido y apagado no provocan un deterioro o fallo del sistema.
- Se considera un suministro continuo de potencia dentro de los límites nominales de cada elemento.
- Están excluidos los daños causados accidental o deliberadamente por causas humanas.
- Se considera que todos los componentes siguen la misma distribución estadística en sus tiempos entre fallos. El modelo de distribución de fiabilidad empleado en todos los componentes es de tipo exponencial, siendo  $R(t) = e^{-(\lambda t)}$  la probabilidad de que se produzca un fallo en el componente en el periodo de tiempo 't'
- El tiempo de estudio es de 10 años de operación continua, durante 300 días al año, que equivalen a 72.000 horas.
- En los componentes donde el fabricante presenta ciclos de operación en vez de tiempo medio entre fallos (MTBF), se ha considerado un funcionamiento por componente de 300 días al año y 100 ciclos de operación al día.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA:  
Coste del ciclo de vida de una máquina de control de agentes químicos







### 3. ESTUDIO DEL CICLO DE VIDA

#### 3.1 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS MTBF.

MTBF (acrónimo de Mean Time Between Failures) es la media aritmética (promedio) del tiempo entre fallos de un sistema. Tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por fallo (o avería) de un proceso, en otras palabras, la inversa de la frecuencia con que ocurre cada parada.

Si tenemos en cuenta que se ha considerado un funcionamiento por componente de 300 días al año o 100 ciclos de operación, en los componentes que no presentan MTBF, se pueden averiguar los años de vida que el fabricante estima para cada componente.

En la siguiente tabla se muestran los componentes o unidades que integran nuestro sistema y se indica su MTBF en horas y sus años de vida.

Unidad	MTBF (horas)	Años de vida
Ordenador táctil	50.000	6
UPS	100.000	11
Autómata Programable Rack de 12 slot expansible BUSX	1648125	188
Autómata Programable Rack de 8 slot expandable BUSX	1186816	135
Autómata Programable Memoria Flashes PCMCIA	5.263.157	601
Autómata Programable Procesador	586.661	67
Autómata Programable Fuente de Alimentación 115Vac	1470588	168
Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 64 entradas	193758	22
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 64 salidas	103013	12
Autómata Programable Módulo de comunicaciones Ethernet	284.900	33
Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 32 entradas	369.702	42
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 32 salidas	201.072	23
Autómata Programable Entradas Analógicas módulo de 8 entradas	759.682	87
Autómata Programable Entradas Analógicas módulo de 4 entradas	743.566	85
Autómata Programable Salidas analógicas módulo de 4 salidas	1475056	168
Autómata Programable Módulo contador	113.049	13
Convertidor de medio Ethernet 4TX/1FX	450.264	51
Magnetotérmico 1P+N	479.050	55
Magnetotérmico 2P 3Amp	477.592	55
Magnetotérmico 3P 16Amp	478.652	55
Magnetotérmico 2P 16Amp	475.523	54
Fuente de Alimentación 28v 100w	150.000	17
Fuente de Alimentación 10v 15w	300.000	34
Fuente de Alimentación 24v 30w	350.000	40
Fuente de Alimentación 24v 200w	180.000	21
GE Fuente de Alimentación	651.600	74
GE Interface de transmisión de datos	87.600	10
GE Módulos con 16 canales de E/S	70.080	8
GE Procesador	95.482	11
GE Monitorizado	50.000	6
Palanca de Control	4.800.000	548
Sirena	240000	27
Pulsador Iluminado 24Vdc	480000	27



<b>Pulsador Iluminado 24Vdc</b>	480000	27
<b>Pulsador Iluminado 24Vdc</b>	480000	27
<b>Pulsador Iluminado 24Vdc</b>	480000	27
<b>Pulsador Iluminado 24Vdc</b>	480000	27
<b>Pulsador Iluminado 24Vdc</b>	480000	27
<b>Display digital retroiluminado</b>	367.629	42
<b>Ventilador con filtro</b>	30000	3
<b>Ventilador con filtro</b>	30000	3

*Tabla 1. MTBF*



### 3.2 FIABILIDAD DEL EQUIPO.

Nuestro equipo está compuesto por una serie de componentes. Éstos componentes se hayan interrelacionados de manera que se crean una serie de dependencias entre ellos. Según éstas dependencias, se establecen unas rutas críticas, en las cuales, el fallo de un elemento o grupo de elementos genera un estado de no funcionamiento en el equipo.

Aplicando los datos de MTBF de cada componente a las rutas críticas se calcula la fiabilidad de nuestro equipo.

Para este equipo se definen tres rutas críticas que dispuestas en serie nos darán la fiabilidad total del conjunto. Estas rutas se han tomado observando la funcionalidad que el equipo tiene con su entorno:

- Comunicación con los equipos de red del exterior.
- Comunicación con la red de socorro.
- Interfaz con el operador.

A continuación se mostrará cada ruta crítica con los componentes que la forman y se realizarán los cálculos de fiabilidad de cada una de ellas.



### 3.2.1 Rutas críticas

#### 3.2.1.1 Comunicación con los equipos de red del exterior.

Diagrama funcional de la comunicación con los equipos de red del exterior:

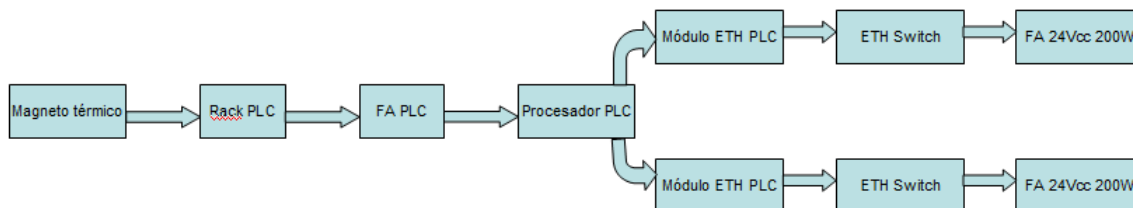


Figura 1. Diagrama funcional de la comunicación con los equipos de red del exterior

Comunicación con el exterior	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Fiabilidad	0,958	0,909	0,854	0,797	0,740	0,683	0,628	0,576	0,526	0,479

En la tabla 4 del anexo A, se calcula el descenso de fiabilidad durante 10 años, tiempo para el que se ha realizado el estudio:

Comunicación con el exterior	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descenso de la fiabilidad (%)	ORIGEN	5,18%	10,86%	16,78%	22,77%	28,68%	34,41%	39,91%	45,11%	50,01%

Dadas las características de los componentes de esta ruta, la caída de la fiabilidad no es significativa (menor o igual al 50%) y por lo tanto se considera que no hay componentes críticos en ella.

No hay elementos críticos en esta cadena.



### 3.2.1.2 Comunicación con la red de socorro.

Diagrama funcional de la comunicación con la red de socorro:

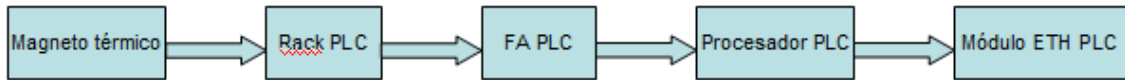


Figura 2. Diagrama funcional de la comunicación con la red de socorro.

Comunicación con la red de socorro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Fiabilidad	0,940	0,884	0,831	0,781	0,734	0,690	0,649	0,610	0,573	0,539

En la tabla 5 del anexo A, se calcula el descenso de fiabilidad durante los 10 años siguientes a la puesta en marcha del equipo:

Comunicación con la red de socorro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descenso de la fiabilidad (%)	ORIGEN	6,00%	11,63%	16,93%	21,91%	26,60%	31,00%	35,14%	39,03%	42,68%

Dadas las características de los componentes de esta ruta, la caída de la fiabilidad no es significativa (menor del 50%) y por lo tanto se considera que no hay elementos críticos en ella.

No hay elementos críticos en esta cadena.



### 3.2.1.3 Interface con el operador.

Diagrama funcional del interfaz con el operador:

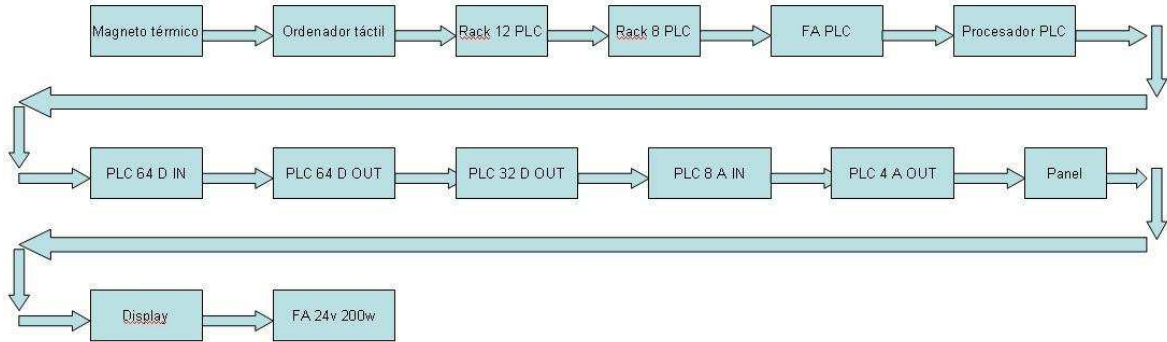


Figura 3. Diagrama funcional del Interface con el operador

Interface operador	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Fiabilidad	0,658	0,433	0,284	0,187	0,123	0,081	0,053	0,035	0,023	0,015

En la tabla 6 del anexo A, se calcula el descenso de fiabilidad durante los 10 años siguientes a la puesta en marcha del equipo:

Interface operador	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descenso de la fiabilidad (%)	ORIGEN	34,19%	56,69%	71,50%	81,25%	87,66%	91,88%	94,66%	96,48%	97,69%

Dadas las características de los componentes de esta ruta, la caída de la fiabilidad es significativa y por lo tanto se considera que hay elementos críticos en ella.

Los elementos críticos de esta rama son los siguientes:

Elementos críticos:	Sustitución (años)
Ordenador Táctil	5 años
Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 64 entradas	5 años
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 64 salidas	5 años
Fuente de Alimentación 24v 200w	5 años
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 32 salidas	7 años
Magnetotérmico 1P+N	9 años
Display digital retroiluminado	9 años

Si se cambian los elementos críticos en el periodo de tiempo (años) que se indica en la tabla anterior, se consigue aumentar la fiabilidad de la rama en la siguiente proporción:

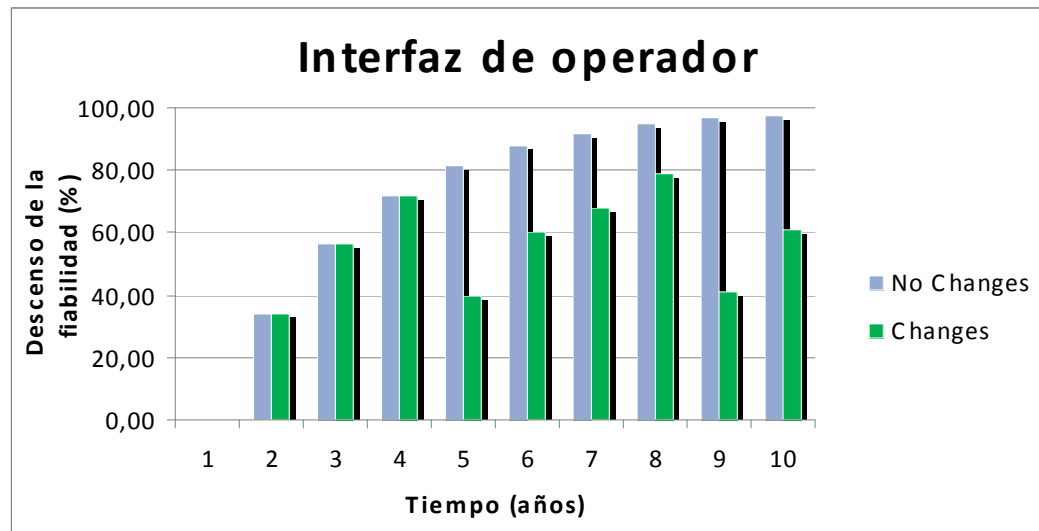
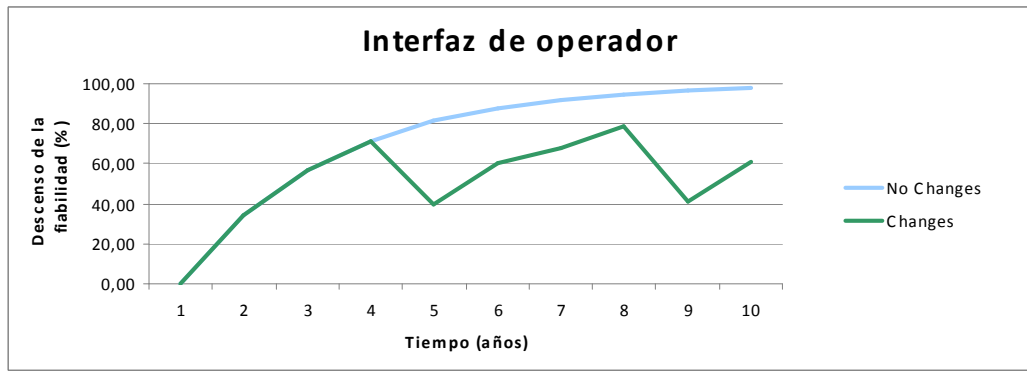
Interface	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------



operador										
Descenso de la fiabilidad (%)	ORIGEN	34,19%	56,69%	71,50%	39,92%	60,46%	67,75%	78,78%	40,98%	61,16%

Si se compara el descenso de fiabilidad con cambios y sin cambios observamos:

Años	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Sustituyendo componentes	0,00	34,19%	56,69%	71,50%	39,92%	60,46%	67,75%	78,78%	40,98%	61,16%
No sustituyendo componentes	0,00	34,19%	56,69%	71,50%	81,25%	87,66%	91,88%	94,66%	96,48%	97,69%





### 3.2.1.4 Fiabilidad del conjunto.

La fiabilidad del conjunto es el resultado de estas tres rutas críticas dispuestas en serie:

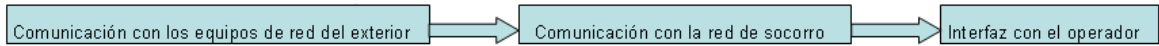


Figura 4. Diagrama funcional del Interface del sistema

TOTAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Fiabilidad	ORIGEN	40,97%	66,05%	80,86%	63,81%	79,07%	85,38%	92,20%	80,43%	88,97%

En la tabla 7 del anexo A, se calcula el descenso de fiabilidad durante 10 años, tiempo para el que se ha realizado el estudio:

Los elementos críticos en esta cadena son los expuestos en la rama de interfaz con operador.

Si no se hubieran cambiado los elementos críticos en la rama de interfaz con operador, el descenso de fiabilidad del sistema sería distinto. En la siguiente tabla, se comparan los porcentajes de caída de fiabilidad del sistema con sustituciones y sin sustituciones:

Sustituyendo componentes										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descenso de la fiabilidad (%)	0,00	40,97	66,05	80,86	63,81	79,07	85,38	92,20	80,43	88,97
No sustituyendo componentes										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descenso de la fiabilidad (%)	0,00	40,97	66,05	80,86	88,86	93,48	96,31	97,90	98,82	99,34





### 3.3 OBSOLESCENCIA

Para realizar una buena gestión de la obsolescencia se deben realizar estrategias de mitigación a corto y a largo plazo. La principal estrategia de mitigación a corto plazo se basa en mantener un stock y la última adquisición de terceros, para lo cual hay que conocer en todo momento cuando algún suministrador externo tiene la intención de detener la fabricación (EOL) de un producto utilizado en la instalación.

Como una primera aproximación, la obsolescencia de los equipos instalados se produce:

Equipos informáticos, a los 5 años de su puesta en marcha.

Autómatas programables, de 7 a 10 años desde su puesta en marcha.

Convertidores de medio de 7 a 10 años desde su puesta en marcha.

Las estrategias de mitigación a largo plazo requieren un proceso de reingeniería, donde se realizará una actualización completa del equipo o sistema. Esto conlleva tareas que afectan al hardware y al software:

Sustitución o actualización de equipos.

Rediseño del sistema.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA:  
Coste del ciclo de vida de una máquina de control de agentes químicos





#### 4. ACTUACIONES DEL ESTUDIO

De los estudios realizados en este informe se concluye que se deberían realizar las siguientes acciones en el sistema para aumentar su fiabilidad y controlar la obsolescencia de los equipos instalados.

- A los 5 años sustitución de los siguientes componentes:

Elemento	Cantidad
Ordenador Táctil	1
Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 64 entradas	2
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 64 salidas	2
Fuente de Alimentación 24v 200w	1

- A los 7 años sustitución del siguiente componente:

Elemento	Cantidad
Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 32 salidas	1

- A los 9 años sustitución de los siguientes componentes:

Elemento	Cantidad
Magnetotérmico 1P+N	1
Display digital retroiluminado	3

Al final de los 10 años empieza la mitigación a largo plazo, donde se recomienda una actualización completa del sistema.



## 5. COSTE DE CICLO DE VIDA

Para la determinación del coste se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Coste del material. Los precios se consideran en la actualidad (año 2013).

No se han tenido en cuenta los tiempos empleados en la adquisición, transporte y gestión de stock.

### 5.1 COSTE ANUAL DE CICLO DE VIDA.

Año 1	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómata programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 1</b>	<b>589€</b>

Año 2	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómata programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€



<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 2</b>	<b>589€</b>

Año 3	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómata programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€



<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 3</b>	<b>589€</b>

Año 4	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 4</b>	<b>589€</b>

Año 5	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€



Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Operación nº5: Sustitución de Ordenador Táctil</b>	
Material: Ordenador Táctil	
Coste (€) material: 1900€	1900€
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº5	2050€
<b>Operación nº6: Sustitución de Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 64 entradas</b>	
Material: Autómata Programable Entradas Digitales módulo de 64 entradas	
Coste (€) material: 325€ *2	650€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº6	800€
<b>Operación nº7: Sustitución de Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 64 salidas</b>	
Material: Autómata Programable Salidas Digitales módulo de 64 salidas	
Coste (€) material: 375€ *2	750€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº7	900€
<b>Operación nº8: Sustitución de Fuente de Alimentación 24v 200w</b>	
Material: Fuente de Alimentación 24v 200w	
Coste (€) material: 80€	0



Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº8	155€
<b>Coste (€) total de operaciones año 5</b>	
	<b>4494€</b>

Año 6	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 6</b>	<b>589€</b>

Año 7	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	





Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Operación nº5: Sustitución de Automata Programable Salidas Digitales módulo de 32 salidas</b>	
Material: <b>Automata Programable Salidas Digitales módulo de 32 salidas</b>	
Coste (€) material: 285€	285€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº5	360€
<b>Coste (€) total de operaciones año 7</b>	<b>949€</b>

Año 8	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómata programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	



Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Coste (€) total de operaciones año 8</b>	
	<b>589€</b>

Año 9	
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>	
Material: Battery 01	
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº1	95€
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>	
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)	
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº2	119€
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0€
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€
Coste (€) total de la operación nº3	75€
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>	
Material: -	
Coste (€) material: -	0
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€
<b>Operación nº5: Sustitución de Magnetotérmico 1P+N</b>	
Material: Magnetotérmico 1P+N	
Coste (€) material: 50€	50€



Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€	
Coste (€) total de la operación nº5	125€	
<b>Operación nº6: Sustitución de Display digital retroiluminado</b>		
Material: Display digital retroiluminado		
Coste (€) material: 115€*3	345€	
Coste (€) de la mano de obra: 3 horas empleadas (75€/hora)	225€	
Coste (€) total de la operación nº6	570€	
<b>Coste (€) total de operaciones año 9</b>		<b>1284€</b>

Año 10		
<b>Operación nº1: Cambio de baterías en el autómatas programable.</b>		
Material: Battery 01		
Coste (€) material: 20€ (1 unidades)	20€	
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€	
Coste (€) total de la operación nº1	95€	
<b>Operación nº2: Cambio de filtros en ventiladores</b>		
Material: Estera filtrante FAN para modelo VE-/24 (2 unidades) y estera filtrante FAN para modelo VE-/25 (1 unidad)		
Coste (€) material: 20€ (FAN VE-/25) 12€ *2 unidades (FAN VE-/24)	44€	
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€	
Coste (€) total de la operación nº2	119€	
<b>Operación nº3: Inspección visual</b>		
Material: -		
Coste (€) material: -	0€	
Coste (€) de la mano de obra: 1 hora empleada (75€/hora)	75€	
Coste (€) total de la operación nº3	75€	
<b>Operación nº4: Limpieza (bianual)</b>		
Material: -		
Coste (€) material: -	0	
Coste (€) de la mano de obra: 2 horas empleadas (75€/hora)	150€	
Coste (€) total de la operación nº4 (bianual)	300€	
<b>Coste (€) total de operaciones año 10</b>		<b>589€</b>

El coste total de ciclo de vida en 10 años es de 10.850€.



## **6. CONCLUSIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

El objetivo de este proyecto era calcular el coste económico que tiene mantener en funcionamiento una máquina de control de agentes químicos durante un periodo de tiempo de 10 años, sin perder ninguna prestación y manteniendo un nivel de fiabilidad próximo al que tenía en el momento de su puesta en marcha.

Las repercusiones sociales, ambientales y económicas que se pueden derivar de un fallo en este equipo, se deberían medir para poder tomar la decisión de acometer o no las actuaciones que el coste de ciclo de vida tiene.

Este coste también se debería de tener en cuenta a la hora de establecer políticas de mantenimiento del sistema, porque en él se encuentran los componentes que son más susceptibles de producir un fallo en el mismo.

Es muy importante que las consideraciones iniciales del sistema se establezcan de acuerdo a la realidad del sistema, porque si estas varían, todo el estudio de ciclo de vida se verá afectado.

### **6.2 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

En el estudio del coste de ciclo de vida se han incluido operaciones habituales de mantenimiento de sistemas industriales. Estas operaciones se realizan de manera periódica cada año hasta completar los 10 años del coste de ciclo de vida. No es objeto de este estudio conocer estas tareas de mantenimiento, ni tampoco mejorarlas para reducir su coste o su periodicidad. Estas tareas son:

- Cambio de baterías en el autómata programable
- Cambio de filtros en ventiladores
- Inspección visual
- Limpieza (bianual)

Una futura línea de investigación se puede realizar en esta dirección, el coste anual que tienen estas operaciones periódicas de mantenimiento es de 589€, aproximadamente la mitad de coste del ciclo de vida en 10 años (10.850€). Si estos costes fijos se pueden reducir utilizando otros componentes o métodos más eficaces de limpieza e inspección visual se reduciría el coste de ciclo de vida.



---

## **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

Reliability, maintainability and risk [Recurso electrónico] practical methods for engineers 8ª ed.  
Smith, David John 2011

Reliability engineering theory and practice 5th ed.  
Birolini, Alessandro 2007

Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad un enfoque sistémico  
Sols, Alberto 2000



## ANEXO A