

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Química

Títol: Anàlisi d'estratègies de manteniment i renovació d'equipament en estacions depuradores d'aigües residuals

Document: Memòria

Alumne: Elisabet Plaja Viñas

Tutor: Marta Verdguer Planas / Manel Poch Espallargas

Departament: EQATA

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): Setembre / 2015

AGRAÏMENTS

Als meus tutors, Marta Verdaguer i en particular a en Manel Poch, per la seva disponibilitat, assessorament i implicació en la realització del present treball.

A la meva família, en especial a la meva mare per tot el seu suport i paciència en els moments complicats.

Als meus companys de la carrera, per recolzar-nos sempre i en concret a l'hora de realitzar el projecte.

I als meus amics per tots els ànims que he rebut per part seva.

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ.....	1
1.1	Antecedents	1
1.2	Objecte	1
1.3	Abast.....	1
2	MARC TEÒRIC.....	2
2.1	Depuració d'aigües residuals	2
2.1.1	Tractament de les aigües residuals	2
2.1.2	Equips	5
2.2	EDAR's a Catalunya.....	7
2.2.1	Història	7
2.2.2	EDAR's en funcionament.....	8
2.2.3	Problemàtica	10
2.3	Gestió d'actius.....	11
2.3.1	Procés	11
2.3.2	Beneficis de la Gestió d'Actius	13
2.3.3	Importància en sistemes d'aigües residuals.....	13
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	Bombes en les EDAR.....	14
3.1.1	Deteriorament, criteris d'obsolescència i la seva modelització.....	17
3.1.2	Factors que afecten al deteriorament de la bomba	19
3.1.3	Controls recomanats	21
3.2	Cost del cicle de vida	22
3.2.1	Cost inicial	23
3.2.2	Cost d'instal·lació	24
3.2.3	Cost energètic.....	24
3.2.4	Cost d'operació	25
3.2.5	Cost de manteniment.....	25
3.2.6	Cost de pèrdua de producció i temps d'inactivitat	26
3.2.7	Cost mediambiental	26
3.2.8	Cost de retirada.....	26
3.3	Cas d'estudi	27
3.3.1	Funcions matemàtiques.....	28
4	RESULTATS.....	31

4.1	Aplicació de l'estratègia 1	31
4.1.1	Rendiment 90%	31
4.1.2	Rendiment 70%	34
4.2	Aplicació de l'estratègia 2	36
4.2.1	Manteniment cada 2 anys.....	37
4.2.2	Manteniment cada 3 anys.....	48
4.3	Anàlisi de resultats	56
4.3.1	Comparació sense manteniment	56
4.3.2	Comparació de costos en funció del rendiment	57
4.3.3	Comparació amb i sense manteniment	58
5	CONCLUSIONS	60
6	PRESSUPOST I PLANIFICACIÓ	62
6.1	Resum del pressupost	62
6.1.1	Cost de realització del projecte.....	62
6.1.2	Inversió inicial i amortització.....	62
6.1.3	Cost indirecte	63
6.1.4	Benefici industrial.....	63
6.1.5	Cost total del projecte.....	63
6.2	Planificació	64
7	BIBLIOGRAFIA.....	66

1 INTRODUCCIÓ

1.1 ANTECEDENTS

Les Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR) estan formades per diversos equips que experimenten diferents processos d'envelliment en el temps. Degut a aquest deteriorament, pot ser més difícil lliurar el servei amb les prestacions adequades, ja que aquest fet afecta a l'eficiència de les operacions de depuració de l'aigua i ocasiona un major ús d'energia i un augment dels costos d'operació i manteniment en funció de l'edat dels actius. S'ha constatat que la gestió d'aquests equipaments constitueix un dels reptes més importants avui dia en la gestió de les EDAR, per tant és important analitzar diferents estratègies a seguir que ajudin a pal·liar aquest problema.

1.2 OBJECTE

L'objectiu del projecte és estudiar diferents estratègies de gestió dels equipaments per tal de reduir el consum d'energia, millorar els programes de manteniment o d'ampliació de la vida de l'actiu i aportar viabilitat financera a llarg termini.

En concret, l'estudi es realitzarà per a una bomba tipus, ja que en les plantes de tractament d'aigües residuals és un dels equipaments més abastament utilitzats per dur a terme els diferents processos unitaris de la planta.

1.3 ABAST

Per tal d'estudiar aquest problema s'haurà de definir una bomba tipus, de la qual s'identificaran els criteris d'obsolescència i s'analitzarà el cost del cicle de vida; també s'hauran de proposar diferents estratègies de manteniment i aplicar eines d'economia industrial per avaluar quina estratègia pot ser més eficient i amb major viabilitat econòmica.

2 MARC TEÒRIC

2.1 DEPURACIÓ D'AIGÜES RESIDUALS

Una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) és una instal·lació on les aigües residuals procedents del clavegueram municipal, de les indústries assentades en el nucli urbà i en la major part dels casos de les aigües de pluja que són recollides pel clavegueram, són sotmeses a un procés en el qual, per mitjà de la combinació de diversos tractaments físics, químics i/o biològics, se n'eliminen els contaminants i impureses per tal que l'aigua obtinguda es pugui retornar al riu sense malmetre'l. (Metcalf & Eddy, 1995)

La depuració d'aigües residuals doncs, té com a objectiu genèric aconseguir un efluent d'aigua de millors característiques de qualitat i quantitat, prenent com a base certs paràmetres normalitzats, i per tant el disseny de cadascuna de les operacions depèn del tipus d'aigua i el volum a tractar, i de les característiques i la qualitat de l'efluent que es vol obtenir.

2.1.1 Tractament de les aigües residuals

El tractament de les aigües residuals es produeix gràcies a la combinació de processos físics, químics i/o biològics en les estacions depuradores.

Depenent del tipus de tractament que facin servir, les EDAR poden ser:

Fisicoquímiques: La depuració es produeix mitjançant un tractament en el qual se li afegeixen a l'aigua reactius químics per afavorir la decantació de sòlids en suspensió presents a l'aigua.

Biològiques: la depuració té lloc mitjançant processos biològics. Aquests processos es realitzen amb la intervenció de microorganismes que actuen sobre la matèria orgànica i inorgànica en suspensió present en l'aigua, transformant-la en sòlids sedimentables més fàcils de separar.

Operacions i processos unitaris en una EDAR

Un cop establerts els objectius de tractament, es pot escollir la combinació òptima dels processos unitaris per tal d'obtenir un efluent amb les característiques desitjades.

Malgrat les diferències en aquests tractaments, totes les depuradores tenen dues línies de funcionament: la línia d'aigües i la línia de fangs.

Línia d'aigües: Correspon a la part del procés de depuració que se centra únicament en el tractament de les aigües residuals.

Línia de fangs: En la línia d'aigües es generen gran quantitat de deixalles (anomenats fangs). La línia de fangs s'encarrega de tractar els fangs reduint-los el màxim possible i fent-los menys contaminants.

Així doncs, les plantes de tractament d'aigües residuals urbanes en general presenten una mateixa seqüència d'operacions .

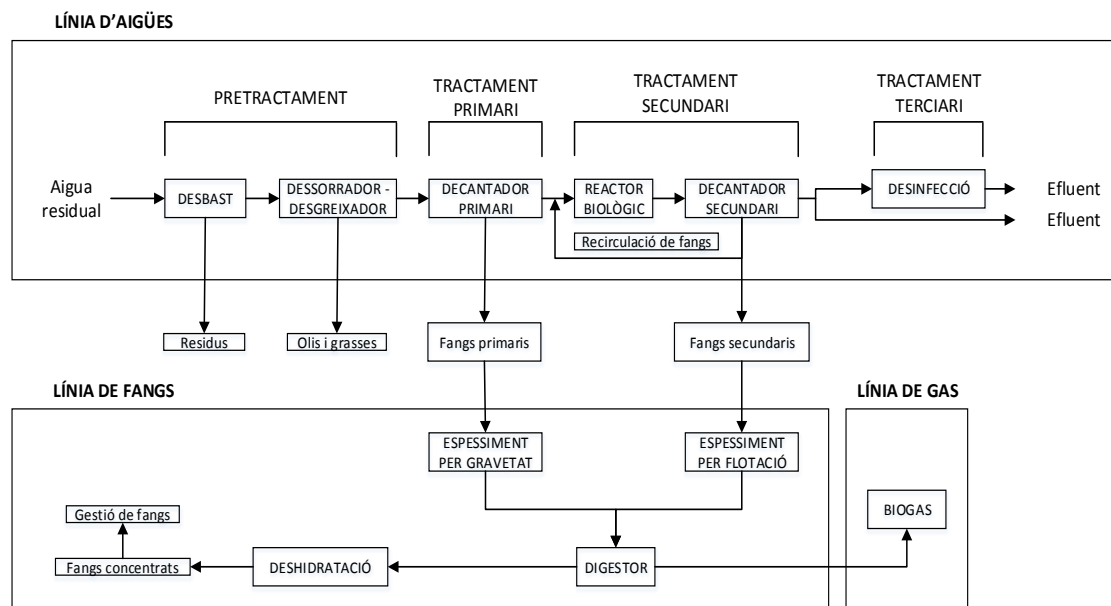


Figura 2.1: Esquema d'operacions d'una planta de tractament d'aigües residuals.

La primera etapa, anomenada *pretractament*, fa un primer desbast dels sòlids més grossos arrossegats per l'aigua residual que arriba del col·lector. La finalitat d'aquest tractament és eliminar els constituents de l'aigua residual la presència dels quals pugui provocar problemes de manteniment i funcionament sobre mecanismes com les bombes i vàlvules que es troben al llarg del procés. Aquesta operació física se sol efectuar mitjançant una seqüència de reixes, amb diferent obertura i automatisme. L'addició d'un dessorrador-desgreixador a continuació permet separar les sorres més fines i els greixos o olis presents per tal d'evitar obstruccions en els equips.

En l'etapa següent, anomenada *tractament primari*, l'aigua es deixa reposar unes hores en un tanc de sedimentació primari perquè decanti la matèria orgànica sedimentable, així com la resta de sorres o partícules inorgàniques que no han quedat retingudes en el pretractament. Els sòlids sedimentats són enviats cap a una línia de tractament específic, la línia de fangs.

Seguidament, l'aigua arriba a l'etapa anomenada *tractament secundari*. El fonament d'aquesta etapa és accelerar el procés biològic que es donaria a la natura, és a dir, eliminar la matèria orgànica mitjançant una població multiespecífica de microorganismes. Aquesta reacció es produeix en uns bioreactors fortament airejats en cas que el procés sigui aerobi. El procés més habitual és el sistema de fangs actius. El procés de tractament biològic rep el nom de tractament secundari, i la decantació de la barreja d'aigua i bacteris es coneix com decantació secundària.

El sobrenedant, sol ser abocat directament per tal de seguir el seu cicle natural, tot i que pot rebre un nou tractament més avançat, *tractament terciari*, com la cloració, la filtració amb llits de sorra, l'adsorció en carbó actiu o l'osmosi inversa, per disminuir els nivells dels contaminants encara presents a l'aigua.

Paral·lelament, les dues fases de decantació generen una elevada quantitat de sòlids, anomenats fangs o llots, que necessiten un tractament específic per reduir-ne el volum, el pes i les característiques. Aquesta nova seqüència de processos s'engloba en una nova línia de tractament, la línia de fangs, que sol constar d'un espessiment, una estabilització i una deshidratació final. L'espessiment té com a objectiu eliminar parcialment l'aigua continguda en els fangs primaris i secundaris, concentrant així els sòlids existents en ells. Posteriorment, aquests fangs passen a un digestors, on s'estabilitzen els llots perquè la matèria orgànica residual resultant sigui el més innòcua possible per al medi ambient. La majoria dels digestors existents a les EDAR convencionals són anaerobis (funcionen en absència d'oxigen). Els gasos que es generen s'extreuen per la part superior dels digestors i són emmagatzemats, o conduïts fins a una torxa, per la seva combustió controlada. Si es decideix emmagatzemar el gas, posteriorment es pot utilitzar per generar energia tèrmica i/o elèctrica. Aquest últim procés formaria part de la línia de gas de la depuradora. Els llots que s'obtenen després del pas pels digestors, tenen una humitat al voltant del 90%. Mitjançant la deshidratació parcial, es pot reduir el volum de fangs a gestionar facilitant així el seu tractament.

En la Taula 2.1 es presenta un resum de les operacions unitàries utilitzades, el tipus de tractament i la línia i etapa a la que pertany.

Taula 2.1: Resum operacions unitàries, tipus de tractament i línia i etapa a la que pertanyen.

OPERACIÓ UNITÀRIA O SISTEMA DE TRACTAMENT	TIPUS	LÍNIA	ETAPA/ TRACTAMENT
Desbast	Físic	Aigua	Pretractament
Dessorrador- desgreixador	Físic/Químic	Aigua	Pretractament
Sedimentació/ Decantació	Físic	Aigua	Primari/Secundari
Filtració	Físic	Aigua	Primari/Terciari
Flotació	Físic/Químic	Aigua	Primari
Fangs actius	Biològic	Aigua	Secundari
Filtres percoladors	Biològic	Aigua	Secundari
Biodiscs	Biològic	Aigua	Secundari
Llacunatge	Biològic	Aigua	Secundari
Filtres de sorra	Biològic	Aigua	Terciari
Tractament de gasos	Químic	Fangs	
Adsorció en carbó actiu	Químic	Aigua	Terciari
Cloració	Químic	Aigua	Terciari
Ozonització	Químic	Aigua	Terciari
Radiació UV	Químic	Aigua	Terciari
Nitrificació-desnitrificació	Biològic	Aigua	
Bescanvi iònic	Químic	Aigua	
Eliminació biològica del fòsfor	Biològic	Aigua	
Precipitació química	Químic	Aigua	
Osmosi inversa	Químic	Aigua	Terciari
Espessidor	Físic	Fangs	
Digestió	Biològic	Aigua/Fangs	Terciari
Deshidratació	Físic	Fangs	

2.1.2 Equips

Tal com s'ha mencionat a l'apart anterior, el sistema de depuració d'aigües residuals està format per diverses etapes de tractament. Per tal de dur a terme les operacions unitàries d'aquestes etapes són necessaris equips diversos que presenten diferents processos d'envelliment en el temps.

A continuació es presenta una taula amb els equips més usuals, el seus cicles de vida operatius i criteris d'obsolescència.

Taula 2.2: Cicle de vida operatiu i criteris d'obsolescència dels actius de tractament d'aigües residuals. (Income tax: effective life of depreciating assets)

ACTIUS	CICLE DE VIDA OPERATIU (Anys)	CRITERIS D'OBSOLESCÈNCIA
Airejadors	20	Pèrdua de capacitat de transferència d'aire
Bufadors	15	Pèrdua de capacitat de transferència d'aire
Tancs d'emmagatzematge d'aigua	80	Aparició de fuites
Bombes	20	Disminució de cabal aportat
Actius de tractament primari:		Disminució de la capacitat de separació de sòlids
Clarificadors primaris	80	
Llacunes de sedimentació primària	50	
Tancs de sedimentació primària	80	
Actius de tractament secundari:		Disminució del rendiment de degradació de matèria orgànica i nutrients
Actius d'eliminació de nutrients biològics:		
Airejadors i bufadors	20	
Tancs d'eliminació de nutrients (incorporant corrent mixta de licors, anòxic, anaeròbic i difusors)	80	
Mescladors	25	
Clarificadors secundaris	80	
Llacunes de tractament secundari	50	
Tancs de tractament secundari	80	
Reactors per llots seqüenciats	80	
Airejadors de llots i bufadors	80	
Actius tractament terciari:		No assoliment dels criteris
Tancs de contacte de clor	80	
Tancs de filtració	80	
Desinfecció UV	25	
Actius de processament de fangs:		Disminució de la sequedat del fang
Digestors anaeròbics	80	
Biofiltres	80	
Sistemes de flotació per aire dissolt	25	
Deshidratador de fangs	20	
Tancs d'essament de fangs	80	

2.2 EDAR'S A CATALUNYA

2.2.1 Història

Com ja s'ha dit anteriorment, el sanejament de les aigües és un procés clau per garantir la qualitat de l'aigua i, per tant, la salut i la preservació del medi. D'aquí la importància de retornar al medi (als rius i al mar) l'aigua que s'ha utilitzat en condicions òptimes.

La depuració d'aigües residuals va començar a Catalunya a l'any 1982 amb l'aparició del Pla de Sanejament de Catalunya, com a conseqüència del desenvolupament de la Llei 5/1981, que es definia bàsicament com una llei de planificació i finançament de les actuacions de sanejament necessàries per resoldre la contaminació de les aigües, llavors extremadament greu.

Aquesta llei es basava en els principis d'equitat, solidaritat, de millora progressiva i de rendibilitat, i es dotava a l'Administració dels mecanismes per a l'obtenció dels recursos econòmics necessaris per al finançament de les obres i serveis, obligant a les empreses subministradores d'aigua, públiques i privades, a cobrar i liquidar a l'Administració l'Increment de Tarifa de Sanejament, juntament amb el Cànon d'Infraestructures Hidràuliques. Posteriorment ambdues figures es van unificar en el que es coneix com l'actual Cànon de l'Aigua.

Durant l'any 2000 es va crear l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), adscrita al Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, que va sorgir de la fusió de la Junta de Sanejament i la Junta d'Aigües, com l'empresa pública encarregada de planificar i gestionar el cicle integral de l'aigua a Catalunya. Aquell mateix any es va aprovar la Directiva 2000/60/CE per la qual s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües.

En l'actualitat s'utilitza el PSARU 2005 (Programa de Sanejament d'Aigües Residuals Urbanes), un instrument de la planificació hidrològica que desenvolupa el Pla de sanejament de Catalunya aprovat pel Govern de la Generalitat, en data 7 de novembre de 1995, que té com a objecte la definició de totes les actuacions destinades a la reducció de la contaminació originada per l'ús domèstic de l'aigua, que permetin l'assoliment dels objectius de qualitat de l'aigua. També hi ha un PSARI 2003 (per a les Aigües Residuals Industrials), i un Pla per a les Aigües Residuals Ramaderes.

2.2.2 EDAR's en funcionament

Les estacions depuradores d'aigües residuals i pretractaments que funcionen actualment a Catalunya garanteixen un adequat retorn al medi de les aigües prèviament utilitzades i eviten el deteriorament de les masses d'aigua, principi bàsic de la Directiva marc de l'aigua. A dia d'avui les 489 depuradores en servei permeten tractar les aigües residuals del 95,5% de la població de Catalunya. (Agència Catalana de l'Aigua)

Quins tractaments fan servir?

A partir de dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat), es pot classificar les diferents estacions depuradores en servei segons el tractament que s'hi realitza.

Taula 2.3: Estacions depuradores d'aigües residuals segons tractament (Institut d'Estadística de Catalunya)

TRACTAMENT	ESTACIONS DEPURADORES	CAPACITAT DE TRACTAMENT (m ³ /dia)	POBLACIÓ SERVIDA (habitants equivalents)
Biològic	431	2.885.207	15.813.685
Llacunatge/Tractament tou	40	26.512	140.388
Tractament primari/ Pretractament	18	1.736	1.253
Total	489	2.913.455	15.955.326

Quina edat tenen?

Des de l'any 2000 s'han construït a Catalunya 239 depuradores, per tant gairebé la meitat de les EDARs tenen més de 15 anys, havent-n'hi algunes que daten d'abans del 1980. En les Figures 2.2 i 2.3 es mostra el percentatge de depuradores segons l'edat que tenen actualment i quantes depuradores s'han posat en funcionament cada any.

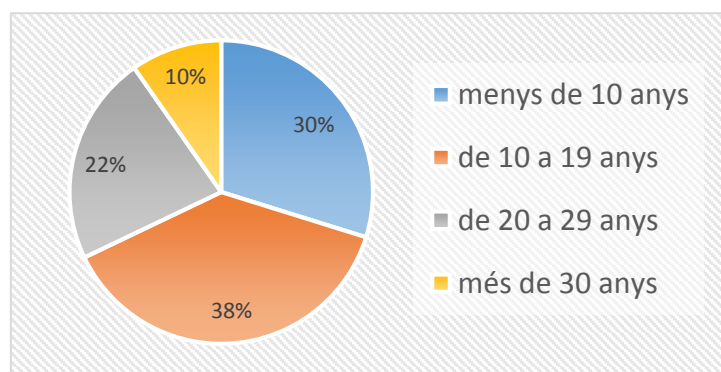


Figura 2.2: Percentatge de depuradores segons l'edat actual.

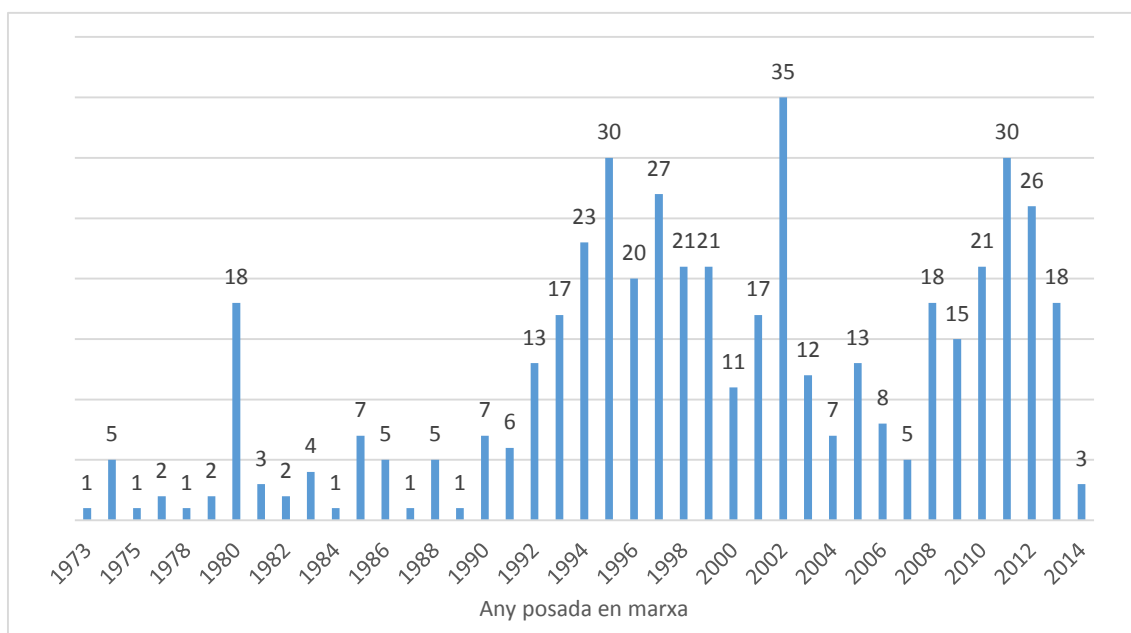


Figura 2.3: Nombre de depuradores que s'han posat en funcióment cada any.

Quins cabals tracten?

Pel que fa als cabals de disseny, aquests varien molt en funció de la grandària de l'estació depuradora. A Catalunya actualment es tracten diàriament 2.913.455 m³ (Taula 2.3). En la Figura 2.4 es pot observar com han anat augmentat els metres cúbics que es tracten diàriament al llarg dels anys.

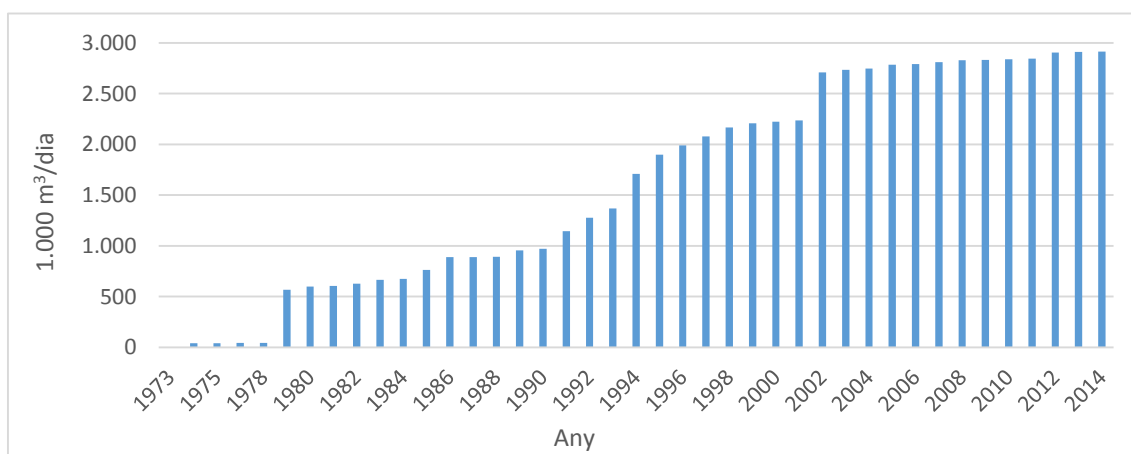


Figura 2.4: Milers de metres cúbics tractats al dia en funció de l'any.

2.2.3 Problemàtica

La depuració d'aigües residuals ha assolit a Catalunya la plena depuració dels grans municipis, a més s'està duent a terme la substitució de depuradores que han quedat obsoletes i la implementació de depuradores en nuclis petits. Per tant, s'han d'aprofitar aquestes noves construccions per reduir la despesa energètica i modernitzar les tecnologies emprades. També cal pensar en la possibilitat de reutilitzar les aigües residuals de forma planificada i per tot el territori.

Com es pot observar a la Figura 2.4, a Catalunya es depuren gran quantitat de metres cúbics al dia, fet que suposa un cost per a tots els habitants. Segons les dades publicades per l'Institut Nacional de Estadística a la "Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua" de l'any 2012, el cost unitari del sanejament de l'aigua (clavegueram, sanejament) a Catalunya era de 1,15€/m³. Així doncs degut al gran cabal que es tracta diàriament s'hauria de procurar que aquests costos de sanejament fossin el menors possibles.

Els esmentats costos d'operació dels sistemes de sanejament són principalment deguts a les despeses de personal, electricitat, gestió de residus generats pel tractament de l'aigua residual, especialment dels llots, manteniment de les instal·lacions, i d'altres conceptes diversos com la compra de reactius, assegurances, control de qualitat, etc. Si no es realitzen totes aquelles tasques que permeten una garantia de continuïtat del servei, com tasques de vigilància de col·lectors, del procés de gestió i manteniment i control en general, s'incrementa notablement el risc de fallada en la gestió dels sistemes de sanejament i ocasiona un major cost per habitant.

A banda, si es te present que la majoria d'actius en equips electromecànics tenen al voltant d'uns 20 anys d'ús, la seva vida útil està a punt de finalitzar, amb la qual cosa, les reposicions d'equips són cada cop més necessàries. Tot això incrementa evidentment el risc d'errors de màquines, que poden afectar directament als processos de tractament. En conseqüència, hi ha risc de provocar abocaments d'aigües no conformes a les exigències de la legislació que puguin afectar al medi receptor. D'altra banda, és important que els actius segueixin l'evolució tecnològica del sector amb la finalitat de buscar sempre una millor eficiència en costos d'operació i fiabilitat de funcionament.

Així doncs, és necessari un nou enfocament cap a la gestió d'actius per tal de millorar-ne el rendiment i la viabilitat econòmica.

2.3 GESTIÓ D'ACTIUS

La gestió d'actius es defineix a la norma ISO 55000 com: “activitat coordinada d'una organització per realitzar el valor dels actius “. Es troba una definició més expansiva al PAS 55 on es defineix com: “Les activitats i pràctiques sistemàtiques i coordinades a través de les quals de manera òptima i sostenible una organització gestiona els seus actius i els sistemes d'actius, els seus rendiments associats, els riscos i despeses durant el seu cicle de vida per tal d'aconseguir el seu pla estratègic d'organització”. (Institute of Asset Management)

Al seu torn, es defineixen:

- *Actiu*: Un actiu és un element, cosa o entitat que té valor real o potencial per a una organització.
- *Cicle de vida*: totes les etapes que l'actiu experimenta durant la seva vida.

La gestió d'actius implica, doncs, el desenvolupament d'un pla per reduir costos i augmentar l'eficiència i la fiabilitat dels seus actius. Per tant, també permet examinar la necessitat i el rendiment dels actius i els sistemes d'actius. A més, permet l'aplicació d'enfocaments analítics cap a la gestió d'un actiu durant les diferents etapes del seu cicle de vida (adquisició, utilització, manteniment i la seva eliminació final o renovació).

Un objectiu principal és minimitzar el cost total de la vida dels actius, però pot haver-hi factors crítics a considerar objectivament en aquesta presa de decisions.

2.3.1 Procés

El procés que segueix la gestió d'actius consisteix en 10 passos englobats en 5 preguntes bàsiques. La Figura 2.5 mostra quins són aquests passos i en quin ordre s'han de seguir per tal de poder construir un pla de gestió d'actius.

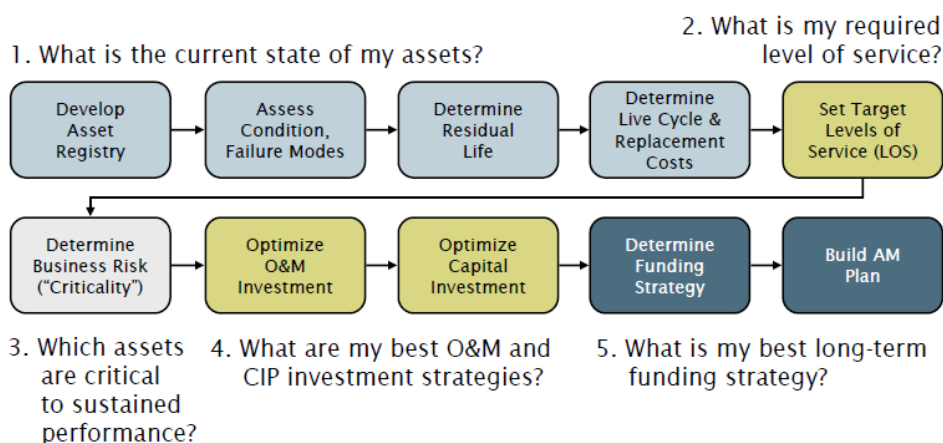


Figura 2.5: Procés d'elaboració d'un Pla de Gestió d'Actius (EPA, The Fundamentals of Asset Management)

Especificar l'estat actual dels actius

Abans de poder administrar els actius, és necessari saber quins són els actius que es tenen i en quin estat es troben.

Per tal d'obtenir aquesta informació s'ha de:

- Desenvolupar un registre: Es recull la informació sobre el disseny, l'edat i l'historial de servei de l'actiu.
- Avaluar l'estat i les fallades.
- Determinar la vida residual: A partir de taules i corbes de mortalitat estimades.
- Determinar el cicle de vida i el cost de reposició: Dur a terme un anàlisi del cost del Cicle de Vida.

Definir l'estàndard de servei

Aquest pas defineix el rendiment que han de tenir els actius definits i sota quines condicions, així com l'estàndard de servei per a les diferents parts del sistema d'actius. En resum, defineix com ha de funcionar el sistema.

Determinar els actius crítics

La determinació dels actius crítics consisteix en determinar quins actius són fonamentals per mantenir el rendiment del sistema.

Per dur a terme aquest pas és necessari estudiar com poden fallar els actius, amb quina probabilitat ocorre aquest fet i quines conseqüències es deriven d'aquests fallades.

Optimitzar operacions i manteniment

Per tal d'optimitzar les operacions i el manteniment s'ha d'analitzar l'estratègia de manteniment més rendible per a un determinat actiu. Això es pot aconseguir a partir de l'estudi d'inversió de capital necessari per a cada actiu.

Determinar l'estratègia de finançament

L'últim pas és construir el pla de gestió d'actius a partir de les dades obtingudes de cada actiu i els costos associats a aquest, tenint en compte els anys de vida i les diferents condicions d'inversió de capital.

2.3.2 Beneficis de la Gestió d'Actius

Hi ha molts beneficis relacionats amb la gestió d'actius, i els sistemes que adopten plenament la gestió d'actius poden aconseguir molts o tots aquests beneficis. Els beneficis de la gestió d'actius inclouen, però no es limiten, a els següents:

- Millors decisions operatives
- Resposta d'emergència millorada
- Una major capacitat de planificació
- Major coneixement dels actius
- Prolongació de la vida dels actius
- Operacions més eficients

2.3.3 Importància en sistemes d'aigües residuals

La gestió d'actius és un marc àmpliament adoptat pel sector de l'aigua com a mitjà per a perseguir i aconseguir una infraestructura sostenible i unes operacions del sistema més eficients i enfocades a millorar la gestió financera, per tal de fer un millor ús dels recursos limitats sistemes.

Tots els sistemes d'aigua i aigües residuals es componen d'actius. Alguns dels components físics del sistema poden incloure: canonades, vàlvules, tancs, bombes, pous, instal·lacions de tractament, etc. Els actius que componen un sistema d'aigües residuals generalment perden valor amb el temps, ja que el sistema envella i es deteriora. Degut a aquest deteriorament, pot ser més difícil lliurar el servei amb les prestacions adequades. A més, els costos d'operació i manteniment augmentaran en funció de l'edat dels actius. Llavors, la utilitat d'un pla de gestió d'actius es troba en la facilitat de prendre millors decisions en la gestió d'aquests.

3 METODOLOGIA

La metodologia s'aplica a un dels equipaments més àmpliament utilitzats a les EDAR, tal i com són les bombes hidràuliques. Per aquest equipament s'analitzarà el cost del cicle de vida, part indispensable de la gestió d'actius, i s'aplicarà a diferents hipòtesis de treball per tal d'extreure'n conclusions.

3.1 BOMBES EN LES EDAR

Els sistemes de bombeig s'utilitzen en multitud d'àmbits, els quals proporcionen serveis domèstics, comercials i serveis agrícoles, aigua municipal/serveis d'aigües residuals i serveis industrials per a l'elaboració d'aliments, química, petroquímica, farmacèutica i indústries mecàniques.

En les plantes de tractament d'aigües residuals s'utilitzen els sistemes de bombament per tal de bombar fluxos a nivells més alts i permetre així un tractament continu mitjançant els diferents processos unitaris de la planta.

Les bombes també tenen altres aplicacions en les EDAR, aquestes aplicacions inclouen el bombament de greixos, de fangs o la dosificació de productes químics en els reactors. En les Figures 3.1 i 3.2 es mostra els principals emplaçaments de les bombes en les depuradores i quina funció duen a terme.



Figura 3.1: Localització de les bombes en les EDAR. (ITT Water & Wastewater AB)

Pumping functions			
Inlet pumping Feeding and control of incoming wastewater.	Return activated sludge pumping from sedimentation Recirculation of activated sludge to incoming wastewater.	Thickened sludge pumping from gravity thickening Pumping of thickened sludge from gravity thickener.	Digested sludge withdrawal Withdrawal of digested sludge from digester.
Grit removal pumping Withdrawal of grit from grit chamber.	Waste activated sludge withdrawal from sedimentation Withdrawal of waste activated sludge to sludge treatment.	Feeding sludge to mechanical thickener Feeding and control of sludge to mechanical thickener.	Sludge storage feeding Feeding and control of raw (unaerated) sludge to sludge storage tank.
Primary sludge pumping Primary sludge withdrawal from primary sedimentation.	Return activated sludge pumping from flotation Recirculation of activated sludge to incoming wastewater.	Mechanical thickening supernatant recirculation pumping Pumping of supernatant from mechanical thickening to further treatment.	Withdrawal of stored sludge Withdrawal of sludge from sludge storage tank
SBR waste activated sludge withdrawal Withdrawal of settled waste activated sludge.	Waste activated sludge withdrawal from flotation Withdrawal of waste activated sludge to sludge treatment.	Thickened sludge pumping from mechanical thickening Pumping of thickened sludge from mechanical thickener.	External sludge pumping Pumping of sludge from other sources outside treatment plant.
Conventional aeration sludge treatment mixed liquor recirculation Aeration in oxic zone to anoxic zone for denitrification.	Effluent pumping Discharge of treated wastewater to recipient.	Digester feeding Feeding and control of raw sludge to anaerobic digester.	Feeding sludge to dewatering unit Feeding and control of sludge to dewatering unit.
Oxidation ditch mixed liquor recirculation Recirculation of mixed liquor from oxic zone to anoxic zone for denitrification.	Gravity thickening supernatant recirculation pumping Pumping of supernatant from gravity thickening of sludge to primary treatment.	Digester recirculation Recirculation of sludge in anaerobic digester through heat exchanger for temperature control.	Recirculation pumping of dewatering supernatant Pumping of supernatant from dewatering to further treatment.
			Dewatered sludge pumping Pumping of dewatered sludge to sludge disposal.

Figura 3.2: Funcions de les bombes en les depuradores. (ITT Water & Wastewater AB)

Les bombes més utilitzades en les plantes de tractament d'aigües residuals són la centrífuga, la de cavitat progressiva i la de desplaçament positiu. En la taula següent es mostren les seves principals aplicacions en les plantes depuradores.

Taula 3.1: Aplicacions dels diferents tipus de bombes en les EDAR (EPA, Wastewater Technology Fact Sheet: In-Plant Pump Stations, 2000)

TIPUS DE BOMBA	APLICACIÓ TÍPICA
Centrífuga	Aigües residuals sense processar
	Llots primaris
	Llots secundaris
	Efluent d'aigües residuals
Desplaçament positiu	Llots primaris
	Llots espessits
	Llots digerits
	Fangs
	Addició de substàncies químiques
Cavitat progressiva	Tot tipus de llots
	Tot tipus de fangs

La bomba centrífuga és la més àmpliament utilitzada, ja que aquest tipus de bomba és capaç de moure grans volums d'aigua d'una forma relativament eficient. La bomba centrífuga és molt fiable, té relativament pocs requisits de manteniment i es pot construir amb una àmplia varietat de materials.

El funcionament de la bomba centrífuga consisteix en crear un augment de pressió mitjançant la transferència d'energia mecànica des del motor al fluid a través de la rotació de l'impulsor. El fluid va des de l'entrada fins al centre de l'impulsor i al llarg de les seves fulles. La força centrífuga fa augmentar la velocitat del fluid i per tant l'energia cinètica es transforma en pressió a la sortida.

Els principals components hidràulics (parts en contacte amb el fluid) són comuns per a la majoria de bombes centrífugues. Les Figures 3.3 i 3.4 mostren els components hidràulics d'una bomba centrífuga.

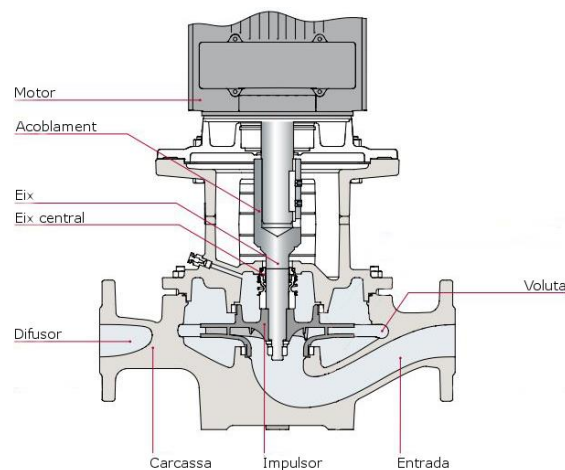


Figura 3.3: Components hidràulics d'una bomba centrífuga.

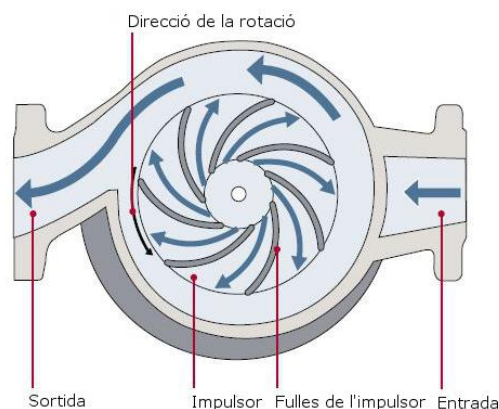


Figura 3.4: Trajectòria del fluid a través de la bomba centrífuga.

3.1.1 Deteriorament, criteris d'obsolescència i la seva modelització

Al llarg del seu cicle de vida útil el rendiment de qualsevol equip de bombeig es deteriora a causa principalment de desgasts mecànics i fenòmens d'oxidació o incrustacions. El desgast és inevitable a causa de les peces mecàniques que es mouen i l'acció del fluid que es bomba. L'erosió es genera per la velocitat del fluid, i es veu augmentada per la presència de llots (sorra o partícules més grans) i la corrosió és a causa de la reacció química o electroquímica que ataca els materials de la bomba.

Segons el "SAVE report" elaborat per la Comissió Europea, no hi ha una xifra acordada de la pèrdua d'eficiència d'una bomba si aquesta no es manté, però dades del Regne Unit sobre bombes centrífugues indiquen que aquestes presenten els següents punts generals:

- La major part de la pèrdua es produeix en els primers anys de vida.
- Després d'uns deu anys, la pèrdua es comença a anivellar.
- La caiguda global de l'eficiència d'una bomba sense manteniment pot estar al voltant del 10-15%.
- Una bomba sense manteniment pot fallar catastròficament després d'aproximadament 20 anys de servei.
- La introducció de sòlids, l'augment de la temperatura o de la velocitat de la bomba pot causar que aquesta es deteriori més ràpidament.

Les Figures 3.5 i 3.6 mostren l'efecte del deteriorament en el rendiment de la bomba.

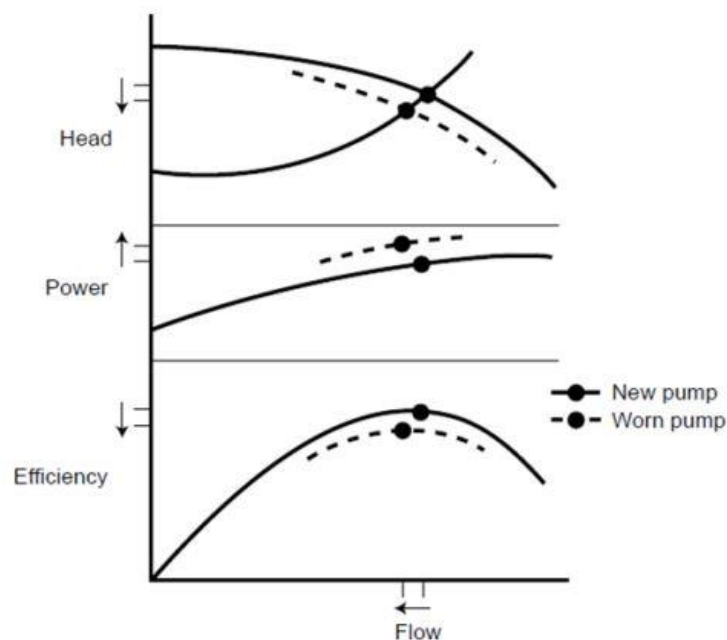


Figura 3.5: Efecte de deteriorament en les característiques de la bomba

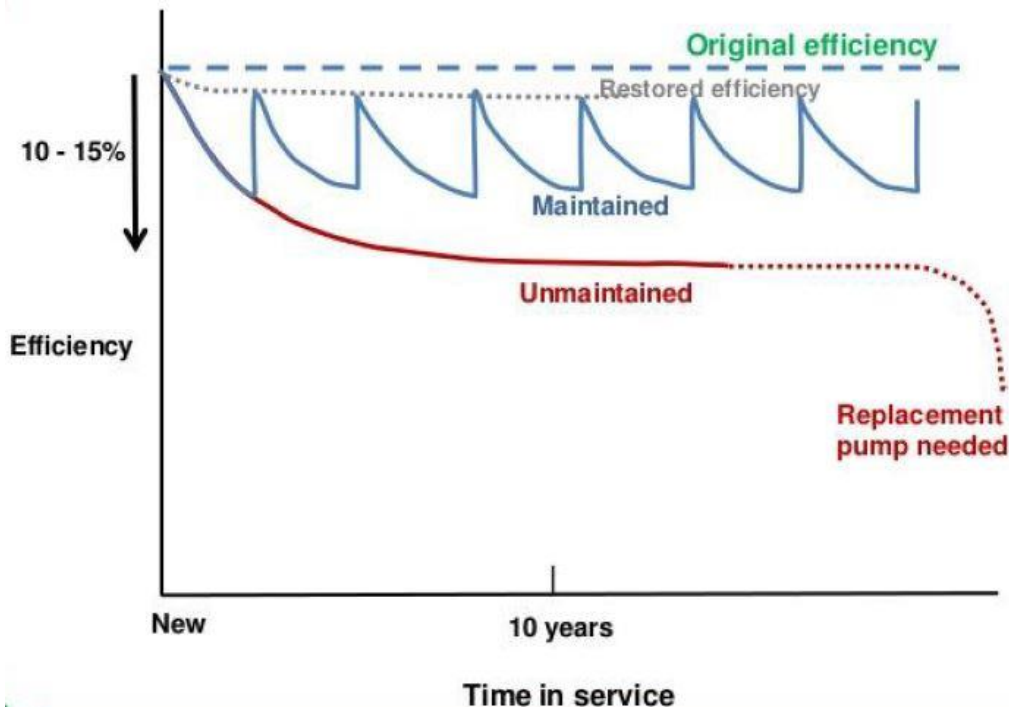


Figura 3.6: Efecte del manteniment en l'eficiència de la bomba al llarg de la seva vida útil (Schneider Electric, 2014)

Com es pot observar, la disminució del rendiment ocorre en els primers anys de funcionament i al final de la vida útil de l'actiu. Això és degut a que les bombes segueixen un model de comportament d'errors o fallades anomenat corba de la banyera.

Corba de la banyera

La corba de la banyera és un gràfic que representa els errors durant el període de vida útil d'un sistema o màquina. Es diu així perquè té la forma d'una banyera tallada al llarg.

S'hi poden apreciar tres etapes:

Errors inicials

Aquesta etapa es caracteritza per tenir una elevada taxa de fallades que davalla ràpidament amb el temps. Aquestes fallades poden ser degudes a diferents raons tals com equips defectuosos, instal·lacions incorrectes, errors de disseny de l'equip, desconeixement de l'equip per part dels operaris o desconeixement del procediment adequat.

Errors normals

Etapa amb una taxa d'errors menor i constant. Els errors no es produeixen per causes inherents a l'equip, sinó per causes aleatòries externes. Aquestes causes poden ser accidents fortuïts, mala operació, condicions inadequades o altres.

Errors de desgast

Etapa caracteritzada per una taxa d'errors ràpidament creixent. Els errors es produeixen pel desgast natural de l'equip motivat pel decurs del temps.

En un determinat moment, els costos de manteniment seran tan elevats que l'equip s'haurà de substituir.

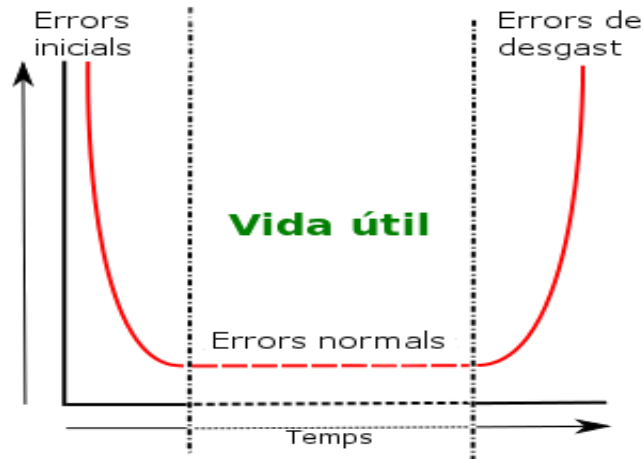


Figura 3.7: Corba de la banyera

La corba de la banyera ens serveix per estudiar la confiabilitat de l'equip i poder prendre les mesures necessàries per tal de millorar-la. Per exemple, si l'equip presenta una alta taxa de mortalitat infantil (errors inicials), es convenient sotmetre'l a un funcionament previ controlat. D'altra banda, saber quan s'inicia el desgast, permet reduir el risc de fallades mitjançant un manteniment preventiu o una substitució de components abans que es comencin a desgastar.

3.1.2 Factors que afecten al deteriorament de la bomba

Els factors que poden afectar al deteriorament de la bomba i per tan fer-ne reduir la seva eficiència es presenten a la taula següent:

Taula 3.2: Factors que afecten al deteriorament de la bomba.

FACTORS	DESCRIPCIÓ
Selecció errònia de la bomba	La bomba no es va escollir per treballar en el seu Punt Òptim de Rendiment.
Deficiències en el muntatge de la bomba	Afecten principalment a l'alineament de l'eix.
Col·lector d'aspiració mal dimensionat	El flux d'entrada ha de ser suau, sense vòrtex. Canonades estretes creen baixa pressió, i per tant fa que les bombes siguin més susceptibles a la cavitació.
Purga d'aire deficient	Tan sols un 2% d'aire en el fluid que es bomba pot afectar dramàticament l'operació d'una bomba.
Funcionament en sec	Pot produir sobreescalfaments i trencaments.
Funcionament allunyat del Punt Òptim de Rendiment	Incrementa la velocitat amb què es deterioren els segells mecànics, cèrcols de desgast i rodaments provocats al seu torn per desalineaments de l'eix.
Greix de rodaments contaminat	Ocasiona un desgast més ràpid dels rodaments

D'una manera gràfica i segons la guia per a selecció de bombes de l'Associació Europea de Fabricants de Bombes es mostra a la següent figura una corba característica on es representen els punts de treball allunyats del Punt Òptim de Rendiment i els efectes perjudicials que ocasionen.

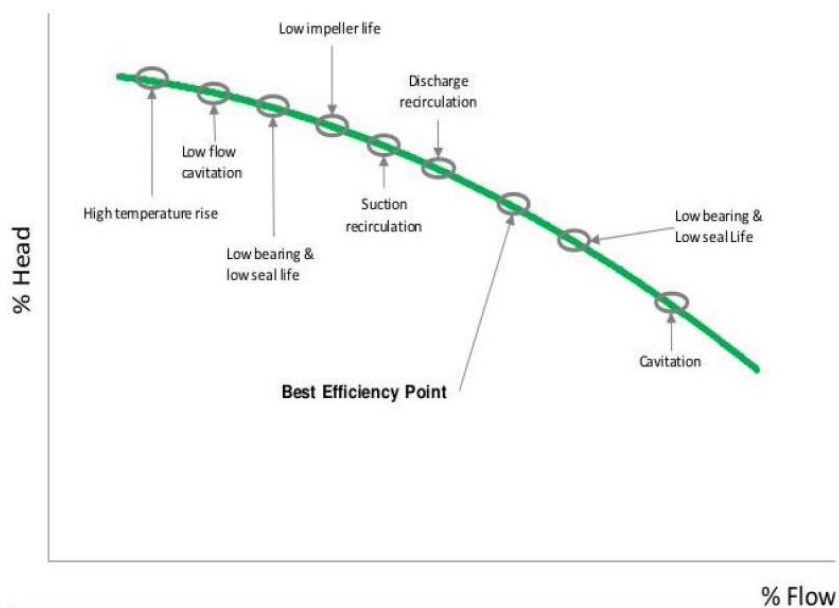


Figura 3.8: Corba característica on es representen els efectes perjudicials de treballar en punts de treball allunyats del Punt Òptim de Rendiment. (Schneider Electric, 2014)

3.1.3 Controls recomanats

Els controls periòdics i les operacions de manteniment garanteixen un funcionament més segur en el temps. La bomba ha de ser inspeccionada regularment passades les 2.000 hores de funcionament o com a mínim un cop a l'any. Les condicions de treball forçades o l'ús esporàdic de les bombes fan necessaris controls més freqüents. (Bombas Saci S.A., 2002)

Un control normal s'ha de realitzar seguint els següents punts:

Taula 3.3: Operacions de control i manteniment normalitzats (Bombas Saci S.A., 2002)

PUNT DE CONTROL	INTERVENCIÓ
Parts externes de la bomba instal·lació	Substituir les parts desgastades o deteriorades. Estrènyer tots els cargols i les femelles. Controlar que tots els tubs guia estiguin en perfecta posició vertical i que el peu estigui ben fixat.
Cos de la bomba i impulsor	Substituir les parts deteriorades. (Quan aquests dos components de la bomba estan desgastats, es verifica automàticament un descens del rendiment). El desgast de la brida del cos bomba, a causa del seu inadequat muntatge, ocasiona freqüentment també el desgast del peu d'acoblament, sent necessària la seva substitució.
Quantitat d'oli	L'oli s'ha de canviar: <ul style="list-style-type: none"> ○ Quan en realitzar una senzilla inspecció es detecta la presència d'altres líquids. ○ Durant un control general. ○ Després de 2.000 hores de funcionament o en tot cas, un cop a l'any.
Condicions de l'oli	Controlar el color de l'oli. Si hi ha una petita filtració d'aigua al tanc l'oli es mostra de color gris o blanquinós; en aquest cas, canviar-lo i controlar novament passada una setmana. Si es noten rastres evidents d'aigua o si l'oli està molt emulsionat, canviar el tancament inferior.
Entrada del cable	Si hi ha filtracions per l'entrada del cable: <ul style="list-style-type: none"> ○ Controlar el serratge dels cargols del sostenidor del cable. ○ Substituir el recobriment dels cables.
Cable d'alimentació	Substituir el cable si mostra inflaments o si el seu embolcall aïllant està danyat. Assegurar-se que els cables no estiguin estrets de manera que puguin estar subjectes a ruptura o desgast.

3.2 COST DEL CICLE DE VIDA

Com es pot observar, a diferència d'altres aparells industrials o comercials, l'eficiència de la majoria de les bombes es deteriora fins i tot en condicions normals d'ús. Així doncs, unes millors pràctiques de manteniment reduirien tant el deteriorament de l'eficiència com millorarien la fiabilitat de les bombes. Per tal de saber si surt a compte econòmicament realitzar el manteniment o pel contrari és més factible assumir les despeses energètiques, s'utilitza l'anàlisi del Cost del Cicle de Vida.

Els Cost del Cicle de Vida (en endavant LCC) és una eina que s'utilitza principalment, encara que no exclusivament, en l'etapa de disseny d'un projecte, per avaluar el cost d'un component o d'un edifici complet sobre el seu cicle de vida, i fa que l'usuari final sigui conscient del cost real de la propietat.

Es prenen en consideració:

- Costos de capital inicial
- Les despeses operacionals
- Els costos de manteniment
- Els costos de reposició

Determinar aquest cost implica seguir una metodologia que identifiqui i quantifiqui tots els components que formen l'equació d'aquest cost.

Si s'utilitza aquesta eina com a comparativa entre el possible disseny o les alternatives examinades, aquest mètode farà que es pugui obtenir la solució més rendible dins dels límits dels paràmetres disponibles.

L'equació és la següent:

$$LCC = (Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Camb + Cd)$$

Equació 3-1

On:

Cic = cost inicial, cost de compra (bomba, sistema, canonada, accessoris)

Cin = instal·lació i posada en marxa

Ce = costos energètics

Co = cost d'operació (cost del treball de supervisió normal del sistema)

Cm = cost de manteniment (peces, hores de mà d'obra)

Cs = temps d'avaría, pèrdua de producció

Camb = costos mediambientals

Cd = cost de retirada

L'anàlisi de LCC, ja sigui per noves instal·lacions o per remodelacions, requereix l'avaluació de sistemes alternatius. Per a la majoria de les instal·lacions, l'energia i/o els costos de manteniment dominaran els costos del cicle de vida. Per tant, és important determinar amb precisió el cost actual de l'energia, el preu anual d'energia esperada escalada per a la vida estimada, juntament amb el treball de manteniment esperat i els costos de material. Altres elements, com els costos provocats pels temps d'inactivitat o el de retirada de l'equip sovint poden estimar-se en base a dades històriques de la instal·lació.

A més de les raons econòmiques per a l'ús de LCC, moltes organitzacions són cada vegada més conscients de l'impacte ambiental de la seva activitat, i estan considerant l'eficiència energètica com una forma de reduir les emissions i preservar recursos naturals.

3.2.1 Cost inicial

El cost inicial fa referència al cost de compra, tant de la bomba en si com dels sistemes de control, les canonades, etc.

És important tenir-ho en compte, ja que en el cas de les canonades, com més petits siguin els diàmetres dels tubs, menor serà el cost de compra i d'instal·lació, però en contrapartida un menor diàmetre de les canonades de la instal·lació obligarà a fer servir una bomba més potent, fet que provoca un augment dels costos de funcionament. A més s'ha de considerar la qualitat de l'equip seleccionat.

Aquestes i altres opcions fan incrementar els costos inicials però reduiran el cost del cicle de vida.

El cost inicial normalment inclou els següent punts:

- Estudi tècnic (dissenys i plànols, especificacions inicials).
- Procés de licitació.
- Ordre de compra per administració.
- Proves i inspeccions.
- Inventari de peces de recanvi.
- Equips auxiliars de refrigeració i segellat.

3.2.2 Cost d'instal·lació

La instal·lació i posada en marxa inclou:

- Col·locació i ancoratge de l'equip a la solera.
- Connexió dels tubs (fontaneria / caldereria).
- Connexió de l'aparellatge elèctric i la instrumentació.
- Connexió dels sistemes auxiliars i altres accessoris.
- Prevenció anti-inundacions.
- Posada a punt i arrencada.
- Rodatge.

Els sistemes de bombeig poden ser instal·lats per un subministrador d'equips, un contractista o personal propi. Aquesta decisió depèn de diversos factors, incloent els mètodes, eines i equips necessaris per realitzar la instal·lació; els requeriments del procés contractual, les normes reguladores de la construcció i la disponibilitat de personal instal·lador competent. El personal de la planta o de l'empresa constructora s'han de coordinar sota la supervisió del subministrador. Les instruccions d'instal·lació hauran de ser seguides amb rigorosa precaució.

La instrucció del personal que operarà en la instal·lació és un element primordial en el bon funcionament de la planta i l'obtenció d'un rendiment òptim.

3.2.3 Cost energètic

Els sistemes de bombament representen gairebé el 20% de la demanda d'energia elèctrica del món i representen del 25 al 50% de l'ús d'energia en certes operacions d'una planta industrial. (Hydraulic Institute, Europump, & U.S. Department of Energy)

El consum energètic és sovint el cost més elevat en el cicle del cost de vida, principalment en bombes que treballen més de 2000 hores a l'any (un any té 8760 h). El consum energètic es calcula primer recopilant el model de funcionament del sistema.

La fórmula de càlcul de potència d'entrada és:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot s \cdot g}{366 \cdot \eta_b \cdot \eta_m} \quad \text{Equació 3-2}$$

On:

P = Potència (kW)

Q = Cabal (m³/h)

H = Alçada (m)

η_b = Eficiència de la bomba

η_m = Eficiència del motor

s.g. = Gravetat específica

Un cop calculades les necessitats energètiques, es podrà aplicar el preu de l'energia al total de kWh calculats per a cada període de treball. Per finalitzar aquest apartat, l'energia i els costos de consum de material per a serveis auxiliars també han de ser inclosos. Aquests costos poden provenir, per exemple, de circuits de refrigeració o de calefacció.

3.2.4 Cost d'operació

Els costos d'operació o funcionament són costos afins a l'operació del sistema de bombeig. Aquests varien àmpliament depenent de les característiques de cada sistema. Per exemple, el bombeig d'un líquid perillós farà necessaris controls diaris per seguir les possibles emissions perilloses, el seguiment en l'operació, i l'execució fora dels paràmetres tolerats. D'altra banda, un sistema no perillós absolutament automatitzat requerirà una supervisió més superficial. L'observació periòdica del procés de funcionament podrà posar en avís als operaris sobre les possibles pèrdues en la correcta execució del sistema. Els indicadors del correcte funcionament inclou: canvis en la vibració de l'equip, símptomes de sobreesforços, temperatura, soroll, consum energètic, proporció de cabal i pressió.

3.2.5 Cost de manteniment

L'obtenció d'una vida de treball òptima d'una bomba requereix d'un servei regular i eficient de manteniment. El fabricant ha d'informar a l'usuari sobre la freqüència i la magnitud d'aquest manteniment de rutina. El cost depèn del temps i la freqüència del servei i del cost dels materials. El disseny pot influir en aquests costos a través dels materials de construcció, els components escollits i la facilitat d'accés a les parts que han de ser ateses.

El programa de manteniment pot requerir des d'una reparació inusual però important fins al més freqüent i simple servei.

El cost total de manteniment es pot obtenir multiplicant els costos de cada intervenció pel nombre d'intervencions que s'espera efectuar durant el cicle de vida de la bomba.

Tot i que els errors inesperats no es poden predir amb precisió, aquests es poden estimar estadísticament mitjançant el càlcul de temps entre fallades MTBF (Mean Time Between

Failures). Es pot estimar per a components i llavors combinar per donar un valor concret per a l'equip complet.

3.2.6 Cost de pèrdua de producció i temps d'inactivitat

El cost de pèrdua de producció i el temps d'inactivitat en la producció pot ser un valor molt rellevant en el LCC i pot competir amb els costos energètics i els costos de manteniment degut als efectes que causa.

Malgrat el disseny o l'esperança de vida d'una bomba i dels seus components, hi haurà ocasions en que apareixerà una fallada inesperada, i per a aquells casos en que el cost de les pèrdues en la producció és alt, caldria instal·lar una bomba de recanvi en paral·lel per reduir el risc. Si es disposa d'aquesta bomba de recanvi el cost inicial seria més gran però es reduiria el cost de pèrdua de producció i temps d'inactivitat.

El cost de pèrdua de producció depèn del temps de parada i varia depenent de cada cas.

3.2.7 Cost mediambiental

El cost de l'acció contaminant durant la vida del sistema de bombeig varia significativament depenent de la naturalesa del producte bombat.

Exemples de contaminació ambiental poden ser el líquid refrigerant, elements antideflagrants, lubricants o parts usades contaminades.

Els costos d'inspeccions ambientals també s'han d'incloure.

3.2.8 Cost de retirada

En l'àmplia majoria dels casos, el cost de retirada d'un sistema de bombeig variarà poc en funció dels diferents dissenys. Això és cert per a líquids no nocius, i en la majoria dels casos per a líquids perillosos també. S'ha de tenir en compte que per a elements tòxics, radioactius, o d'altres elements líquids perillosos implicarà impostos legals, els quals seran els mateixos per a gairebé tots els sistemes.

3.3 CAS D'ESTUDI

El cas d'estudi està constituït per una bomba centrífuga d'aigües residuals de depuradora. La bomba escollida és una bomba centrífuga d'impulsor monocanal de capacitat mitjana (M 150-4 C. 290) de l'empresa Saci Pumps. Aquesta està dissenyada per al bombeig d'aigües residuals que continguin sòlids en suspensió o per a fangs biològics.

Les seves característiques són (Bombas Saci S.A., 2002):

- Potència: 50 CV
- Velocitat: 1450 rpm
- Cabal: 450 m³/h
- Temperatura màxima del líquid a bombejar: + 40 ° C
- Profunditat màxima d'immersió: 20 m
- PH del líquid a bombar: 6 – 11
- Densitat del líquid: no superior a 1100 kg/m
- Hores de funcionament: 2000 h/any
- Preu: 19.511,00 €

Per a aquest equipament es proposen diferents estratègies per tal de valorar com evoluciona l'operativitat tècnica i econòmica sobre la base dels costos generats emprant dues estratègies diferents.

Estratègia 1: Es basa en la no realització de tasques de manteniment.

Estratègia 2: Es realitzen tasques de manteniment.

Per ambdues estratègies s'han estimat:

- Variacions del rendiment o eficiència de la bomba.
- Variacions en el preu de l'energia.
- Diferents períodes de cicle de vida.

Sobre el cas d'estudi s'han avaluat variacions del 10 i el 30% del rendiment inicial de la bomba. Per a un rendiment del 90% i del 70% s'han suposat preus de l'energia de 0'10, 0'14 i 0'18 €/kWh per tal d'analitzar com afecta aquesta variació al cost global, ja que s'assumeix que el cost del diner no varia al llarg dels anys. Cadascun d'aquests supòsits s'ha valorat per a cicles de vida de 15, 20 i 22 anys.

3.3.1 Funcions matemàtiques

Per a l'estratègia 1 s'ha ajustat la corba de disminució de l'eficiència sense manteniment de la Figura 3.6 a una funció. Atès que no es coneix cap llei teòrica, es defineix a trams i amb les expressions més senzilles (polinomis) sempre i quan verifiquin les propietats que mostra la gràfica, és a dir:

1r tram: Funció decreixent i còncava fins a $t=8$. S'escull un polinomi de grau 2.

2n tram: Funció de tipus constant.

3r tram: Funció decreixent, convexa i derivada més negativa que la del primer tram. S'ajusta a un polinomi de grau 3.

Així doncs per a una disminució inicial del rendiment del 10% la gràfica segueix les següents funcions:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{5}{32}x^2 - \frac{5}{2}x + 100, & 0 \leq x \leq 8 \\ 90, & 8 < x < 20 \\ 4(20 - x)^3 + 90, & 20 \leq x \leq 22.82 \end{cases} \quad \text{Funció 3.1}$$

Si es representa, obtenim un gràfic amb una forma similar a la de la Figura 3.6.

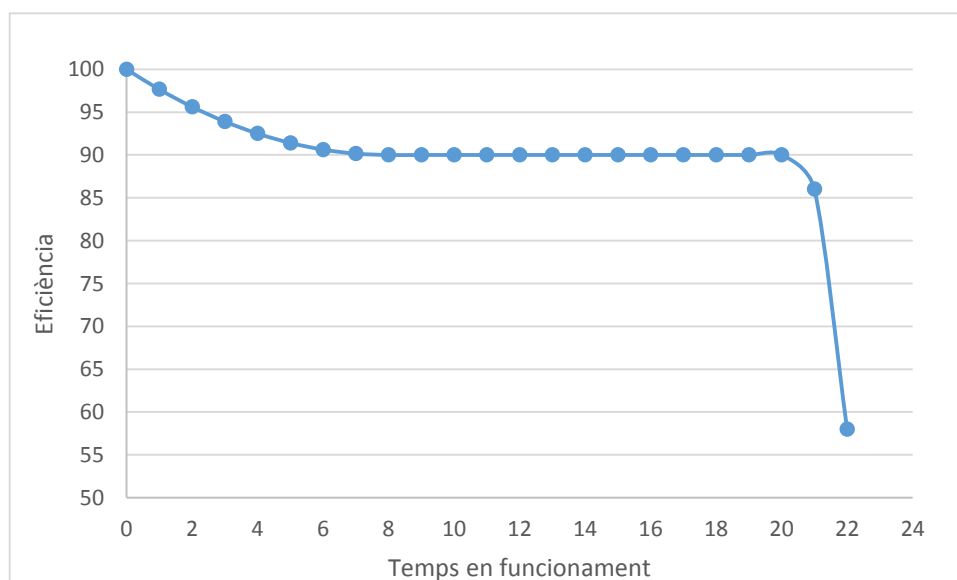


Figura 3.9: Disminució inicial del 10% de l'eficiència de la bomba.

Com es pot observar hi ha una disminució del 10% de l'eficiència de la bomba en els primers 8 anys i després es manté constant al 90% de rendiment fins que a partir d'un temps de funcionament de 20 anys l'eficiència baixa més dràsticament fins gairebé la meitat del rendiment original.

En el cas que l'eficiència es redueixi fins al 30% la gràfica segueix les següents funcions:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{15}{32}x^2 - \frac{15}{2}x + 100, & 0 \leq x \leq 8 \\ 70, & 8 < x < 20 \\ 4(20 - x)^3 + 70, & 20 \leq x \leq 22.82 \end{cases} \quad \text{Funció 3.2}$$

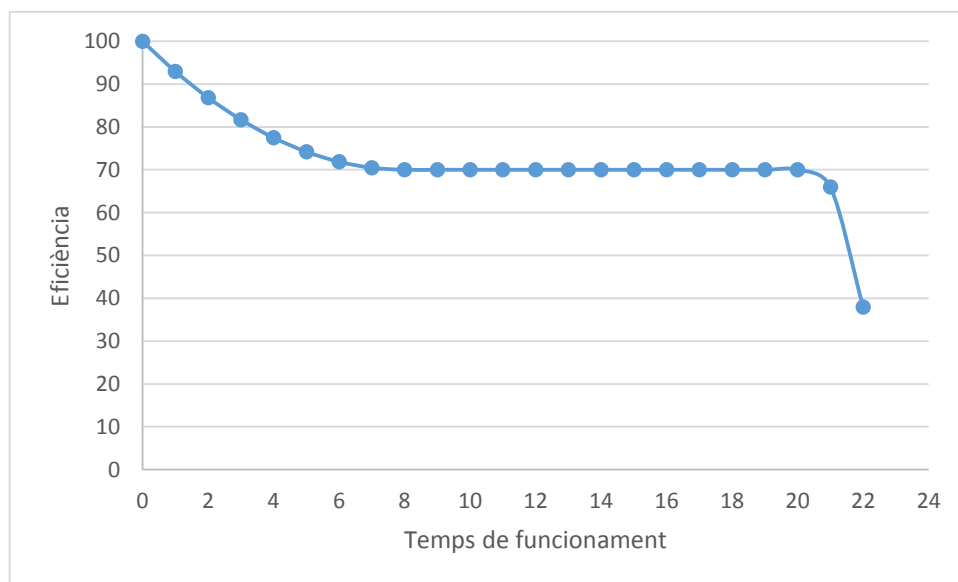


Figura 3.10: Disminució inicial del 30% de l'eficiència de la bomba.

A la Figura 3.10 s'observa que la funció inicialment decreix de manera més significativa que a la Figura 3.9, ja que per a un mateix període de temps (8 anys) el rendiment es veu reduït en un 30%. Pel que fa al segon tram, aquest es manté constant però aquest cop a un valor de l'eficiència del 70%. Finalment, en l'últim tram l'eficiència cau en picat en menys de tres anys fins a un valor del 38%.

Per a l'estratègia 2, s'ha ajustat de la Figura 3.6 la corba de disminució i recuperació de l'eficiència duent a terme tasques de manteniment. Tal i com es pot observar a la figura mencionada, l'eficiència decreix seguint l'equació del tram 1 i es recupera fins al punt de restauració de l'eficiència. Així doncs $f(x)$ és una funció periòdica.

Per tal d'estudiar l'efecte del manteniment s'estableixen dues temporitzacions, una amb un període de 2 anys i l'altra de 3.

Per a una disminució de l'eficiència fins al 90% la corba seguiria les Funcions 3.3 i 3.4 segons el període. En ambdós casos la variació del rendiment és relativament petita, ja que l'eficiència es reduiria tant sols fins al 95,63% o al 93,91% i es restauraria a un valor del 97,66 % (corresponent a l'any 1) cada dos o tres anys.

$$\frac{5}{32}x^2 - \frac{5}{2}x + 100, \quad 1 \leq x \leq 2 \quad \text{Funció 3.3}$$

$$\frac{5}{32}x^2 - \frac{5}{2}x + 100, \quad 1 \leq x \leq 3 \quad \text{Funció 3.4}$$

Pel que fa a la disminució de l'eficiència fins al 70%, aquesta es restaura fins a un valor del 92,77% (corresponent a l'any 1) i decreix fins a uns valors de 86,88% i 81,72% cada dos o tres anys seguint les següents funcions:

$$\frac{15}{32}x^2 - \frac{15}{2}x + 100, \quad 1 \leq x \leq 2 \quad \text{Funció 3.5}$$

$$\frac{15}{32}x^2 - \frac{15}{2}x + 100, \quad 1 \leq x \leq 3 \quad \text{Funció 3.6}$$

4 RESULTATS

Els resultats obtinguts pel cas d'estudi es detallen a continuació per a cadascun dels supòsits.

4.1 APLICACIÓ DE L'ESTRATÈGIA 1

Com s'ha comentat a l'apartat 3.3, l'estratègia 1 consisteix en la no realització de manteniment. Per aquest supòsit s'han efectuat els càlculs del cost del cicle de vida de la bomba depenent de si el rendiment és redueix fins al 90% o al 70%, per a tres preus de l'energia (0'10, 0'14 i 0'18 €/kWh) i per a cicles de vida de 15, 20 i 22 anys.

4.1.1 Rendiment 90%

Taula 4.1: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 1 en funció del preu de l'energia i els anys del cicle de vida per a un rendiment del 90%.

		PREU ENERGIA €/kWh		
		0,10	0,14	0,18
ANYS CICLE DE VIDA	15	179.160,00 €	216.541,99 €	253.923,99 €
	20	221.837,17 €	271.873,76 €	321.910,34 €
	22	242.693,25 €	299.305,76 €	355.918,27 €

Com es pot observar a la Taula 4.1 la variació del preu de l'energia és un factor important a l'hora de calcular el cost del cicle de vida. D'igual manera passa amb els anys que es considera que dura la vida útil de l'actiu, ja que segons la Figura 3.6 l'eficiència dels primers 15 anys és constant, excepte per la davallada inicial, i en canvi a partir dels 20 anys aquest rendiment disminueix, fent augmentar la despesa energètica de l'actiu.

A continuació es presenten les gràfiques de distribució dels costos dels cicle de vida per a cadascun dels diferents costos segons el preu de l'energia i els anys de cicle de vida considerats.

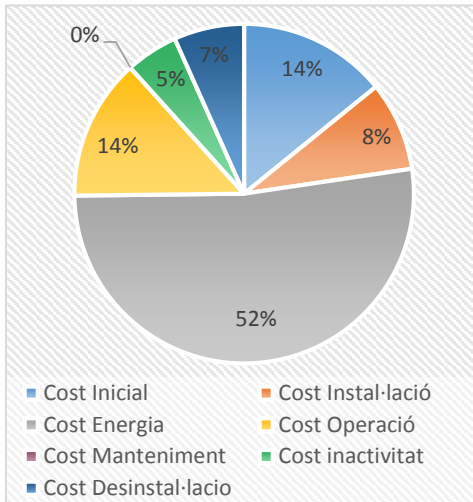


Figura 4.2: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

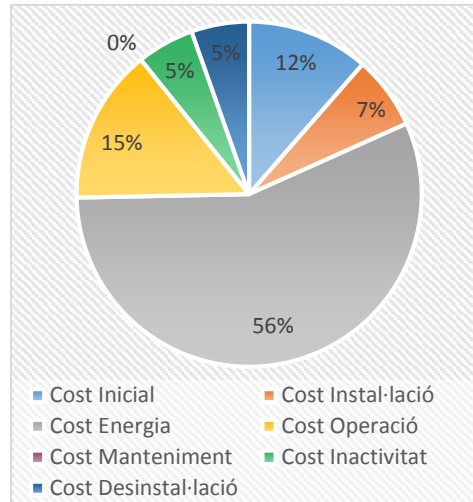


Figura 4.1: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

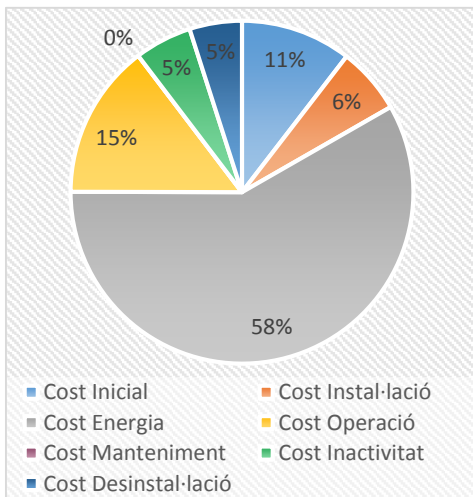


Figura 4.4: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

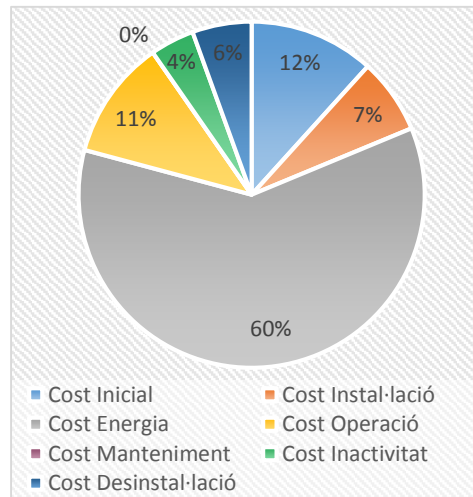


Figura 4.3: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

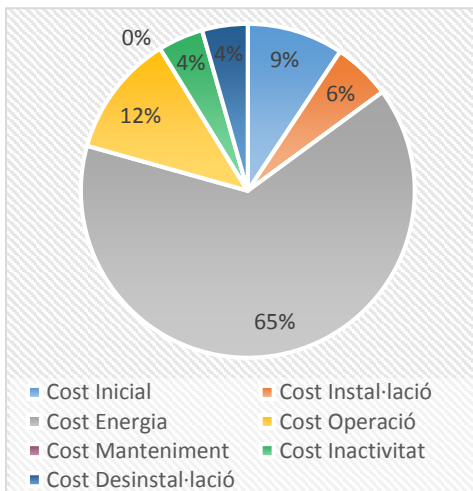


Figura 4.6: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

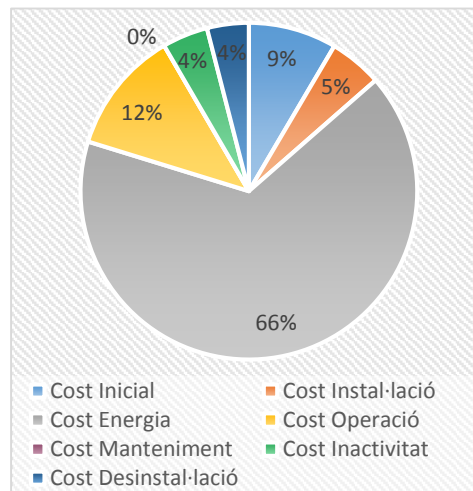


Figura 4.5: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

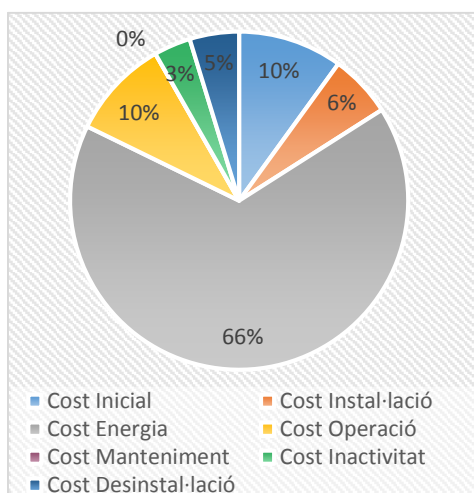


Figura 4.8: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

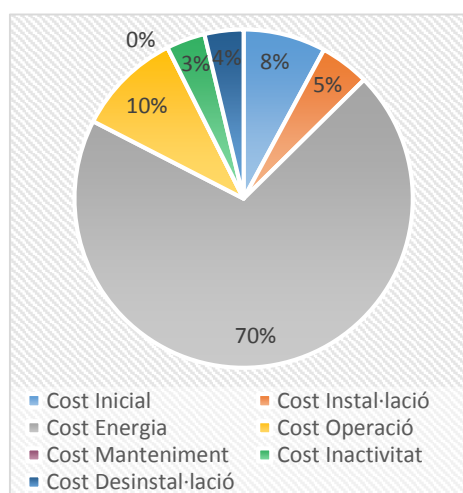


Figura 4.7: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

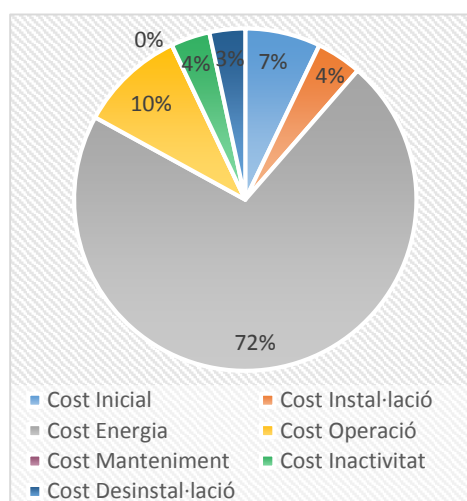


Figura 4.9: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

Tal i com es veu a les gràfiques, tenint en compte que no es realitza manteniment i que per tant el seu cost equival a un 0% del total, el percentatge més elevat en la distribució dels costos del cicle de vida per qualsevol preu i anys de cicle de vida és el que correspon al cost energètic. També se'n pot extreure, tal com s'ha dit anteriorment, que el fet d'augmentar el nombre d'anys de cicle de vida a considerar fa augmentar el percentatge del cost de l'energia degut a la disminució de l'eficiència.

4.1.2 Rendiment 70%

En la taula següent, per a una disminució de l'eficiència al 70%, es presenten els costos totals associats al cicle de vida de la bomba.

Taula 4.2: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 1 en funció del preu de l'energia i els anys del cicle de vida per a un rendiment del 70%.

		PREU ENERGIA €/kWh		
		0,10	0,14	0,18
ANYS CICLE DE VIDA	15	201.458,71€	247.760,20 €	294.061,69 €
	20	253.174,88 €	315.746,55 €	378.318,22 €
	22	281.204,98 €	353.222,18 €	425.239,38 €

Comparant la taula anterior amb la Taula 4.1 s'observa que els costos són més elevats en aquests cas degut a una disminució més accentuada del rendiment, fet que com ja s'ha comentat fa augmentar la potencia necessària.

D'igual manera que en l'apartat 4.1.1 a continuació es presenten les figures corresponents a la distribució dels costos per tal de poder-les comparar.

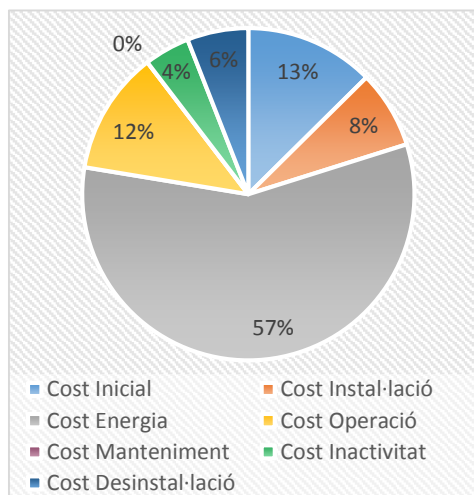


Figura 4.11: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

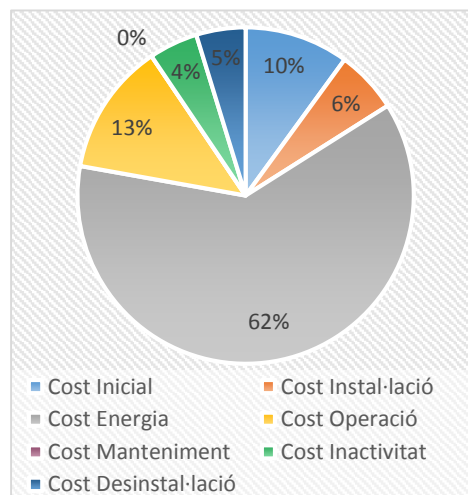


Figura 4.10: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

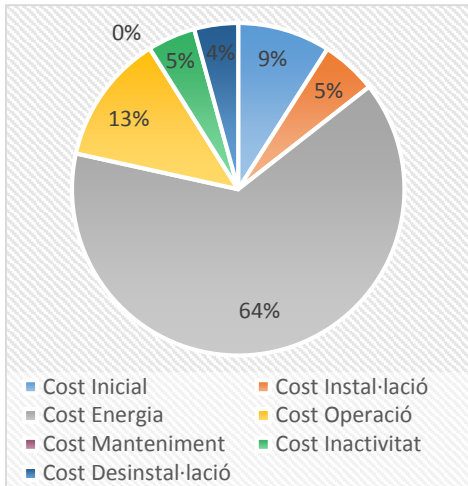


Figura 4.13: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

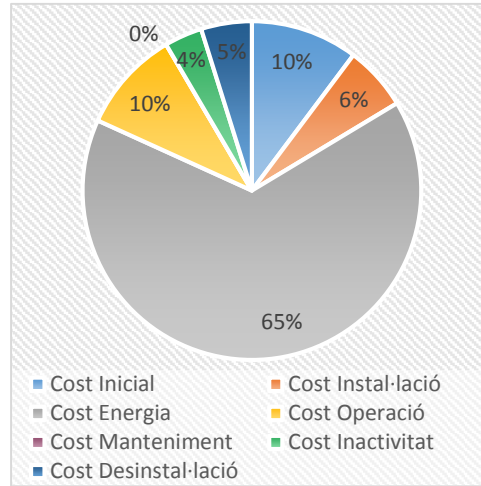


Figura 4.12: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

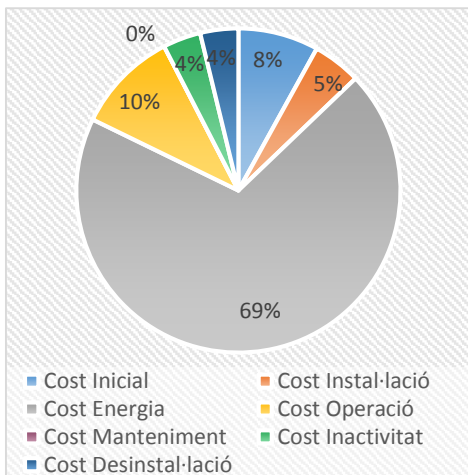


Figura 4.15: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

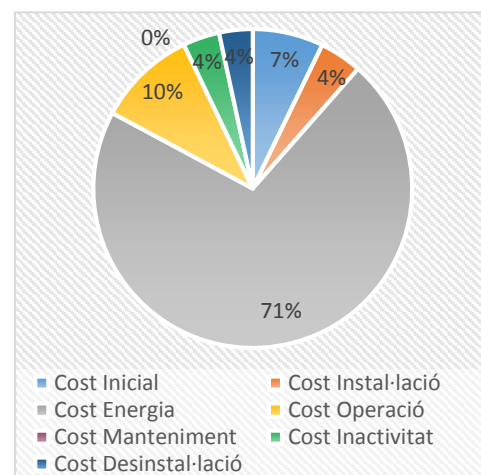


Figura 4.14: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

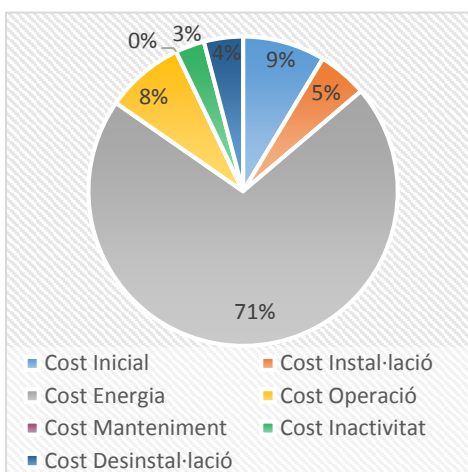


Figura 4.17: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

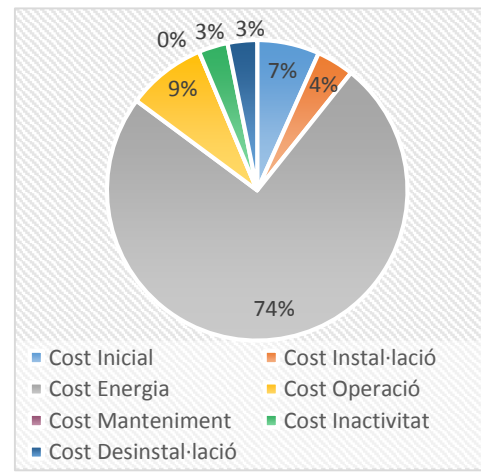


Figura 4.16: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

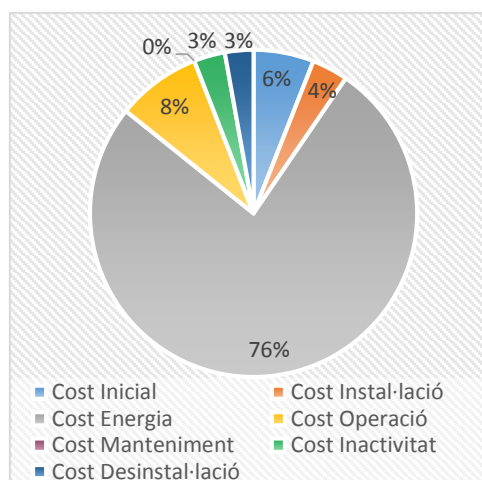


Figura 4.18: Distribució de costos per a l'estratègia 1 amb rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 22 anys.

Tal i com s'ha comentat, en les figures es pot observar que els percentatges corresponents al cost energètic en les condicions d'eficiència al 70% són majors que per al cas de no realitzar manteniment però que el rendiment es mantingui al 90%.

4.2 APLICACIÓ DE L'ESTRATÈGIA 2

L'estratègia 2 consisteix en la realització de manteniment, per tant, en els càlculs del cost del cicle de vida de la bomba, aquest també s'hi veurà reflectit. Així doncs, es suposaran diferents costos de manteniment, establint que cada any que es fa manteniment representa un percentatge del cost inicial de la bomba i per tant en funció dels anys del cicle de vida el cost de manteniment prendrà un valor global diferent. Tot això es realitza per a períodes de 2 o 3 anys, amb una disminució del 10 i el 30% del rendiment inicial de la bomba, per als tres preus de l'energia (0'10, 0'14 i 0'18 €/kWh) i per a cicles de vida de 15 i 20 anys.

Per a un rendiment del 90% només s'estudiarà per a un període de 2 anys, ja que com s'ha comentat anteriorment la variació del rendiment és relativament petita i fa variar poc el cost global.

Com s'ha dit a l'apartat 3.3, s'aplicarà l'estratègia 2 als tres preus de l'energia, ja que es considera que el cost del diner és constant .

En aquests cas no s'estudiarà el cost per a cicles de vida de 22 anys perquè tot i que si es realitza manteniment s'allarga la vida de l'actiu, a partir dels 20 anys de vida els equips comencen a fallar independent del manteniment que es realitzi.

4.2.1 Manteniment cada 2 anys

A continuació es presenten els costos totals associats al cicle de vida de la bomba si es realitza manteniment cada dos anys per a una disminució de l'eficiència fins al 90 o el 70%.

Rendiment 90%

En la taula següent es presenten els costos del cicle de vida de la bomba incloent el cost del manteniment. Aquest com s'ha dit anteriorment, està expressat com un percentatge respecte el cost inicial de la bomba per cada cop que es du a terme el manteniment. Per exemple, en el cas que el percentatge respecte el cost inicial sigui un 1% cada cop que es realitza manteniment, i es calculi sobre un cicle de vida de 20 anys, en total s'hauran realitzat 10 manteniments on cadascun costa aquest 1% i per tant, en total el cost del manteniment és en realitat un 10% del cost inicial de la bomba.

Preu energia 0,10 €/kWh

Taula 4.3: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 90% i un preu de l'energia de 0,10 €/kWh.

	ANYS CICLE DE VIDA		
	15 anys	20 anys	
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	174.040,57 €	214.609,04 €
	1	175.942,89 €	217.145,47 €
	2	177.845,21 €	219.681,90 €
	3	179.747,53 €	222.218,33 €

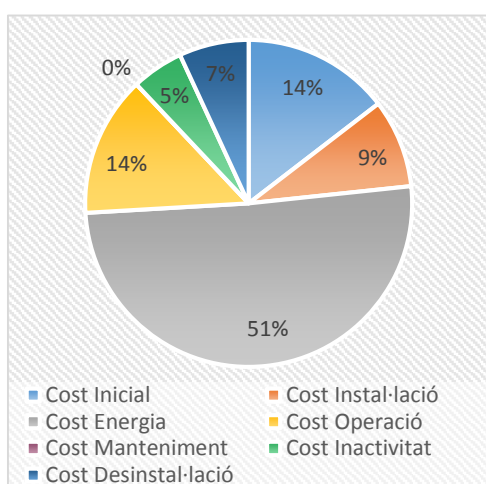


Figura 4.20: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

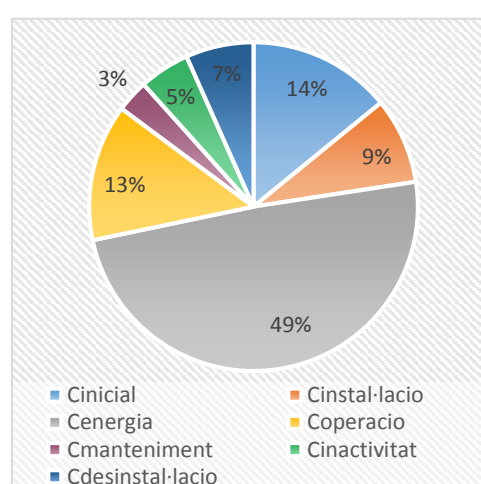


Figura 4.19: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 3% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

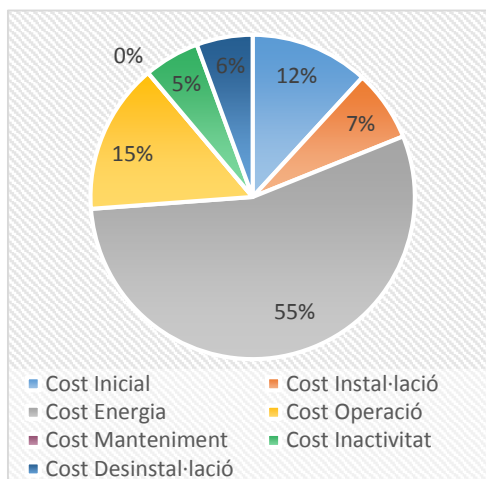


Figura 4.22: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

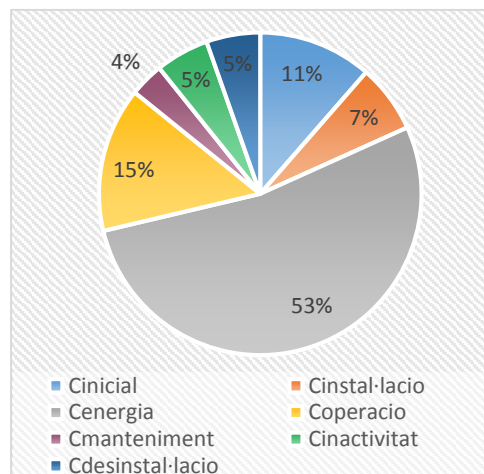


Figura 4.21: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 3% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

Com es pot veure a les Figures 4.20 i 4.21 s'ha suposat que el cost del manteniment és nul però que aquest sí que es realitza. Això s'utilitzarà per tal de comparar la diferència del cost energètic que suposa el fet de dur a terme manteniment.

Preu energia 0,14 €/kWh

Si es compara la Taula 4.3 amb la Taula 4.4, es pot observar que l'augment del preu de l'energia en aquest cas ens fa variar el cost global entre 35.000 i 45.000 € en funció dels anys del cicle de vida que s'utilitzin per fer el càlcul.

Taula 4.4: Cost del cicle de vida de la bomba per l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 90% i un preu de l'energia de 0,14 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	209.374,79 €	261.754,37 €
	1	211.277,12 €	264.290,80 €
	2	213.179,44 €	266.827,23 €
	3	215.081,76 €	269.363,66 €
	4	216.984,08 €	271.900,09 €

A continuació es presenten les gràfiques de distribució dels costos dels cicle de vida per diferents percentatges de cada manteniment.

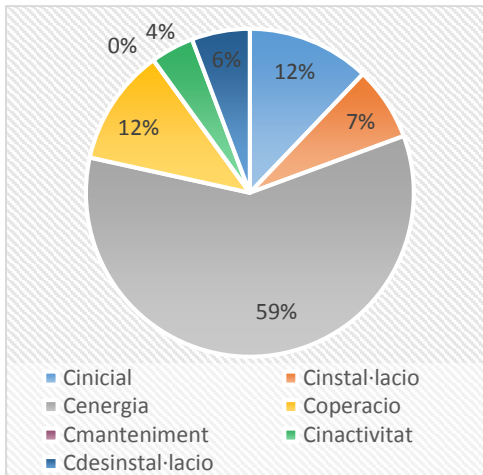


Figura 4.24: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

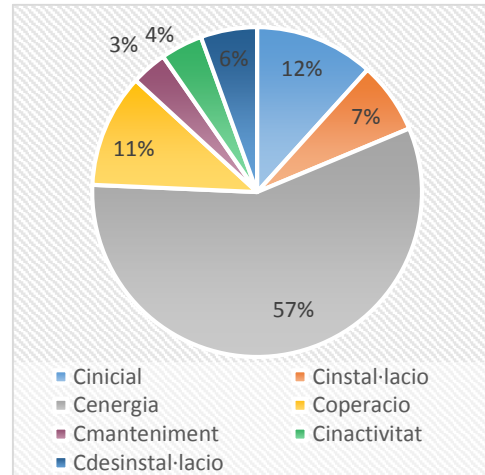


Figura 4.23: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 4% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

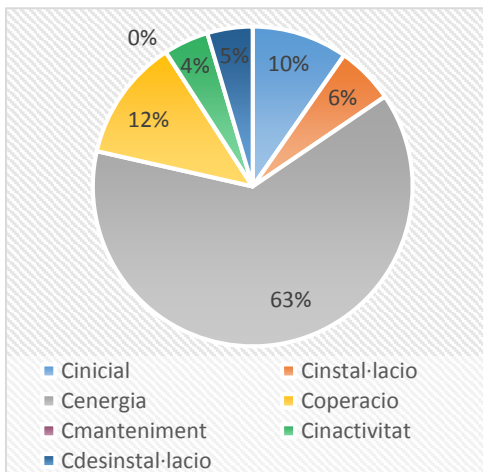


Figura 4.26: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

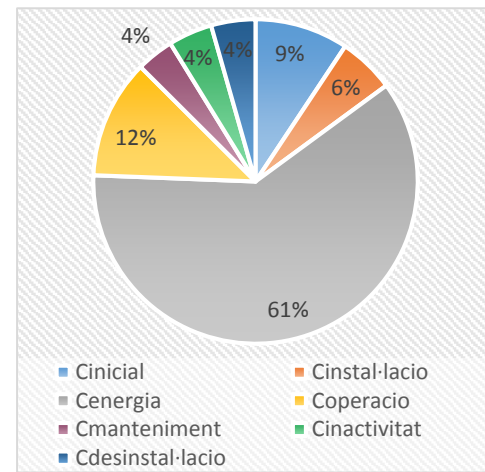


Figura 4.25: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 4% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

Preu energia 0,18 €/kWh

A continuació es presenten els cost global del cicle de vida de la bomba per un preu de l'energia de 0,18 €/kWh. En aquest cas es pot arribar a invertir fins a un 5 o un 6% del cost inicial de la bomba en cada manteniment abans no s'arribi a un cost igual al que es tindria si no es realitzes aquest manteniment.

Taula 4.5: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 90% i un preu de l'energia de 0,18 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	244.709,02 €	308.899,71 €
	1	246.611,34 €	311.436,14 €
	2	248.513,67 €	313.972,57 €
	3	250.415,99 €	316.509,00 €
	4	252.318,31 €	319.045,43 €
	5	254.220,63 €	321.581,86 €
	6		324.118,29 €

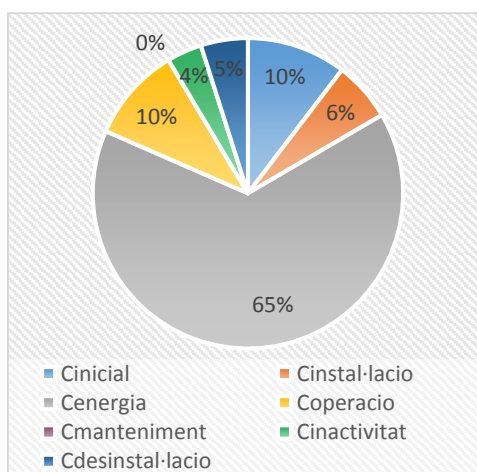


Figura 4.28: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

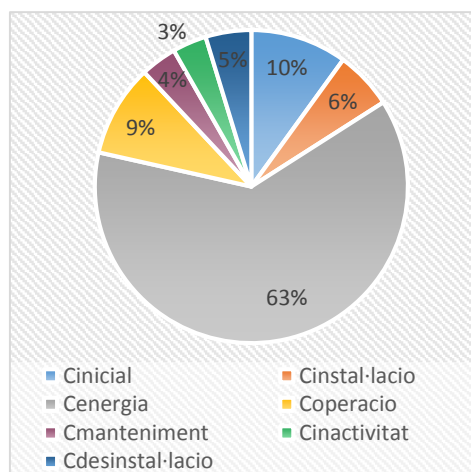


Figura 4.27: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 5% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

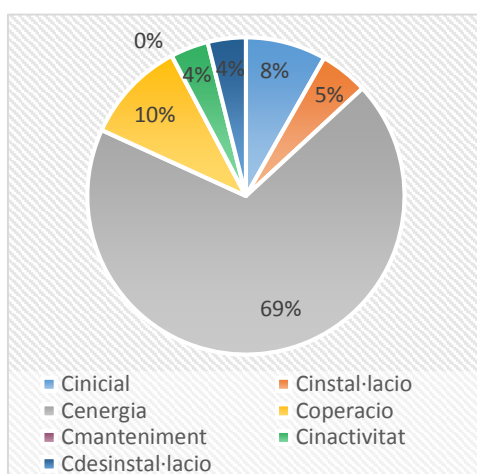


Figura 4.30: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

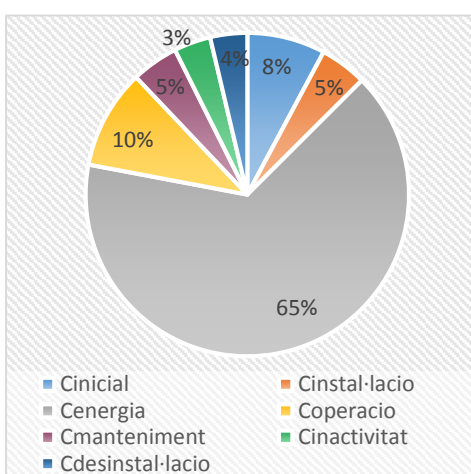


Figura 4.29: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 6% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 90%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

Rendiment 70%**Preu energia 0,10 €/kWh**

A la Taula 4.6 es presenten els costos del cicle de vida de la bomba. En aquest cas s'ha calculat fins a un 13% del cost inicial per a cada manteniment, equivalent a un 97,5% del cost inicial per tot el manteniment al llarg del cicle de vida. S'estableix aquest valor a partir del qual el cost total del cicle de vida amb manteniment supera el cost sense manteniment.

Taula 4.6: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,10 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	180.591,22 €	223.547,10 €
	1	182.493,54 €	226.083,53 €
	2	184.395,86 €	228.619,96 €
	3	186.298,19 €	231.156,39 €
	4	188.200,51 €	233.692,82 €
	5	190.102,83 €	236.229,25 €
	6	192.005,15 €	238.765,68 €
	7	193.907,48 €	241.302,11 €
	8	195.809,80 €	243.838,54 €
	9	197.712,12 €	246.374,97 €
	10	199.614,44 €	248.911,40 €
	11	201.516,77 €	251.447,83 €
	12	203.419,09 €	253.984,26 €
	13	205.321,41 €	256.520,69 €

A continuació es presenten algunes de les figures corresponents a la distribució dels costos del cicle de vida per a la Taula 4.6.

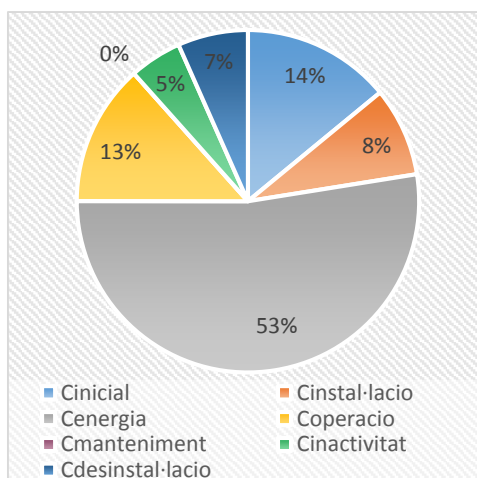


Figura 4.32: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

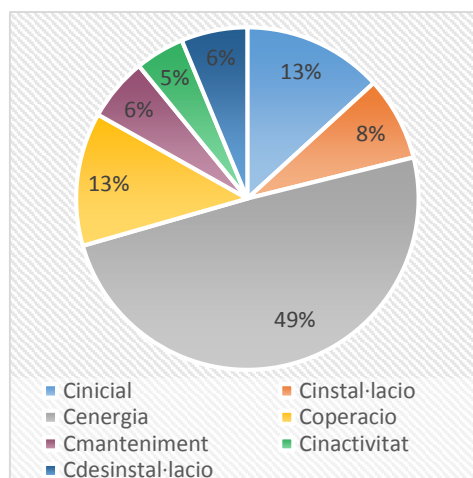


Figura 4.31: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 6% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

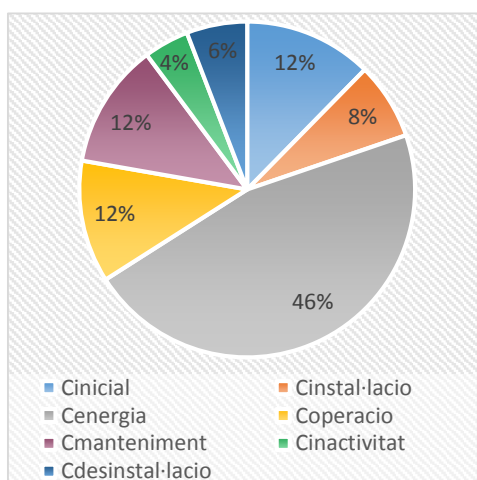


Figura 4.34: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 13% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

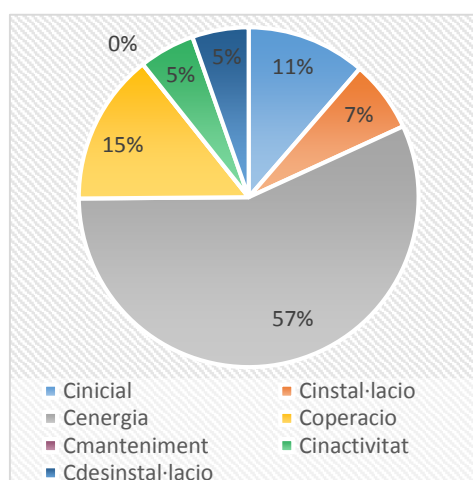


Figura 4.33: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

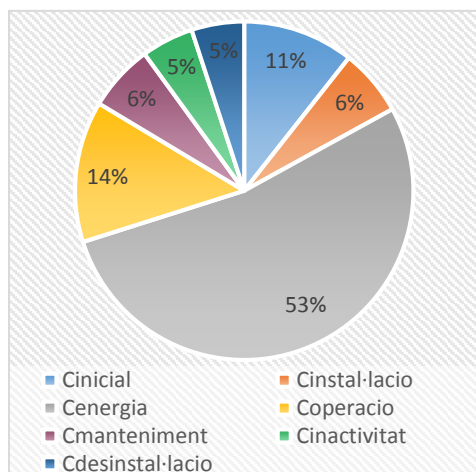


Figura 4.36: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 6% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

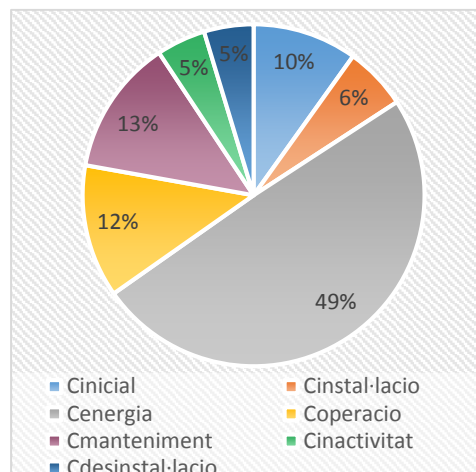


Figura 4.35: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 13% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

Es pot apreciar que deixant de banda el cost d'operació, segons el percentatge que representa el manteniment, aquest pot arribar a ser un dels costos principals a part del cost energètic.

Preu energia 0,14 €/kWh

Com es pot observar a la Taula 4.7 la variació del preu de l'energia és un factor important a l'hora de determinar quin cost es pot assumir per tal de dur a terme el manteniment. Si es mantenen les condicions de l'apartat anterior excepte el preu de l'energia, en aquest cas es pot arribar a invertir fins a un 17% del cost inicial de la bomba en cada manteniment abans no s'arribi a un cost igual al que es tindria si no es realitzes aquest manteniment.

A continuació es presenten les gràfiques de distribució dels costos dels cicle de vida per diferents percentatges de cada manteniment.

Taula 4.7: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,14 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	218.545,71 €	274.267,66 €
	1	220.448,03 €	276.804,09 €
	2	222.350,35 €	279.340,52 €
	3	224.252,68 €	281.876,95 €
	4	226.155,00 €	284.413,38 €
	5	228.057,32 €	286.949,81 €
	6	229.959,64 €	289.486,24 €
	7	231.861,97 €	292.022,67 €
	8	233.764,29 €	294.559,10 €
	9	235.666,61 €	297.095,53 €
	10	237.568,93 €	299.631,96 €
	11	239.471,26 €	302.168,39 €
	12	241.373,58 €	304.704,82 €
	13	243.275,90 €	307.241,25 €
	14	245.178,22 €	309.777,68 €
	15	247.080,55 €	312.314,11 €
	16	248.982,87 €	314.850,54 €
	17	250.885,19 €	317.386,97 €

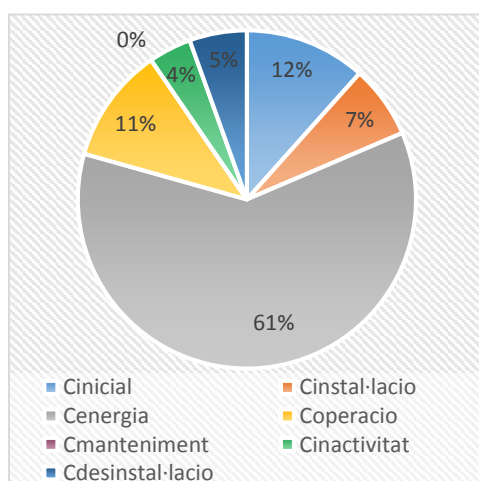


Figura 4.38: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

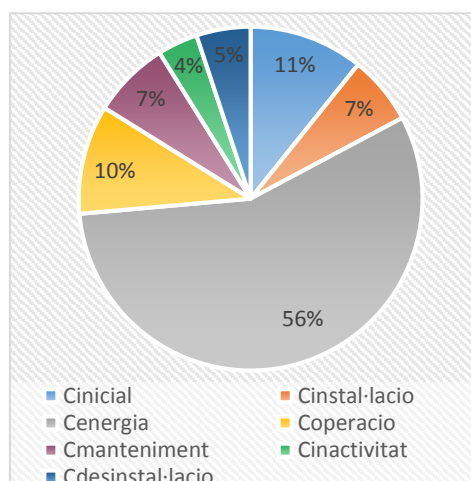


Figura 4.37: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 9% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

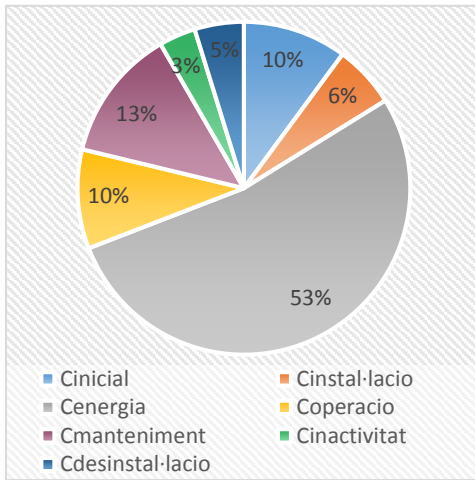


Figura 4.40: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 17% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

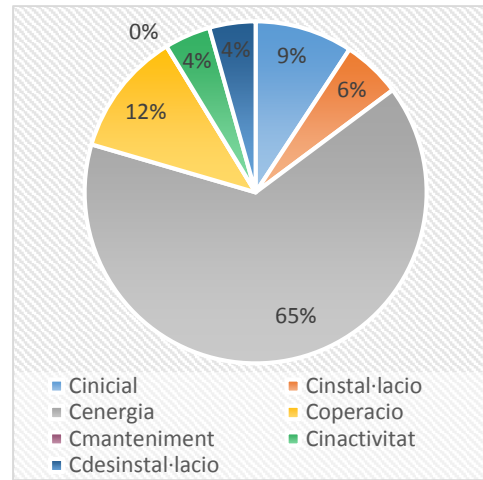


Figura 4.39: Distribució de costos per a l'estratègia amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

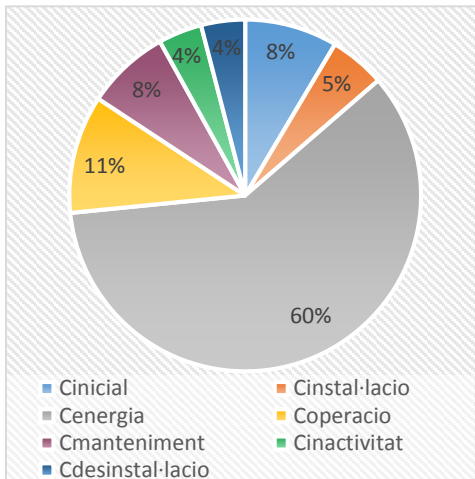


Figura 4.42: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 9% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

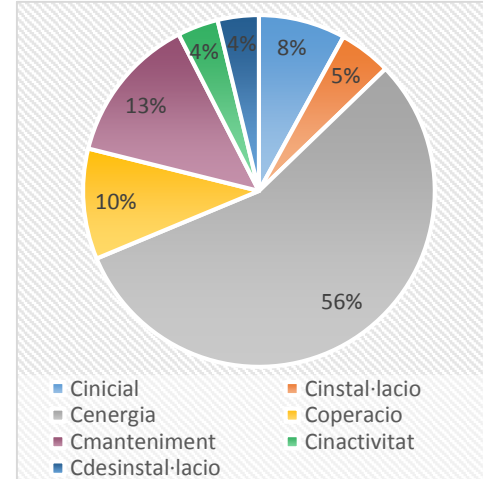


Figura 4.41: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 17% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

Preu energia 0,18 €/kWh

A la Taula 4.8 igual com a la Taula 4.7, s'observa que la variació del preu de l'energia fa variar el percentatge del cost inicial de la bomba que es pot destinar per a realitzar cada manteniment. En aquest cas, es pot arribar a gastar una quantitat equivalent al 22% del cost inicial en cada manteniment per equiparar el cost total del cicle de vida que s'obté sense manteniment.

Taula 4.8: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 2 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,18 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	256.500,20 €	324.988,22 €
	1	258.402,52 €	327.524,65 €
	2	260.304,84 €	330.061,08 €
	3	262.207,17 €	332.597,51 €
	4	264.109,49 €	335.133,94 €
	5	266.011,81 €	337.670,37 €
	6	267.914,13 €	340.206,80 €
	7	269.816,46 €	342.743,23 €
	8	271.718,78 €	345.279,66 €
	9	273.621,10 €	347.816,09 €
	10	275.523,42 €	350.352,52 €
	11	277.425,75 €	352.888,95 €
	12	279.328,07 €	355.425,38 €
	13	281.230,39 €	357.961,81 €
	14	283.132,71 €	360.498,24 €
	15	285.035,04 €	363.034,67 €
	16	286.937,36 €	365.571,10 €
	17	288.839,68 €	368.107,53 €
	18	290.742,00 €	370.643,96 €
	19	292.644,33 €	373.180,39 €
	20	294.546,65 €	375.716,82 €
	21	296.448,97 €	378.253,25 €
	22		380.789,68 €

Les figures següents mostren la distribució dels costos que apareixen a la taula anterior.

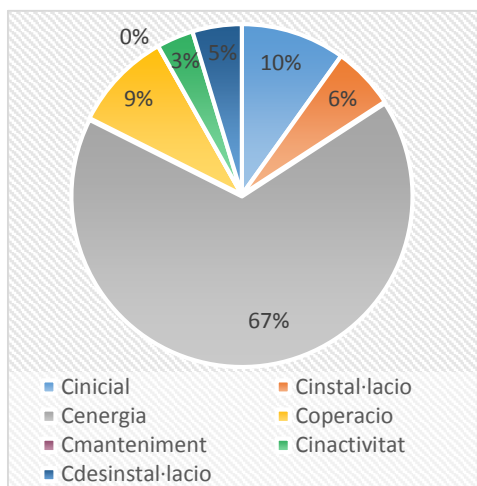


Figura 4.44: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

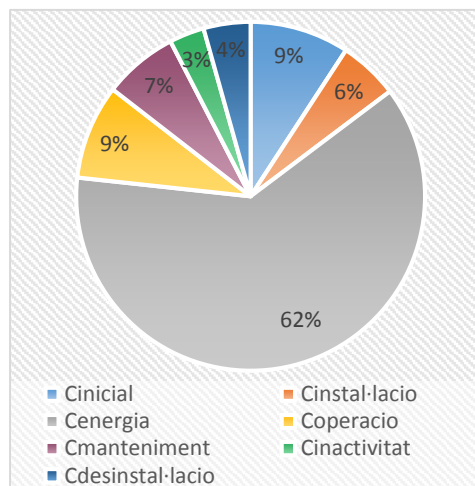


Figura 4.43: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 10% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

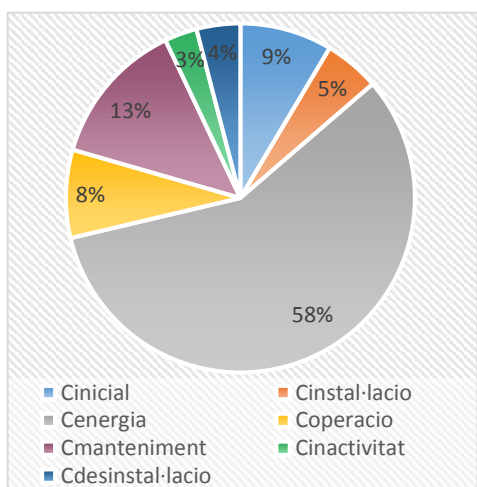


Figura 4.46: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 21% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

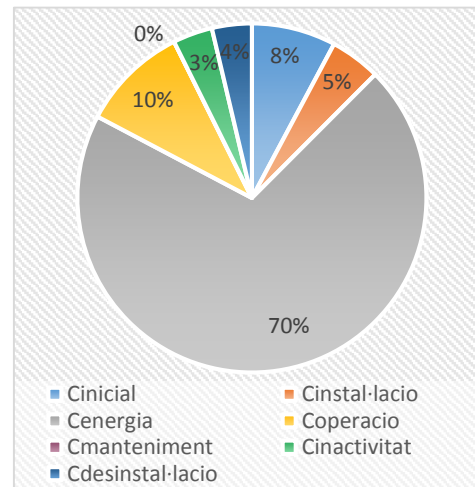


Figura 4.45: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

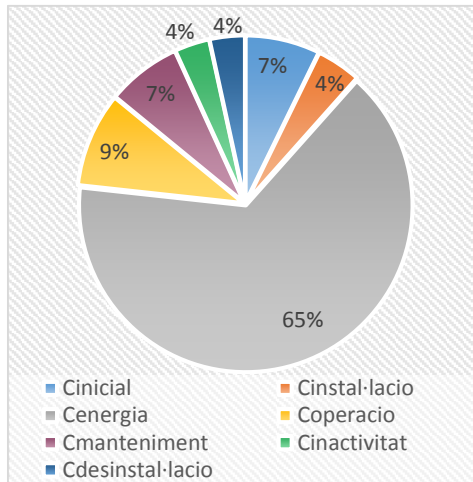


Figura 4.48: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 10% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

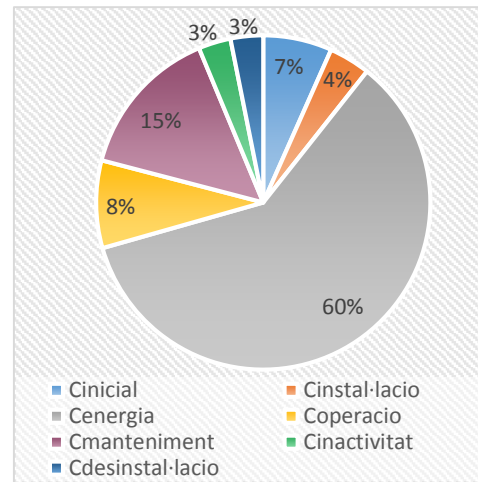


Figura 4.47: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 22% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

4.2.2 Manteniment cada 3 anys

Igual que pel manteniment cada dos anys, a continuació es presenten els costos totals associats al cicle de vida de la bomba si es realitza manteniment, però en aquest cas cada 3 anys per a una disminució de l'eficiència fins al 70%.

Com s'ha dit anteriorment, s'especifiquen dos períodes de manteniment per tal d'analitzar les diferències que pot ocasionar en el cost del cicle de vida.

Rendiment 70%

Preu energia 0,10 €/kWh

En la taula següent es presenten els costos del cicle de vida de la bomba incloent el cost del manteniment realitzat cada 3 anys. En aquest cas s'ha calculat el cost de cada any de manteniment fins a un 15 o un 16% del cost inicial de la bomba segons els anys del cicle de vida, quan el cost total s'equipara al cost sense la realització de manteniment.

Taula 4.9: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 3 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,10 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	183.948,15 €	227.317,63 €
	1	185.216,37 €	229.008,58 €
	2	186.484,58 €	230.699,54 €
	3	187.752,80 €	232.390,49 €
	4	189.021,01 €	234.081,44 €
	5	190.289,23 €	235.772,40 €
	6	191.557,44 €	237.463,35 €
	7	192.825,66 €	239.154,30 €
	8	194.093,87 €	240.845,26 €
	9	195.362,09 €	242.536,21 €
	10	196.630,30 €	244.227,16 €
	11	197.898,52 €	245.918,12 €
	12	199.166,73 €	247.609,07 €
	13	200.434,95 €	249.300,02 €
	14	201.703,16 €	250.990,98 €
	15	202.971,38 €	252.681,93 €
	16		254.372,88 €

A continuació es presenten algunes de les figures corresponents a la distribució dels costos del cicle de vida de la Taula 4.9.

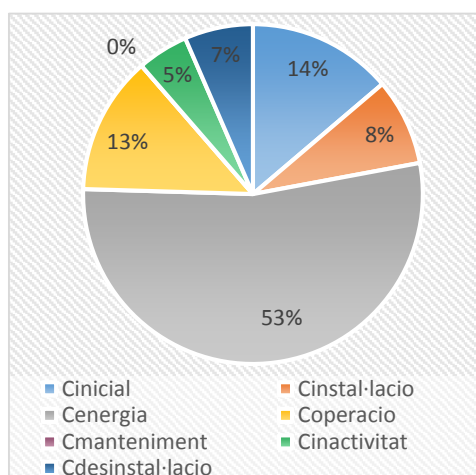


Figura 4.50: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

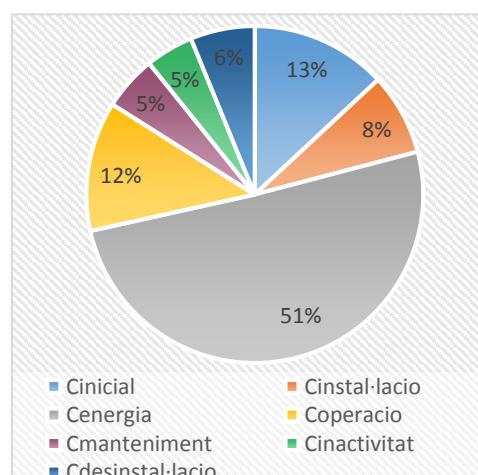


Figura 4.49: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 8% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

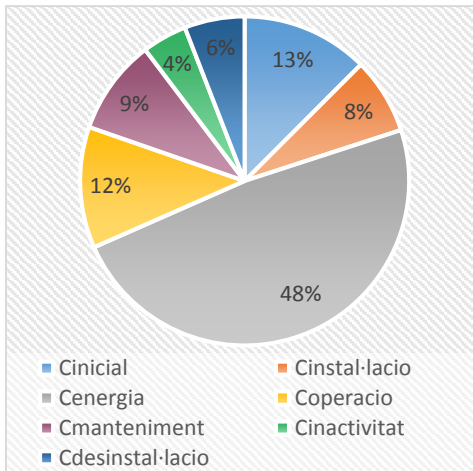


Figura 4.52: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 15% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

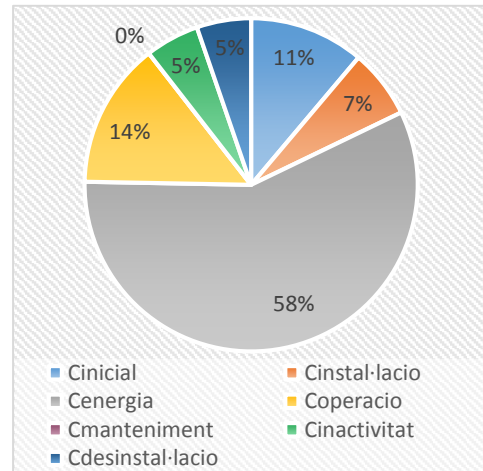


Figura 4.51: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

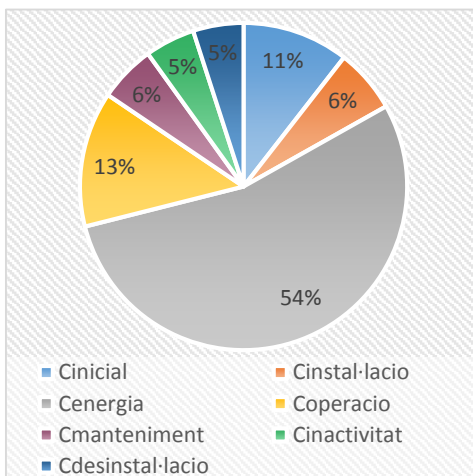


Figura 4.54: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 8% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

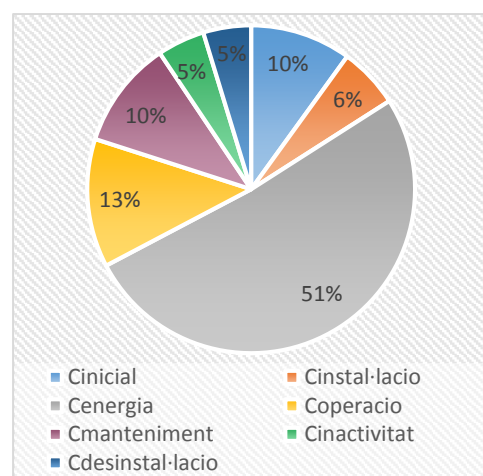


Figura 4.53: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 16% respecte el cost inicial. Manteniment cada 2 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.10 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

En les Figures 4.50 i 4.51, igual que per un manteniment de 2 anys també s'ha suposat que el cost del manteniment és nul però que aquest sí que es realitza per tal de comparar la diferència del cost energètic.

Preu energia 0,14 €/kWh

Com es pot observar a la Taula 4.10 en comparació amb la Taula 4.7 el fet de realitzar manteniment cada 3 anys ens permet destinar un major percentatge al manteniment abans no s'arribi al mateix cost sense manteniment.

Taula 4.10: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 3 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,14 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	223.245,42 €	279.546,40 €
	1	224.513,63 €	281.237,35 €
	2	225.781,85 €	282.928,31 €
	3	227.050,06 €	284.619,26 €
	4	228.318,28 €	286.310,21 €
	5	229.586,49 €	288.001,17 €
	6	230.854,71 €	289.692,12 €
	7	232.122,92 €	291.383,07 €
	8	233.391,14 €	293.074,03 €
	9	234.659,35 €	294.764,98 €
	10	235.927,57 €	296.455,93 €
	11	237.195,78 €	298.146,89 €
	12	238.464,00 €	299.837,84 €
	13	239.732,21 €	301.528,79 €
	14	241.000,43 €	303.219,75 €
	15	242.268,64 €	304.910,70 €
	16	243.536,86 €	306.601,65 €
	17	244.805,07 €	308.292,61 €
	18	246.073,29 €	309.983,56 €
	19	247.341,50 €	311.674,51 €
	20	248.609,72 €	313.365,47 €
	21		315.056,42 €
	22		316.747,37 €

A continuació es presenten les gràfiques de distribució dels costos dels cicle de vida de la taula anterior.

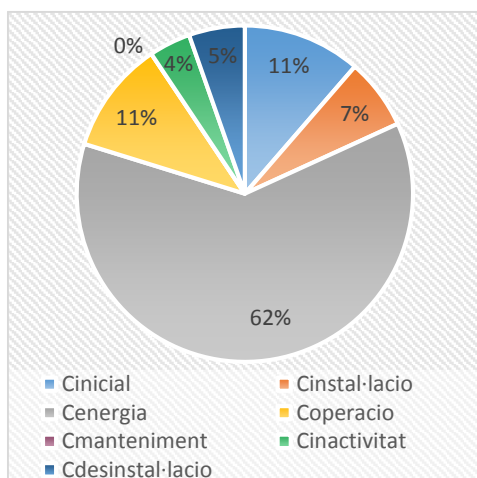


Figura 4.56: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

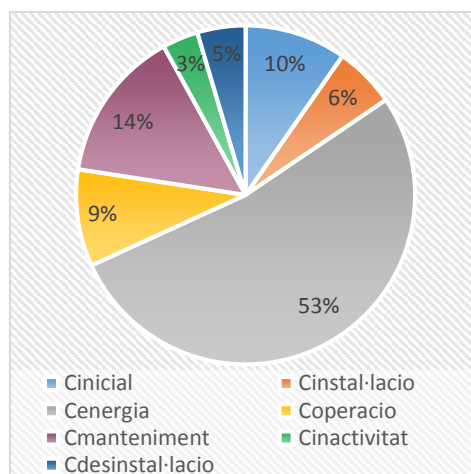


Figura 4.55: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 10% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

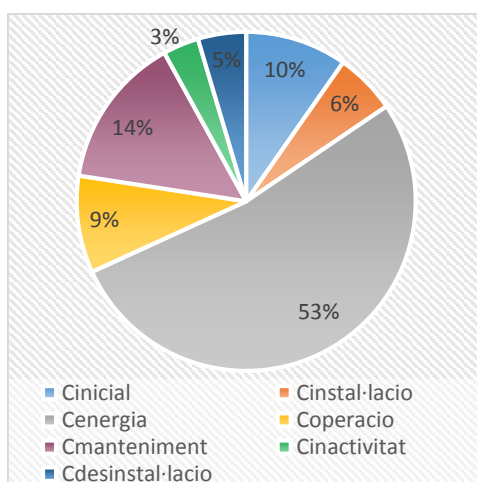


Figura 4.58: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 20% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

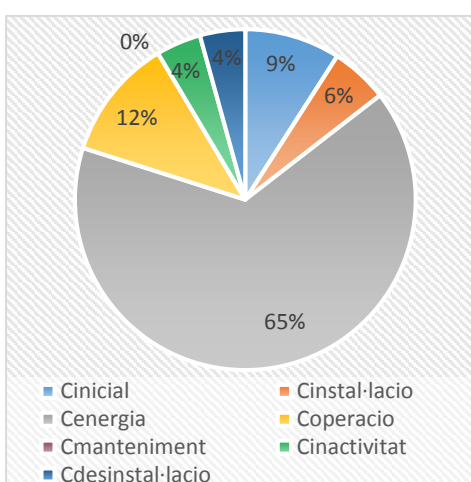


Figura 4.57: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

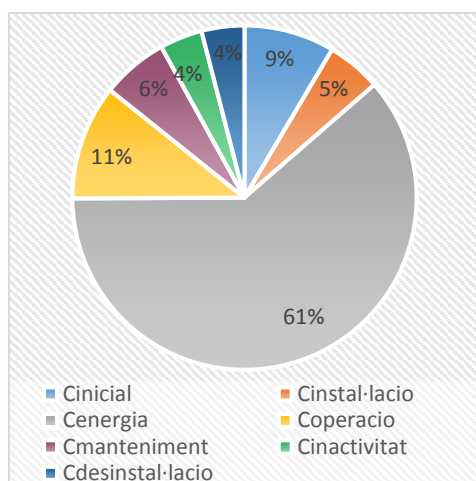


Figura 4.60: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 11% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

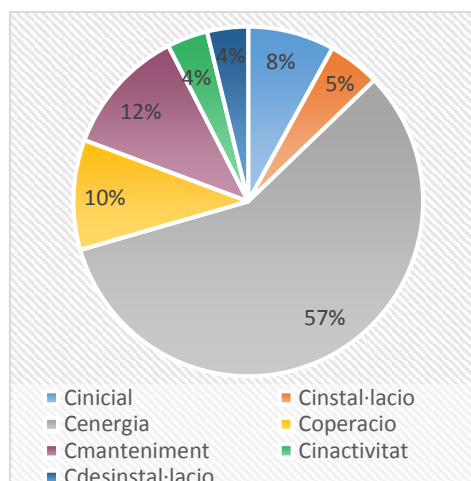


Figura 4.59: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 22% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.14 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

Tal i com es pot observar en les figures anteriors, per als percentatges més elevats de cada manteniment, el cost del manteniment total acaba superant el cost inicial de la bomba, i per tant representa un major percentatge en la distribució de costos.

Preu energia 0,18 €/kWh

En la taula següent es pot observar que amb el preu més elevat de l'energia i amb el manteniment cada 3 anys s'obtenen els majors percentatges per a destinar a mantenir la bomba cada cop que aquest es realitza. Així doncs, en aquest cas, es pot arribar a dedicar una quantitat equivalent al 28% del cost inicial en cada manteniment per tal d'obtenir el mateix cost total del cicle de vida que s'obté sense manteniment.

Taula 4.11: Cost del cicle de vida de la bomba per a l'estratègia 2 en funció dels anys del cicle de vida i el cost de cada manteniment en % respecte del cost inicial. Per a un manteniment cada 3 anys, un rendiment del 70% i un preu de l'energia de 0,18 €/kWh.

		ANYS CICLE DE VIDA	
		15 anys	20 anys
COST DE CADA MANTENIMENT EN % RESPECTE EL COST INICIAL	0	262.542,68 €	331.775,17 €
	1	263.810,89 €	333.466,13 €
	2	265.079,11 €	335.157,08 €
	3	266.347,32 €	336.848,03 €
	4	267.615,54 €	338.538,99 €
	5	268.883,75 €	340.229,94 €
	6	270.151,97 €	341.920,89 €
	7	271.420,18 €	343.611,85 €
	8	272.688,40 €	345.302,80 €
	9	273.956,61 €	346.993,75 €
	10	275.224,83 €	348.684,71 €
	11	276.493,04 €	350.375,66 €
	12	277.761,26 €	352.066,61 €
	13	279.029,47 €	353.757,57 €
	14	280.297,69 €	355.448,52 €
	15	281.565,90 €	357.139,47 €
	16	282.834,12 €	358.830,43 €
	17	284.102,33 €	360.521,38 €
	18	285.370,55 €	362.212,33 €
	19	286.638,76 €	363.903,29 €
	20	287.906,98 €	365.594,24 €
	21	289.175,19 €	367.285,19 €
	22	290.443,41 €	368.976,15 €
	23	291.711,62 €	370.667,10 €
	24	292.979,84 €	372.358,05 €
	25	294.248,05 €	374.049,01 €
	26		375.739,96 €
	27		377.430,91 €
	28		379.121,87 €

A continuació es presenten les figures corresponents a la distribució dels costos de la Taula 4.11.

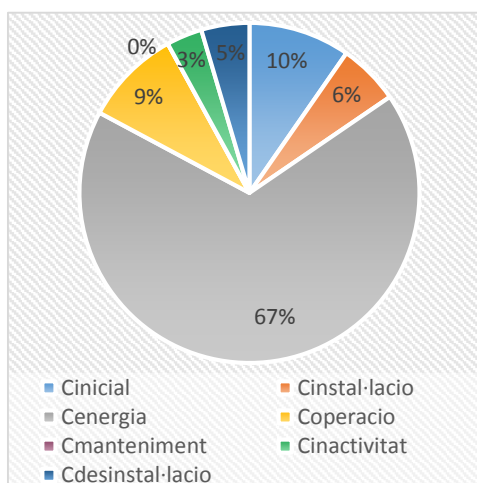


Figura 4.62: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%,preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

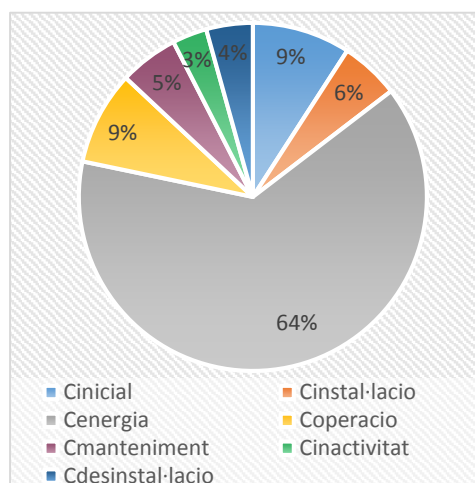


Figura 4.61: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 12% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%,preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

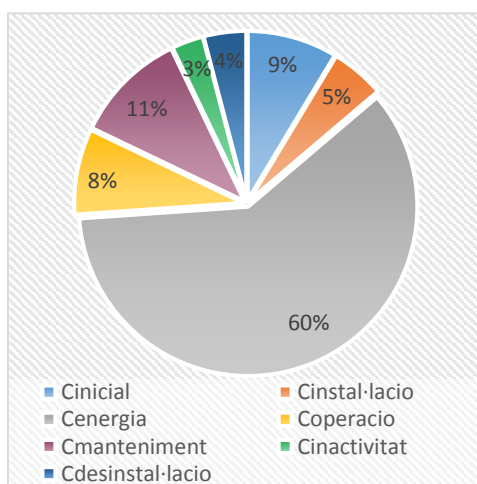


Figura 4.64: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 25% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%,preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

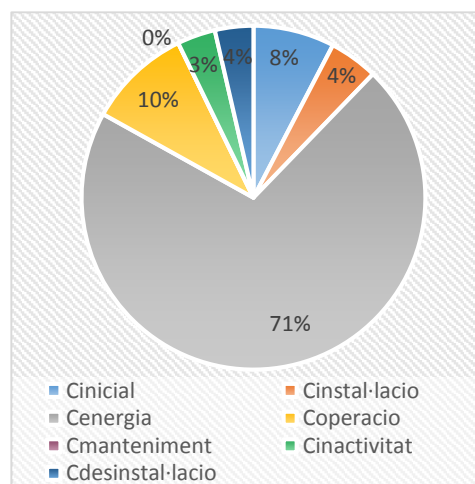


Figura 4.63: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 0% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%,preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 20 anys.

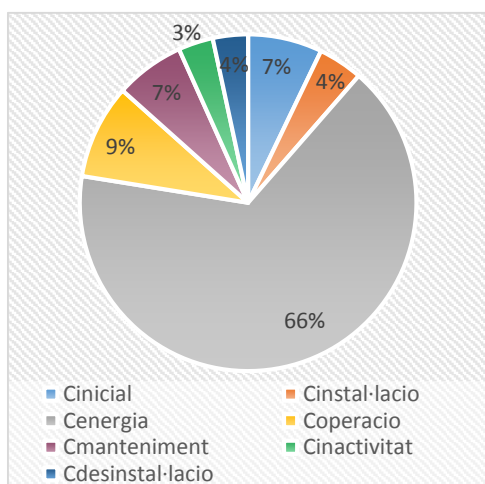


Figura 4.66: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 14% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

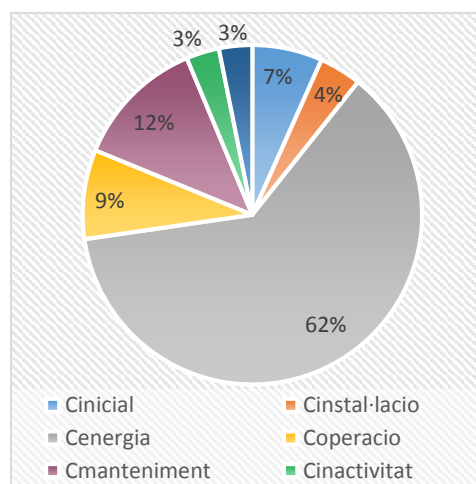


Figura 4.65: Distribució de costos per a l'estratègia 2 amb un cost de cada manteniment del 28% respecte el cost inicial. Manteniment cada 3 anys, rendiment del 70%, preu de l'energia 0.18 €/kWh i cicle de vida de 15 anys.

En les figures anteriors s'observa que el fet que el percentatge del cost inicial, que representa el cost que es destina a cada manteniment, sigui elevat, no implica que en la distribució de costos el manteniment total tingui també un elevat percentatge.

4.3 ANÀLISI DE RESULTATS

Considerant tots el resultat exposats fins ara, a continuació es presenten un seguit de gràfiques resum per tal de poder comparar els diferents costos segons els aspectes que s'havien definit en el cas d'estudi.

4.3.1 Comparació sense manteniment

Com es pot veure a la Figura 4.67, si no es realitza manteniment i depenent del rendiment al que s'estabilitza la bomba, el pendent de creixement dels costos en funció dels anys del cicle de vida és diferent. Aquest fet s'observa clarament per a un rendiment del 90% i un cicle de vida de 22 anys, pel qual els costos són inferiors que per a un rendiment del 70% i un cicle de vida de 20 anys.

A partir de la gràfica i juntament amb les dades de les Taules 4.1 i 4.2 també se n'extreu que, tal i com s'ha dit anteriorment, en els dos últims anys de vida l'eficiència disminueix dràsticament, fent augmentar el cost de l'energia. Així doncs, en alguns dels casos a partir dels 20 anys el cost anual s'incrementa en gairebé 3.500€ més que en els anys anteriors.

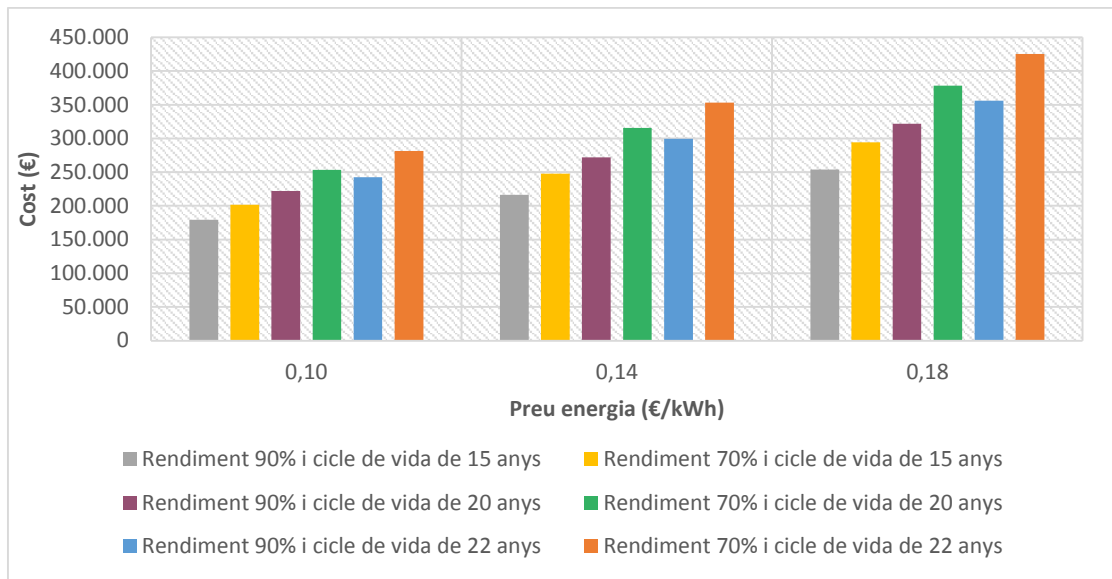


Figura 4.67: Comparació del cost del cicle de vida segons el preu de l'energia, els anys de cicle de vida i el rendiment de la bomba.

4.3.2 Comparació de costos en funció del rendiment

El fet d'haver calculat el cost del cicle de vida per a dos rendiments diferents de la bomba ens permet comparar com afecta aquest paràmetre en funció dels anys del cicle de vida i del cost de l'energia.

Així doncs es pot obtenir una taula com la següent, on per un preu de l'energia de 0,10 €/kWh i un cicle de vida de 15 anys, es mostra la diferència de cost de no realitzar manteniment entre un rendiment del 70 o el 90%. També s'hi pot apreciar com varia la quantitat que es pot destinar a fer manteniment en funció de l'eficàcia.

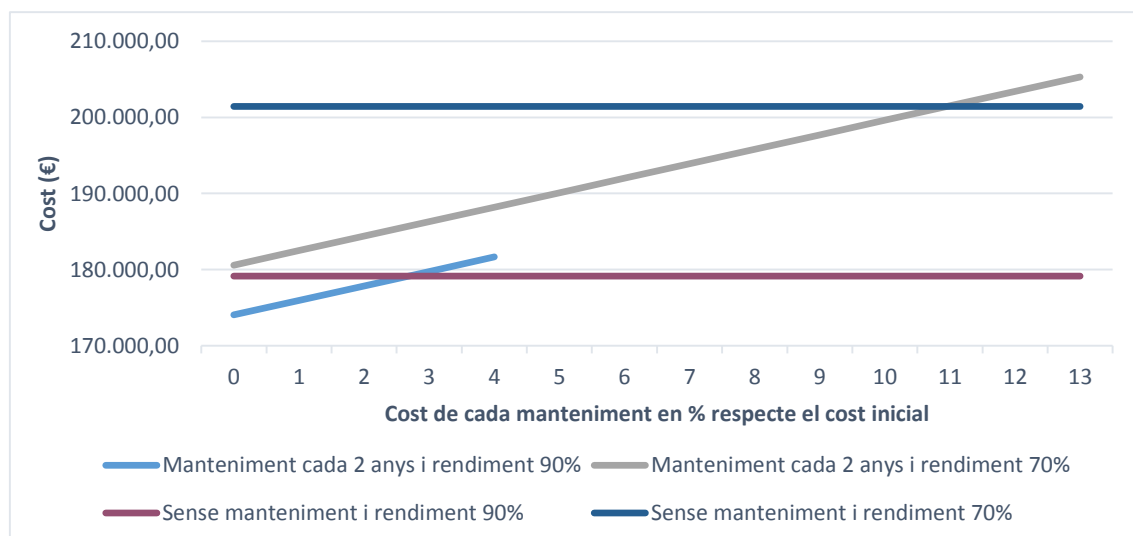


Figura 4.68: Comparació del cost del cicle de vida amb i sense manteniment segons la disminució del rendiment per un cicle de vida de 15 anys i un preu de l'energia de 0,10€/kWh.

4.3.3 Comparació amb i sense manteniment

Pel que fa a la comparació dels costos realitzant manteniment o no, i segons la periodicitat d'aquest manteniment és presenta el resum dels resultats en funció del preu de l'energia per al rendiment del 70%.

Preu energia 0,10 €/kWh

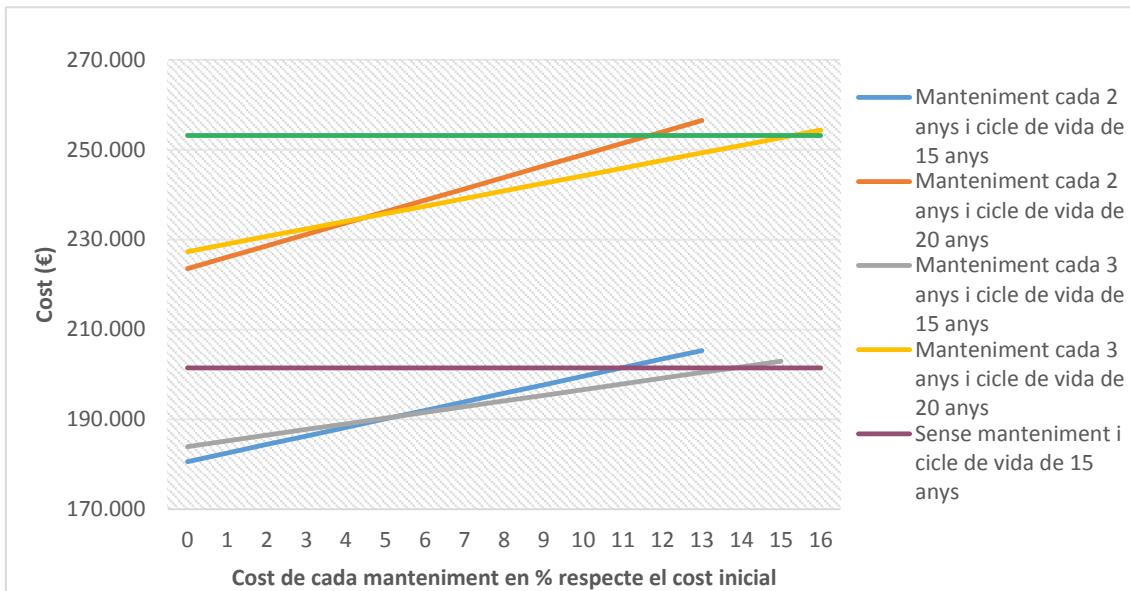


Figura 4.69: Comparació del cost del cicle de vida segons si es realitza manteniment o no, la periodicitat d'aquest, els anys de cicle de vida i el cost de cada manteniment expressat en % respecte el cost inicial per a un preu de l'energia de 0,10€/kWh i un rendiment del 70%.

Preu de l'energia 0,14 €/kWh

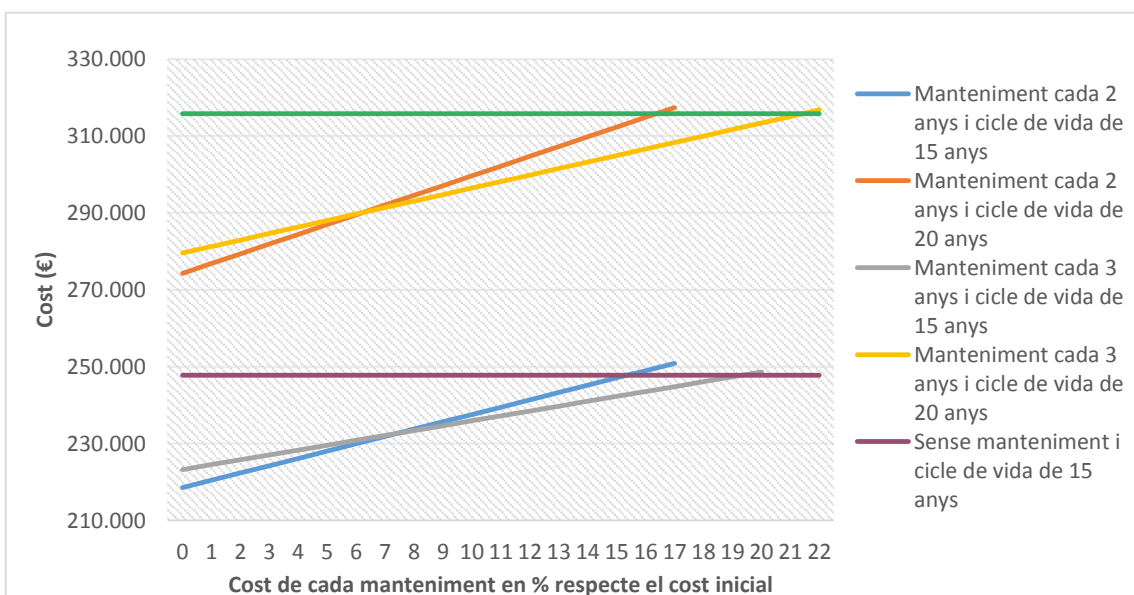


Figura 4.70: Comparació del cost del cicle de vida segons si es realitza manteniment o no, la periodicitat d'aquest, els anys de cicle de vida i el cost de cada manteniment expressat en % respecte el cost inicial per a un preu de l'energia de 0,14€/kWh i un rendiment del 70%.

Preu energia 0,18 €/kWh

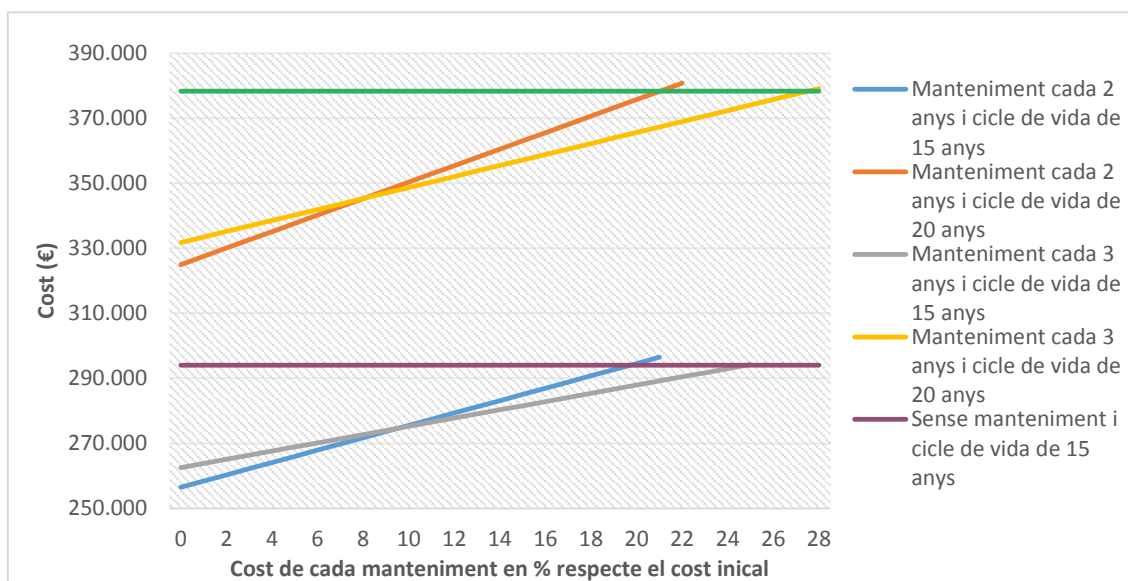


Figura 4.71: Comparació del cost del cicle de vida segons si es realitza manteniment o no, la periodicitat d'aquest, els anys de cicle de vida i el cost de cada manteniment expressat en % respecte el cost inicial per a un preu de l'energia de 0,18€/kWh i un rendiment del 70%.

Tal com es pot observar en les tres figures de l'apartat 4.3.3, el fet d'anar augmentant el percentatge del cost de cada manteniment, evidentment ens fa augmentar el cost total del cicle de vida. Es pot apreciar també que, depenent de la periodicitat del manteniment, el cost augmenta amb un pendent diferent, fet que per a un manteniment cada dos anys s'arribi amb un percentatge més petit del cost del manteniment a un mateix cost sense realització de manteniment.

A més, s'evidencia que el fet de realitzar manteniment redueix la despesa energètica, ja que quan el cost del manteniment representa un 0% però sí que es porta a terme, el cost és entre 20.000 i 40.000 euros (depenent dels anys del cicle de vida i el preu de l'energia) inferior a que si no es du a terme manteniment.

5 CONCLUSIONS

Aquest estudi conclou amb l'assoliment dels objectius proposats i s'ha constatat que:

- La gestió dels equipaments de les depuradores d'aigües residuals és una activitat complexa i per això es creu oportú plantejar solucions de manteniment i substitució dels seus actius.
- Les estacions depuradores d'aigües residuals estan formades per diversos equips que experimenten diferents processos d'envelliment en el temps.
- Un dels equipaments més habituals són les bombes, les quals desenvolupen un paper important en les EDAR degut a la variabilitat de funcions que duen a terme a la planta.
- Una de les solucions per a millorar la gestió d'actius de les EDAR és la planificació del manteniment i la substitució dels equipaments en funció del seu cicle de vida operatiu i dels criteris d'obsolescència.
- A Catalunya es tracta un gran cabal diàriament i la gestió d'actius és un marc a tenir en compte per tal de reduir-ne els costos de sanejament i allargar la vida de les infraestructures.
- L'aplicació d'eines d'economia industrial permet avaluar quina estratègia pot ser més eficient per a l'operativitat tècnica i econòmica.
- La metodologia emprada permet calcular quan es podria dedicar a manteniment globalment abans no s'arribi a la màxima despesa energètica, fet que és molt operatiu.

Sota les condicions fixades del cas d'estudi, on s'han avaluat variacions del 10 i el 30% del rendiment inicial de la bomba, amb preus de l'energia de 0'10, 0'14 i 0'18 €/kWh i per a cicles de vida de 15, 20 i 22 anys els resultats assolits en les execucions demostren que:

- L'eficiència de la bomba afecta directament al consum energètic i, per tant, al cost global del cicle de vida de la bomba.

- El cost principal en el cicle de vida de la bomba és el cost energètic, independentment dels anys de cicle de vida utilitzats per a realitzar el càlcul.
- Per a cicles de vida de 22 anys el cost energètic representa un percentatge més elevat degut a la disminució dràstica de l'eficiència de la bomba, fet que incrementa la potència necessària i per tant la demanda energètica.
- El preu de l'energia és un factor a tenir en compte, ja que si aquest és molt elevat interessarà més destinar recursos a manteniment per tal de no augmentar la demanda energètica de la planta.
- Per a l'estratègia 1 (no realització de manteniment) és convenient la substitució de l'actiu als 20 anys d'edat. S'ha de tenir en compte que la no realització de manteniment obliga a treballar a un rendiment inferior de la bomba, el qual pot ocasionar que no es lliuri el servei de manera adequada.
- Per a l'estratègia 2 (realització de manteniment) es considera convenient la substitució de l'actiu no més enllà dels 25 anys, ja que el fet de realitzar manteniment allarga la vida de l'actiu, però a partir dels 20 anys es produeixen errors pel desgast natural de l'equip motivat pel decurs del temps, i en un determinat moment, els costos de manteniment seran tan elevats que l'equip s'haurà de substituir.
- Per a una disminució del 10% del rendiment és convenient realitzar manteniment cada 3 anys, ja que el rendiment només disminuiria fins al 93,91%. La diferència d'eficàcia entre realitzar manteniment o no és molt petita, però és necessari realitzar aquest manteniment per tal de garantir el bon funcionament del equips.
- Per a una disminució del 30% de l'eficàcia s'hauria de realitzar manteniment cada 2 anys per tal de no reduir el rendiment per sota del 85%.

Aquestes conclusions estan condicionades a les hipòtesis definides en el cas d'estudi, però la metodologia es prou general per aplicar-ho a altres equipaments en funció dels seus models d'obsolescència i d'eficàcia de l'operació en el temps.

6 PRESSUPOST I PLANIFICACIÓ

A continuació es presenta el pressupost i planificació per a la realització del present treball, amb totes les temporitzacions, dades de costos i inversions.

6.1 RESUM DEL PRESSUPOST

Procedim a l'avaluació del pressupost necessari per dur a terme aquest projecte. Per fer-ho s'ha de tenir en compte diferents costos que es poden classificar en:

- Cost de realització del projecte
- Inversió inicial i amortització
- Cost indirecte
- Benefici industrial

6.1.1 Cost de realització del projecte

En aquest apartat es realitza una valoració dels costos econòmics dels estudis realitzats. S'han de tenir en compte els costos de les tasques de recerca bibliogràfica per elaborar el projecte i els de redacció. En la taula següent es detallen aquest costos:

Taula 6.1: Cost de realització del projecte

CONCEPTE	HORES (h)	COST (€/HORA)	PREU (€)
Definició del projecte	20	-	0
Recerca d'informació i simulació	232	10	2.320
Redacció	400	6	2.400
TOTAL			4.720

Per estipular el nombre d'hores que corresponen a cada tasca s'ha considerat que per a la recerca d'informació s'hi dedicava només 4 hores, degut a que el curs acadèmic no havia finalitzat. En el procés de redacció, com que s'ha dut a terme durant els mesos d'estiu, s'han pogut destinar més hores i se n'han comptabilitzat 8 de diàries.

6.1.2 Inversió inicial i amortització

Per tal de realitzar el present treball s'ha requerit d'un ordinador, pel qual s'ha hagut de realitzar una inversió inicial. A continuació es mostra el valor de l'equip utilitzat, el valor al final de la seva

vida i l'amortització que s'aplica cada any (AN), considerant que aquest valor és del 15% del valor del preu inicial i la vida mitjana de l'equip és de 5 anys.

A partir del valor de l'amortització anual (AN), es calcula l'amortització total corresponent a la realització del projecte (AT). Aquesta amortització es calcula a partir de les hores durant les quals s'ha utilitzat cada equip (TH) mitjançant les Equacions 6.1 i 6.2.

$$AH = \frac{AN}{8760} \quad \text{Equació 6.1}$$

$$AT = AH \cdot TH \quad \text{Equació 6.2}$$

Taula 6.2: Inversió i amortització d'equipament

EQUIP	PREU (€)	VALOR FINAL DE VIDA (€)	AN (€/ANY)	AH (€/h)	TH (h)	AT (€)
Ordinador	600	90	120	0,014	255	3,49

6.1.3 Cost indirecte

També s'ha de tenir present el cost que es genera de l'activitat, com és el cost de l'electricitat. Per tal de calcular el valor corresponent a aquest cost s'ha considerat que representa un 15% del cost de realització del projecte (4.720€), ja que es tracta d'un cost que deriva principalment de l'activitat que desenvolupa la persona que du a terme el treball. Per tant el cost indirecte (CI) del projecte és de 708€.

6.1.4 Benefici industrial

S'ha de considerar el benefici que es vol obtenir del present treball. Aquest terme s'ha anomenat benefici industrial i es calcula a partir d'un 10% del valor dels costos que s'havien generat (5.431,49€). Per tant, el cost del benefici industrial (BI) del projecte és de 543,15€.

6.1.5 Cost total del projecte

Finalment, si es sumen tots els costos que s'han calculat anteriorment, s'obté el cost total del projecte. Es detallen tots els paràmetres que s'han utilitzat a la taula següent.

Taula 6.3: Cost total del projecte

CONCEPTE	COST (€)
Realització del projecte	4.720
Inversió inicial i amortització	3,49
Cost indirecte	708
Benefici industrial	542,15
TOTAL	5.974,64

La realització del present estudi ascendeix a cinc mil nou – cents setanta – quatre amb seixanta-quatre euros (5.974,64€).

6.2 PLANIFICACIÓ

En aquest apartat es presenta la distribució en el temps del projecte en tasques en el temps.

A la Figura 6.1, realitzada amb el Microsoft Project, es mostra l'enumeració de tasques en les que es divideix el projecte seguint un ordre cronològic des de l'inici d'aquest fins al final (data de lliurament). Com es pot observar hi ha tasques que estan vinculades entre si, indicant que fins que no acabi la tasca predecessora la següent no pot començar. El fet que les altres no estiguin vinculades permet realitzar més d'una tasca a la vegada.

S'ha descrit una tasca periòdica per a les revisions del projecte amb els tutors cada 3 setmanes des de l'inici del projecte fins al final.

En les figures es pot distingir que hi ha un període buit entre la definició del projecte i l'inici de recerca d'informació, motivat pel fet que s'havia de presentar el full de projecte i calia esperar a l'avaluació de la Comissió de projectes. A més, el lliurament del projecte presenta una restricció de "no començar abans de l'1 de setembre", ja que les dates de dipòsit estan compreses entre l'1 i el 4 de l'esmentat mes.

Per al calendari dels recursos s'ha seleccionat com a dies festius el període corresponent a Setmana Santa. Per tal d'indicar-ho en el diagrama de Gantt la columna està marcada amb groc. Això s'ha realitzat per tal d'ajustar el calendari de treball a la distribució del temps real.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
Definició del projecte	10 días	jue 19/02/15	mié 04/03/15	
Recerca d'informació	41 días	mié 18/03/15	mié 13/05/15	
▀ Simulació	58 días	mar 07/04/15	jue 25/06/15	
Disseny de la simulació	28 días	mar 07/04/15	jue 14/05/15	
Execució de la simulació	30 días	vie 15/05/15	jue 25/06/15	4
Redacció del projecte	57 días	jue 11/06/15	vie 28/08/15	
Lliurament del projecte	1 día	mar 01/09/15	mar 01/09/15	6
▀ Revisions del projecte	135,25 días	jue 19/02/15	jue 27/08/15	
Revisions del projecte 1	2 horas	jue 19/02/15	jue 19/02/15	
Revisions del projecte 2	2 horas	jue 12/03/15	jue 12/03/15	
Revisions del projecte 3	2 horas	jue 02/04/15	jue 02/04/15	
Revisions del projecte 4	2 horas	jue 23/04/15	jue 23/04/15	
Revisions del projecte 5	2 horas	jue 14/05/15	jue 14/05/15	
Revisions del projecte 6	2 horas	jue 04/06/15	jue 04/06/15	
Revisions del projecte 7	2 horas	jue 25/06/15	jue 25/06/15	
Revisions del projecte 8	2 horas	jue 16/07/15	jue 16/07/15	
Revisions del projecte 9	2 horas	jue 06/08/15	jue 06/08/15	
Revisions del projecte 10	2 horas	jue 27/08/15	jue 27/08/15	

Figura 6.1: Planificació de les tasques.

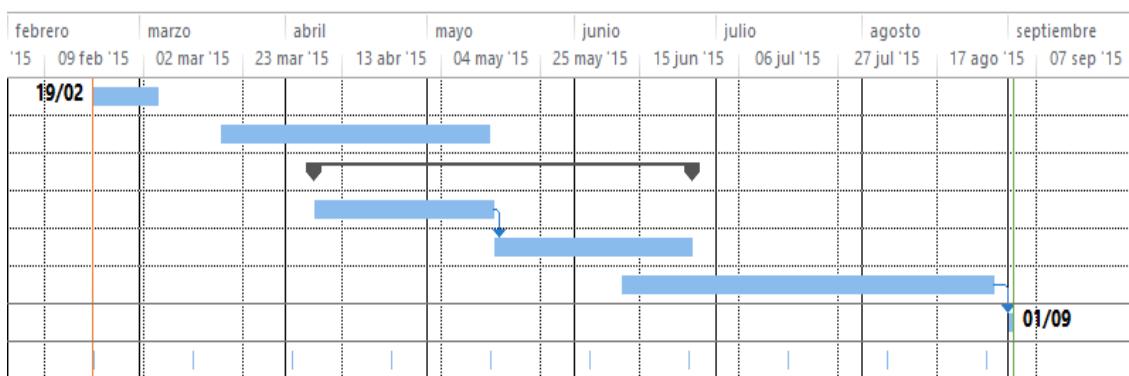


Figura 6.2: Diagrama de Gantt

7 BIBLIOGRAFIA

Llibres, revistes i informes:

Agrupació de Seveis d'Aigua de Catalunya. (12 / 2012). El sanejament d'aigües a Catalunya. *Blau*.

American Water Works Association. (2005). *Water Treatment Plant Design* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Balaguer, M. D., Salgot, M., Sànchez, M., Turon, C., & Puig, M. À. (2007). *Gestió i tractament d'aigües residuals*. Servei de Publicacions de la Universitat de Girona.

Black & Veatch. (2014). *2014 Strategic directions: U.S. water industry*. Black & Veatch Corporation.

Cheremisinoff, P. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technology*. Boston: Butterworth-Heinemann.

EPA. (2000). *Wastewater Technology Fact Sheet: In-Plant Pump Stations*.

European Commission. (2003). *Study on improving the energy efficiency of pumps*.

Karassik, I., Messina, J., Cooper, P., & Heald, C. (2008). *Pump Handbook* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización* (3a ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté S.A.

Schneider Electric. (2014). *Three steps for reducing total cost of ownership in pumping systems*.

Spellman, F. (2008). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations* (2nd ed.). CRC Press.

Manuais i catàlegs:

Bombas Saci S.A. (28/06/2002). *Manual de instalación y mantenimiento*. Consultat el 30/06/2015, a http://sacipumps.com/IMAGES_6/monocanal-manu.pdf

PUMPS, S. *Manual bombas serie "MG-M"*. Consultat el 23/06/2015, a http://sacipumps.com/IMAGES_6/monocanal-manu.pdf

Material obtingut de la xarxa:

Australian Government. *Income tax: effective life of depreciating assets*. Consultat el 22/07/2015, a <https://www.comlaw.gov.au/Details/F2015L00798>

EPA. *The Fundamentals of Asset Management*. Consultat el 28/02/2015, a http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2007_07_31_assetmanages_session0-fundamentals.pdf

Generalitat de Catalunya. *Agència Catalana de l'Aigua*. Consultat el 30/03/2015, a https://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1225554461208201540084

Generalitat de Catalunya. *Institut d'Estadística de Catalunya*. Consultat el 28/04/2015, a <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=234>

Hydraulic Institute, Europump, & U.S. Department of Energy. *Pump life cycle cost: A guide to LCC analysis for pumping systems*. Consultat el 22/06/2015, a http://www.pumps.org/content_detail.aspx?id=2434

INEXA. (03/2009). *Deterioro del rendimiento en bombas y su prevención*. Consultat el 19/03/2015, a <http://www.inexa.es/documentos/ARTICULOS%20INTERES/DETERIORO%20DEL%20RENDIMIENTO%20EN%20BOMBAS.pdf>

Institute of Asset Management. *Institute of Asset Management*. Consultat el 13/04/2015, a <https://theiam.org/>

Instituto Nacional de Estadística. (5/11/2014). *Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua*. Consultat el 17/05/2015, a <http://www.ine.es/prensa/np872.pdf>

ITT Water & Wastewater AB. *Wastewater Treatment: Pumping*. Consultat el 17/07/2015

MET-PRO Global Pump Solutions. Consultat el 20/05/2015, a <http://www.mp-gps.com/products/pump-life-cycle-cost-calculator>

Tarifas gas luz. Consultat el 09/07/15, a <http://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh>