

Treball Final de Carrera

**GESTIÓ INTEGRAL DEL MANTENIMENT**  
– FONAMENTS I APLICACIÓ DE LA METODOLOGIA RCM -

Gil Ayats Mialet

**Enginyeria d'Organització Industrial**  
Director: Joan Antoni Garrote Martinez

Vic, Setembre de 2014

## ÍNDIX DEL TREBALL

Resum del Treball (versió en Català)

Resum del Treball (versió en Anglès)

Introducció.....	1
Objectius.....	2

### **PART I: Fonaments del Manteniment per a la Gestió Integral.....3**

<b>1. Generalitats.....</b>	<b>4</b>
1.1. El servei de Manteniment.....	4
1.2. Evolució Històrica del Manteniment.....	5
<b>2. La Funció del Manteniment en l'Organigrama de l'empresa.....</b>	<b>7</b>
2.1. Organigrama de l'empresa.....	7
2.2. Organigrama intern del Servei de Manteniment.....	10
2.3. La relació entre el Departament de Producció i el de Manteniment.....	11
<b>3. Objectius del Manteniment.....</b>	<b>12</b>
<b>4. La Jornada de Treball i el Manteniment.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Fonaments científics del Manteniment.....</b>	<b>15</b>
5.1. El procés de Manteniment.....	15
5.2. Classificació de les tasques de Manteniment.....	15
5.3. Política de Manteniment basada en la fallada.....	19
5.4. Política de Manteniment basada en la durada de la vida del sistema.....	19
5.5. Política de Manteniment basada en la Inspecció .....	20
5.6. Política de Manteniment basada en l'examen de la condició.....	21
<b>6. Tipus i Classes de Manteniments.....</b>	<b>26</b>
<b>7. Gestió dels Històrics d'avaries i Models de proposta.....</b>	<b>27</b>
7.1. Definició d'Històric d'un equip.....	27
7.2. Registre d'avaries i parades d'un sistema (Fallades i microfallades).....	27
7.3. Models proposats de Fitxes històriques de Manteniment per a una adequada recollida d'informació.....	29
<b>8. Optimització de la Gestió Econòmica del Manteniment.....</b>	<b>36</b>
8.1. La Importància econòmica del Manteniment.....	36
8.2. Objectius econòmics de les funcions del Manteniment.....	37
8.3. Optimització del Cost Integral del Manteniment.....	42
8.4. Valors estadístics sobre costos de Manteniment en els diferents sectors empresarials.....	44
8.5. Tècnica de control de la quantitat de Manteniment Preventiu per a l'optimització del Cost Integral.....	45

<b>PART II: Metodologia RCM – Manteniment basat en la fiabilitat.....</b>	<b>49</b>
<b>1. Descripció del RCM.....</b>	<b>50</b>
1.1 Inici. Què és RCM?.....	50
1.2 Objectius del RCM.....	50
<b>2. Descripció de les Fases del RCM.....</b>	<b>53</b>
2.1 Fase 1. Llistat i Codificació d'equips.....	53
2.2 Fase 2. Llistat de Funcions i Especificacions.....	55
2.3 Fase 3. Determinació de les Fallades funcionals i tècniques.....	56
2.4 Fase 4. Determinació dels Modes de Fallada i les seves Causes.....	57
2.5 Fase 5. Anàlisi de la Gravetat de les Fallades. La Criticitat.....	59
2.6 Fase 6. Determinació de les Mesures Preventives.....	60
2.7 Fase 7. Obtenció del Pla de Manteniment i agrupació de les mesures preventives.....	64
2.8 Posada en marxa de les mesures preventives obtingudes.....	65
2.9 Punts diferencials d'un Pla de Manteniment basat en RCM.....	66
2.10 Aspectes generals destacables del procés d'implantació del RCM.....	68
2.11 Recursos i temps necessari per aplicar RCM.....	71
<b>3. Aportacions i Propostes de Millora a la metodologia RCM.....</b>	<b>74</b>
3.1. Estudi de la Selectivitat Inicial del RCM. La Matriu de Criticitat SDQ.....	74
3.2. Selectivitat dels Efectes de la Fallada Funcional. Matriu de Criticitat Desenvolupada.....	77
3.3. Logigrama de Decisions del Manteniment.....	79
3.4. Optimització del Pla de Manteniment Tècnic. Retorn de l'Experiència (RDE).....	81
3.5. Diagrama d'Etapes del RCM Industrial.....	82
3.6. Diagrama Casual de Fallada Funcional del Sistema.....	83
<b>4. Cas pràctic: Aplicació del mètode RCM en una línia de galvanitzat.....</b>	<b>85</b>
4.1. Pla de treball i Recursos de l'estudi.....	86
4.2. Descomposició i Selectivitat dels Sistemes.....	87
4.3. Anàlisi funcional dels Sistemes.....	88
4.4. Arquitectura Orgànica a nivell de l'element mantenible.....	89
4.5. Matriu de Correlació Arquitectura Orgànica-Funcional.....	90
4.6. Fallades funcionals i Criteris de Selectivitat.....	92
4.7. Anàlisi dels Modes de Fallada, les seves Causes i les Tasques Preventives proposades.....	102
4.8. Elaboració del Pla Anual de Manteniment.....	111
4.9. Retorn de l'Experiència (RDE).....	114
<b>Conclusions del Treball.....</b>	<b>115</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>118</b>

## Resum del Treball Final de Carrera Enginyeria Superior d'Organització Industrial

**Títol:** Gestió Integral del Manteniment. Fonaments i Aplicació de la metodologia RCM

**Autor:** Gil Ayats Mialet

**Direcció:** Joan Antoni Garrote Martinez

**Data:** Setembre de 2014

### Resum

El Manteniment entès com a tal té pocs anys d'existència. Els automatismes, la robotització, la complexitat de les màquines, la seva informatització i control, i la millora tecnològica dels materials i dels equips fins a límits desconeguts, entre d'altres, han anat dotant a aquest servei d'una importància cada vegada més creixent en el món empresarial.

La Gestió òptima del Manteniment, l'objectiu principal d'aquest treball, és el conjunt de tècniques i sistemes que permeten prevenir les averies, efectuar revisions programades, lubricacions i reparacions eficaces, donant al mateix temps normes i procediments de funcionament als usuaris del sistema productiu, per tal de contribuir i aportar riquesa a l'empresa. Aquest òrgan busca el més convenient per a les màquines, amb l'objectiu d'allargar la seva vida útil de la forma més rendible possible.

L'autor del present estudi, fruit de la mancança real observada durant la formació acadèmica (i extrapolable a la majoria d'enginyeries) en el camp del Manteniment, pretén difondre part dels fonaments del manteniment, tractar aspectes ignorats però rellevants, i aportar millores a la Gestió Integral del Manteniment Industrial, utilitzant metodologies senzilles per tal de que el lector (vingui o no d'una especialitat tècnica) pugui iniciar-se i implantar de forma pràctica alguns d'aquests mètodes a la seva indústria.

Una de les principals metodologies que s'aporta en aquest estudi és l'anomenat RCM o *Reliability Centered Maintenance*, una tècnica apareguda en els sectors pioners industrials i que ha anat evolucionant fins a l'adaptació a la resta d'indústries. Mitjançant aquest mètode hom serà capaç d'elaborar un Pla de Manteniment adaptat a la instal·lació a partir de l'anàlisi de les possibles fallades del sistema i orientar-lo cap a la prevenció d'aquestes fallades.

A partir d'un cas pràctic d'aplicació RCM a la indústria metal·lúrgica, s'identificaran les funcions d'un sistema, la forma en què aquestes arriben a la fallada, i s'establiran unes intervencions de Manteniment resultants de caire generalment preventives per tal de minimitzar o anular els efectes de les averies. Com a millora de la tècnica RCM s'aportaran noves formes d'avaluació de la gravetat o criticitat de les fallades, a partir de la valoració d'una sèrie de criteris de selecció, i s'inclouran mètodes senzills d'anàlisi de la informació, per tal de que finalment es puguin obtenir uns resultats beneficiosos a nivell quantitatiu (millora de la fiabilitat, disponibilitat, mantenibilitat, seguretat, i disminució del pressupost de manteniment) i a nivell qualitatiu, establint nous plans formatius i procedimentals per tal de que els usuaris del sistema puguin augmentar el seu coneixement de la instal·lació durant l'anàlisi.

**Dissertation Project**  
**Upper Engineering of Industrial Organization**

**Title of the Dissertation Project:** Integral Management of Maintenance. The basis of Maintenance and application of RCM methodology.

**Author:** Gil Ayats Mialet

**Tutor:** Joan Antoni Garrote Martinez

**Date:** September 2014

**Abstract**

Maintenance has been understood as such only few years ago. Elements such as: the automatism, the robotization, the complexity of the machines, including its computerisation and control as well as the unforeseen achievement of technological improvement of the material and equipments, have increased consistently the functionality of maintenance as part of a business.

This project focuses on the optimization of maintenance management, namely the group of techniques and systems that allow preventing system breakdowns, to carry out programmed reviews, lubrications and effective repairs. Maintenance gives to the users both norms and procedures of operation of the productive System, increasing productivity while reducing costs and maximising revenues of the company. In fact Maintenance looks for best possible practices to extend the operating life of industrial machines in the most cost-effective ways.

The author of this work has noticed, during his academic and professional years, room for improvement in the theory and practice of maintenance management, extended to the majority of engineering sectors. Therefore, with this work the author aims to share part of the basis of maintenance while dealing with aspects which are often ignored but relevant, overall applying simple methodologies to contribute to the improvement of the Integral Management of Industrial Maintenance. The main objective is to make the reader, who may or may not have a technical background, able to initiate and implant in a practical way some of these methods to his industry.

This study starts with analysing the application of the RCM "*reliability centred maintenance*" methodology. THIS process has been introduced in the industrial pioneering sectors, IT HAS developed and improved and is now applicable to all types of industries. The RCM technique will enable the user to elaborate a plan of maintenance that suits every type of industrial facilities, analysing possible failures in the system and adjusting the plan in order to prevent these.

Starting from a practical case of RCM application to the metallurgical industry, the author analyses the functionality of a generic system, what factors could lead to its breakdown, introducing preventive maintenance techniques with the objective of avoiding this or minimizing its effects. As an improvement to the RCM technique the author will introduce new elements to evaluate equipment's criticality, identifying selection criteria and including methods of analysis of the information. This will lead to finally achieve positive results at a quantitative level (reliability, availability, ease of maintenance, security, decrease of the budget of maintenance, etc.) as well as at a qualitative level (the set up of new formative and proceedings plans) so to improve user's knowledge of the equipments during this analysis.

## INTRODUCCIÓ

Tots tenim present, en menor o major mesura, la importància que té el manteniment en el medi que ens envolta, tan en la vida quotidiana com en l'entorn professional de l'activitat humana. Per a molts, mantenir és només reparar i aquesta reflexió no és certa. El manteniment correctiu ocupa tan sols una petita part de tot un món dedicat a la conservació i programació de les actuacions necessàries sobre els elements d'un sistema (edificis residencials, comercials i industrials). L'objectiu de tots els mantenidors però és clar: controlar el cicle de vida útil de la instal·lació per allargar-la el màxim amb el mínim cost possible. Aquesta praxis és la que anomenem la Gestió del Manteniment.

Existeixen múltiples metodologies i models de gestió del manteniment, de la mateixa manera que existeixen tipologies molt diverses de sectors empresarials. Però en general i a partir de l'evolució dels sectors més pioners (l'aeronàutic i l'energètic) totes cerquen prevenir i optimitzar la resolució de les avaries, els seus efectes i la repercussió econòmica que produeixen, així com millorar i modificar el disseny de la instal·lació efectuant inversions que siguin rendibles.

Malgrat la seva importància econòmica, el manteniment en una empresa és un dels centres de cost menys clarament definit i analitzat, i aquest fet provoca que dins del manteniment s'imputin múltiples i diverses despeses generals de l'empresa, les responsabilitats de les quals a vegades no queden prou acotades. Històricament els gestors de manteniment han anat absorbint més responsabilitats dins del món empresarial i actualment ha anat agafant força la idea de que aquests professionals són en realitat els Gestors dels Actius de l'empresa.

Aquesta importància del Manteniment també es reflexa en el volum econòmic que representa a nivell mundial. Per exemple, en un informe elaborat per l'Institut de Tecnologia de Massachussets el 2011, s'exposava que al voltant del 6% del PIB dels EEUU durant l'exercici 2010 era derivat directe o indirectament de reparacions de danys causades pel desgast mecànic d'instal·lacions, fet prou rellevant i a tenir en compte.

Per tots els motius anteriors, així com per la manca real observada durant la formació acadèmica de la majoria d'enginyeries en el camp del Manteniment Industrial, l'autor del present treball ha volgut difondre aspectes i aportar millores a la Gestió del Manteniment de forma integral, a partir de metodologies i tècniques actuals per tal de que el lector (vingui d'una especialitat tècnica o no) pugui copsar, iniciar-se i segons l'interès implantar de forma pràctica aquests procediments per a la millora i la resolució dels seus problemes quotidians.

## OBJECTIUS DEL TREBALL

El present treball té per objectius centrals exposar els conceptes i fonaments bàsics del què és el Manteniment Industrial per tal de difondre aquest camp o sector professional, així com aportar millores concretes a algunes de les tècniques de Gestió del Manteniment actuals.

Aquestes directrius generals de l'estudi es poden desglossar en els següents objectius concrets:

- Exposar els objectius del Manteniment, la seva evolució històrica, els seus fonaments científics, la classificació segons la seva naturalesa, així com aspectes interessants d'aquest camp per tal de que en cas d'interès es pugui incorporar com a part teòrica en alguna assignatura de la carrera d'Organització Industrial.
- Difondre aspectes del camp del Manteniment que són desconeguts però molt interessants per al món de l'enginyeria.
- Aportar millores a la Gestió de la Informació del Manteniment a partir de models de registre d'històrics d'avaries per a una posterior anàlisi i presa de decisions de manteniment adequades.
- Exposar i proposar tècniques simples per a l'optimització i millora de la gestió econòmica.
- Difondre la Metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance*) la qual aglutina la majoria de les tècniques de gestió i els aspectes claus del Manteniment en un sol mètode, com a font de millora dels indicadors bàsics del Manteniment (fiabilitat, disponibilitat, seguretat i mantenibilitat).
- Intentar millorar algunes de les tècniques d'anàlisi de la metodologia RCM, aportant una nova matriu de selectivitat per avaluar la criticitat dels efectes d'una avaria, un logigrama de decisions de les tasques de manteniment més adients o un diagrama de diagnosi d'avaries, entre d'altres.
- Exposar un cas pràctic d'aplicació real en el món industrial de la metodologia RCM per tal que el lector pugui observar de forma pràctica els aspectes rellevants de la seva implantació, els avantatges i inconvenients de la tècnica i els resultats que s'obtenen amb aquest mètode.

# **PART I: Fonaments del Manteniment per a la Gestió Integral**



## 1. GENERALITATS.

### 1.1. EL SERVEI DE MANTENIMENT

Avui en dia encara existeixen moltes empreses que utilitzen el Servei de Manteniment de la mateixa manera que hom requereix la presència dels bombers quan s'incendia un immoble, és a dir, es sol·licita la intervenció de Manteniment quan només després de produir-se l'aturada en una instal·lació o l'avaria en una màquina. Derivat d'un cert fenomen que "a priori" no estava previst, apareixen una sèrie de conseqüències que redueixen notablement el grau d'utilització de les màquines, equips i instal·lacions i que fan que hi hagi d'haver una acció "correctora" que normalitzi altre cop el sistema tal i com estava previst.

Aquest fenomen imprevist que pot tenir múltiples descripcions (incidència, fallada, avaria, anomalia, aturada, etc.) en funció de l'origen o naturalesa on es produeix, també té diverses formes de repercussió o conseqüències que podríem desglossar en quantitatives, per exemple econòmiques en el cost de reparació de la màquina, o també qualitatives, com podria ser amb la pèrdua de confiança de clients (per exemple en un servei d'internet contractat per diversos usuaris quan la línia no funciona). En aquest sentit és important destacar que en funció de la tipologia o model d'empresa, organització o servei es produirà una fenomen imprevist diferent i per tant, també hi haurà d'haver una tipologia de Servei de Manteniment diferent. D'aquesta forma es podrà afrontar de forma més eficient l'imprevist i el Servei permetrà incrementar la funcionalitat del seu sistema.

Un dels paràmetres universalment acceptats per mesurar l'eficàcia d'una organització de Manteniment és el nombre d'avaries o aturades de les màquines. Aquesta eficàcia serà elevada si l'organització és bona i els mitjans/recursos posats a la seva disposició són suficients per tal que la quantitat d'avaries sigui la menor possible.

Cal afegir que però que un servei de Manteniment no és un taller de reparacions, en el qual arriben els usuaris cada vegada que s'avaria una màquina com en el cas d'un taller d'automòbils.

Per tant i a grans trets podem definir que la Gestió del Manteniment és com un conjunt de tècniques i sistemes que permeten prevenir les avaries, efectuar revisions programades, lubricacions i reparacions eficaces, donant al mateix temps normes i procediments de correcte funcionament als operadors de les màquines (als seus usuaris) contribuint als beneficis de l'empresa. En definitiva, és un òrgan d'estudi que busca el que més convé a les màquines, amb l'objectiu d'allargar la seva vida útil de la forma més rendible. Un símil claríssim seria el de la Medicina que opera sobre l'home i en el cas del Manteniment sobre la màquina, amb les diferències òbvies que existeixen entre ambdós casos.

## 1.2. EVOLUCIÓ HISTÒRICA DEL MANTENIMENT

El Manteniment entès com a tal té pocs anys d'existència. Els automatismes, la robotització, la complexitat de les màquines, la seva informatització i control, la millora tecnològica dels materials i equips fins a límits que a dia d'avui es desconeixen, han anat dotant a aquest servei d'una importància cada vegada més creixent en el món empresarial.

Són varis els estudis que tracten el manteniment com un dels sectors més de l'economia. En qualsevol cas, segur que no fa falta demostrar que suposa una important quantitat en l'economia o el PIB d'un país. I tenint un pes important en aquesta economia general, segur que particularment per moltes empreses suposa una gran incidència en els seus costos i la seva productivitat, pel que una bona gestió del mateix pot convertir-se en un avantatge competitiu interessant a millorar dins del seu sector.

Per tal d'aproximar amb exemples aquesta creixent demanda de Manteniment de sistemes es detallen algunes anotacions interessants (Taula 1. Relació entre un operari de Manteniment i un de producció):

- Als EEUU fa 40 anys la proporció entre un operari de Manteniment i un operari de Producció era de 1/20. Fa 15 anys aquesta proporció va anar augmentant fins a 1/10. Avui en dia en molts tipus de complexos industrials americans (sobretot de tecnologia avançada) aquesta proporció pot arribar a ésser 1/1.
- A França, concretament dins la indústria química la proporció és de 1/3.
- A l'Estat Espanyol i en funció de la tipologia industrial, aquestes proporcions arriben a dia d'avui a les següents xifres:

Tipologia d'Indústria	OP Manteniment	OP Producció
Metal·lúrgica de Transformació	1	10 a 20
Siderúrgica pesada	1	3
Química	1	4
Petroquímica	1	1 a 2
Construcció	1	5 a 10

Taula 1. Relació entre un operari de manteniment i un de producció

És també important destacar a grans trets aquells aspectes més importants que han fet evolucionar històricament el Manteniment Industrial i que es poden observar a la figura de la pàgina següent (figura 1), els quals es desenvoluparan a mesura que avanci el present estudi per tal de copsar amb més detall l'aplicació que tenen cadascun d'ells, així com els canvis que provoquen per tal de dissenyar i integrar uns models viables dins de la gestió del Manteniment Industrial.

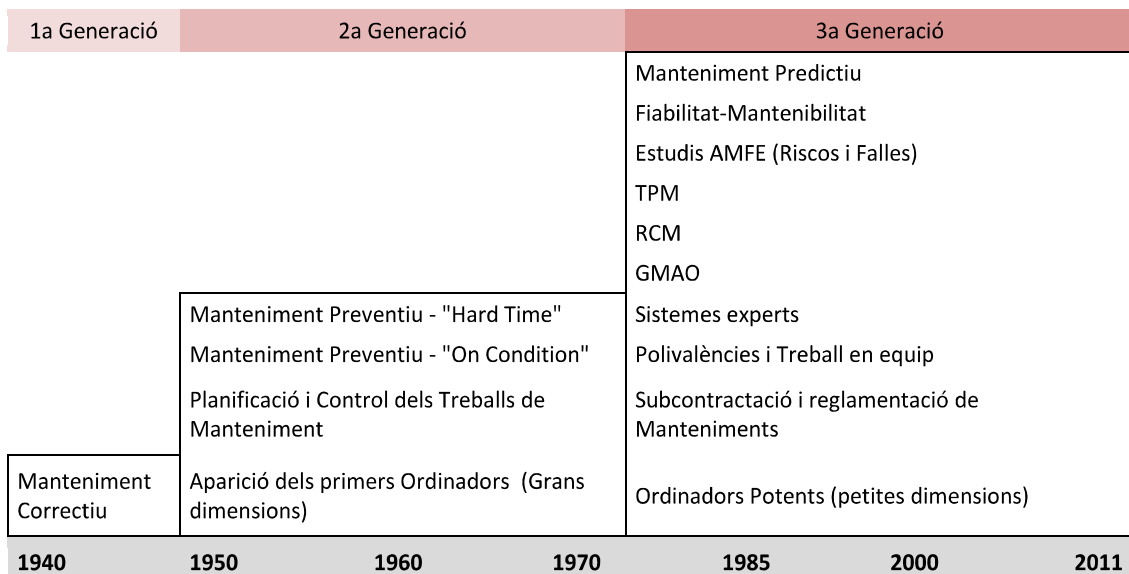


Figura 1. Evolució del Manteniment

Afegir també que els fabricants dels equips han desenvolupat en la història recent grans millores tan en els seus dissenys, com en els seus materials i muntatges de cara a incrementar la fiabilitat i la mantenibilitat de les màquines (més accessibles, recanvis normalitzats, serveis d'assistència de qualitat, entre d'altres), introduint elements de control que faciliten la predicció i el diagnòstic de les avaries.

Per últim esmentar que qualsevol sistema que s'utilitzi per sistematitzar el Manteniment exigeix d'immediat la necessitat de poder manejar amb agilitat i rigor un enorme quantitat de dades, i aquest procés no és possible sense utilitzar un GMAO (Gestió del Manteniment assistida per Ordinador o CMMS segons la bibliografia anglesa). La gestió de paquets capaços de donar cobertura a totes les àrees del manteniment o especialitats concretes (gestió de magatzems, llançament de programes de manteniment preventiu, càlcul de costos de reparació i de costos globals, històrics d'avaries, càlcul de fiabilitat de components i sistemes, etc.), que poden ésser sistemes integrats dins de l'organització de la companyia o elements independents només introduïts per a la gestió única del manteniment que ajudaran a extraure'n la informació necessària per assolir l'èxit del servei.

## 2. LA FUNCIO DEL MANTENIMENT EN L'ORGANIGRAMA DE L'EMPRESA

Per tal de detallar quina és la Funció del Manteniment en l'organigrama de l'empresa convé distingir dos aspectes importants d'aquest organigrama:

- La Ubicació d'aquest servei dins de l'organigrama de la societat, empresa o organització.
- L'Organigrama o estructura interna del propi servei.

### 2.1. ORGANIGRAMA DE L'EMPRESA.

Per estudiar el primer cas convé especificar quina ha estat l'evolució del Manteniment dins l'empresa a través de les diferents èpoques o edats del Manteniment, ja que existeixen encara empreses que viuen organitzativament el Manteniment en algunes de les formes primàries que existeixen. Aquestes etapes són les següents:

#### 2.1.1. Primera etapa. Artesania

Les diverses línies purament productives o de servei integren el seu propi Manteniment que, com és natural, atén únicament al correcte estat de les eines, útils, màquines (figura 2.).

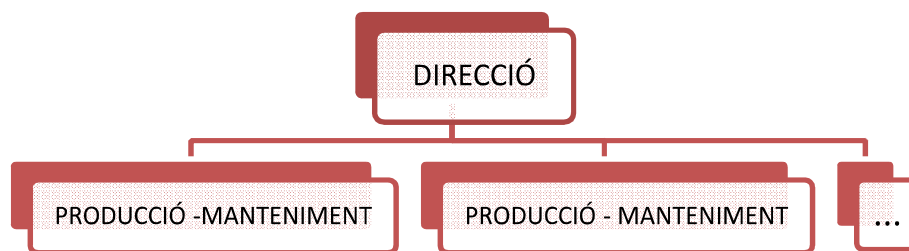


Figura 2. Primera etapa

És possible que a dia d'avui encara existeixi alguna empresa que funcioni d'aquesta manera però no es pot aconsellar aquest mètode primitiu en un món que va dirigit cap a l'especialització. Pot succeir que l'usuari tingui l'obligació d'unes atencions diàries cap a la seva màquina, però és el Servei de Manteniment qui estudia i estableix aquestes atencions, el que facilita al Servei de Producció o als usuaris les normes, i especifica els controls que li indiquin si aquestes operacions, motivades per raons econòmiques, es compleixen o no. Aquests controls valdran a més per un anàlisi de possibles millores: canvis de tipus de lubricant (olis i grasses), freqüències de lubricació, etc. Afegir que es pot entendre també com a Producció la prestació

o funció principal d'un edifici (de salut, hostaleria, educació, cinema, teatre, un estadi de futbol, etc.)

### 2.1.2. Segona etapa. Empresa històrica, organitzativament poc evolucionada o PIME.

Dins de la Producció, o servei, s'engloba el Manteniment precis dirigit als processos diversos; d'aquesta manera la gestió de la Direcció encomana les diferents fabricacions i el seu Manteniment a la línia directament productiva. La següent figura (figura 3) representa aquest organigrama.

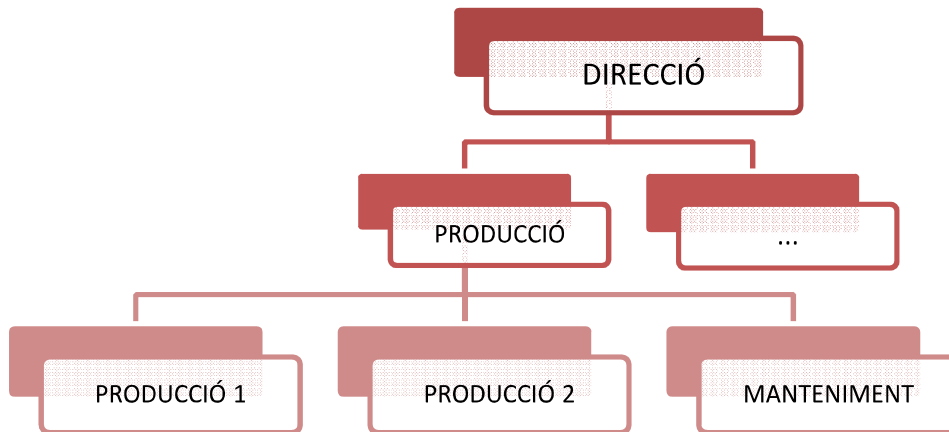


Figura 3. Segona etapa

### 2.1.3. Tercera etapa. Empresa organitzativament evolucionada de mida mitjana.

En aquest model el Manteniment (figura 4) ha adquirit el seu desenvolupament total. Les tècniques que utilitza, la quantitat de dades que gestiona, la responsabilitat que se li delega, li donen una entitat pròpia i adquireix un volum d'una importància que iguala les possibilitats de la branca de Producció. Es manté dins de la Direcció Tècnica però fora de la línia purament productiva.

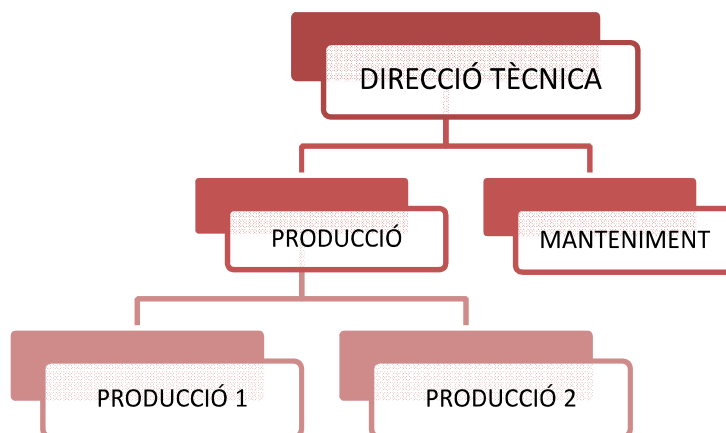


Figura 4. Tercer etapa

### 2.1.4. Quarta etapa. Aplicada a grans empreses integrades per diverses factories anàlogues.

Aquesta etapa (figura 5) també és aplicable a empreses mitjanes que no estiguin molt disperses geogràficament, però formada per divisions estanques i diferents.

El desenvolupament del Manteniment exigeix estudis, assajos, definició de recanvis, normalització, etc. de situacions comunes en les diferents factories degut a la seva complexitat, el volum econòmic que mou o per la categoria de les decisions que pren. Es crea llavors un òrgan “staff” de Manteniment a nivell de Direcció Tècnica que realitza els estudi pertinents i assenta les bases per a la presa de les decisions importants.

Aquesta solució s’aplica a empreses de dimensions macroscòpiques i grans edificis (torres, hospitals, universitats). No és el cas d’empreses amb diversos centres de treball dins de la mateixa regió que sol adoptar l’estructura anterior encara que plantegi el mateix tipus de problemes que en la d’aquesta etapa.

El caràcter “staff” d’aquest òrgan de Manteniment a nivell de Direcció es senyala a l’esquema, relacionant-lo amb el Manteniment a nivell de gestió productiva (mitjançant una línia en l’organigrama).

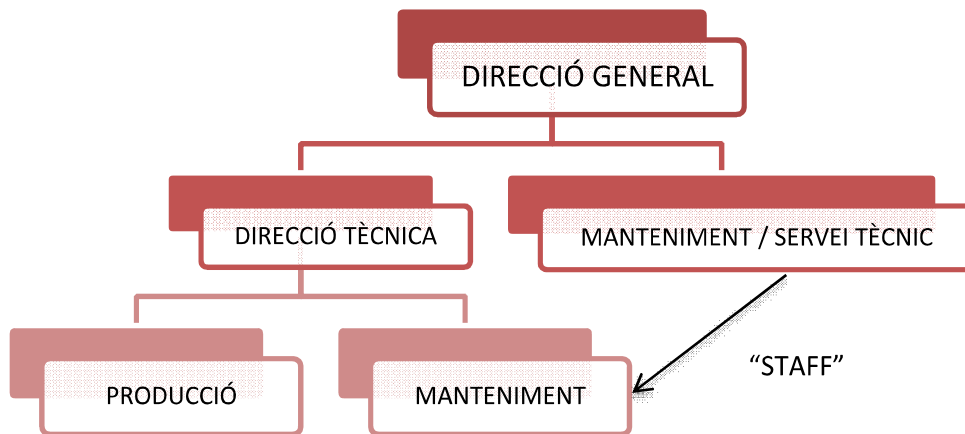


Figura 5.1. Quarta etapa A

En el segon cas (empreses amb diversos centres de treball no dispersos geogràficament, però formades per Divisions Estanques), adoptaria la forma següent (figura 5.2):

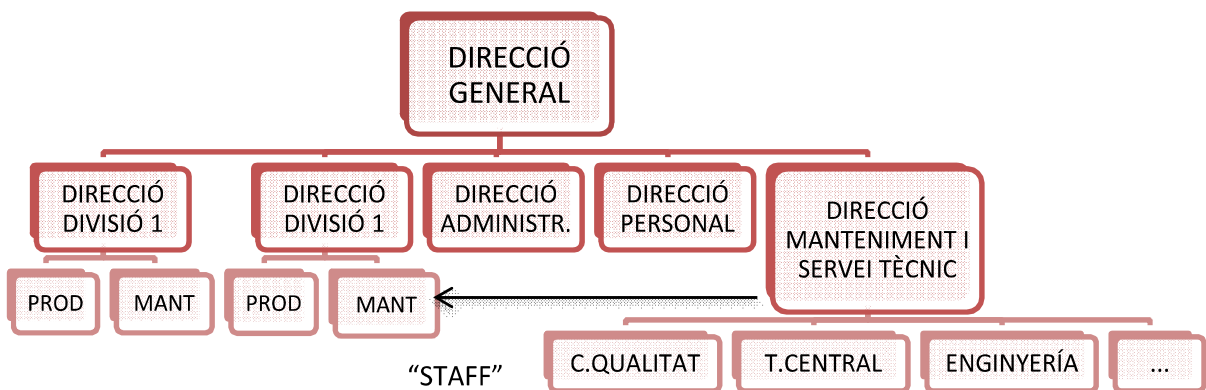


Figura 5.2. Quarta etapa B

### 2.1.5 Cinquena etapa. Grans complexos Industrials i grans Edificis, urbanitzacions, construccions, etc.

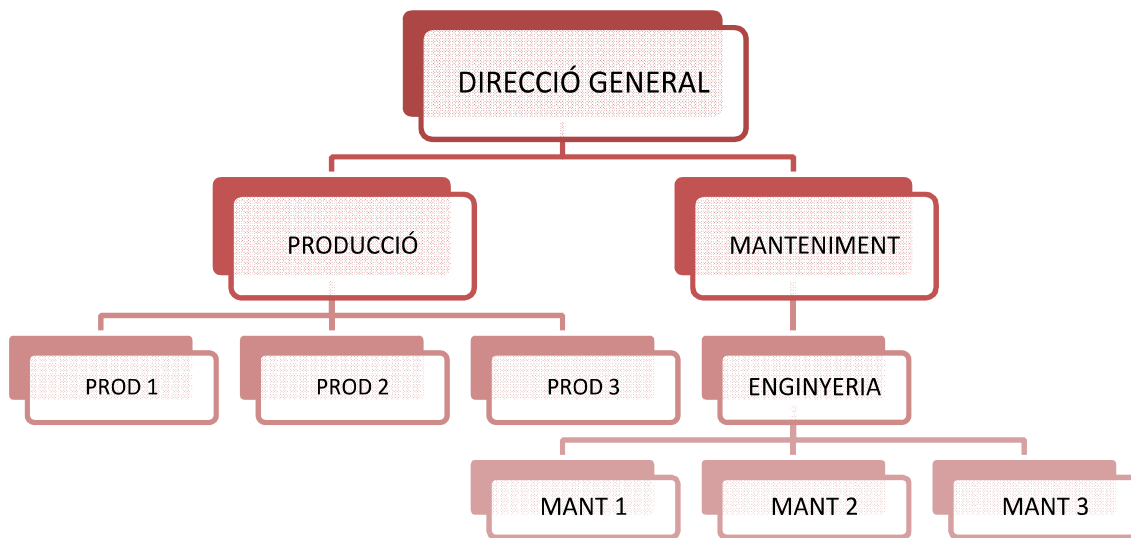


Figura 6. Cinquena etapa

En aquest cas, fabricació o producció o simplement els usuaris dels diversos centres 1, 2 i 3 estant coordinats per un sol cap (figura 6). Els equips o l'organització del Manteniment 1, 2 i 3 atenen als usuaris que ostenten la mateixa numeració, però coordinats per una cap superior de Manteniment que també dirigeix el departament d'Enginyeria.

Aquest cas és molt típic de grans complexos industrials amb diverses factories especialitzades, com per exemple refineries i plantes químiques.

Els casos de les etapes 4 i 5 són els més aconsellables i molts estudis creuen que la situació del Servei de Manteniment en aquesta forma descrita és la més adient, de fet és la que es troba més acceptada per la majoria d'organitzacions a nivell mundial.

## 2.2. ORGANIGRAMA INTERN DEL SERVEI DE MANTENIMENT

La Divisió o servei de Manteniment presenta internament una estructura que recull totes les funcions necessàries per atendre el seu objectiu. Els seus tres pilars fonamentals són: L'Enginyeria, el Taller (de reparacions, mecanitzats, calibracions, etc.) i el Manteniment pròpiament de Camp (Centre A i Centre B).

És un model aplicable que té en compte tots els òrgans de l'staff i executius del servei. Un esquema ideal seria el següent (figura 7):

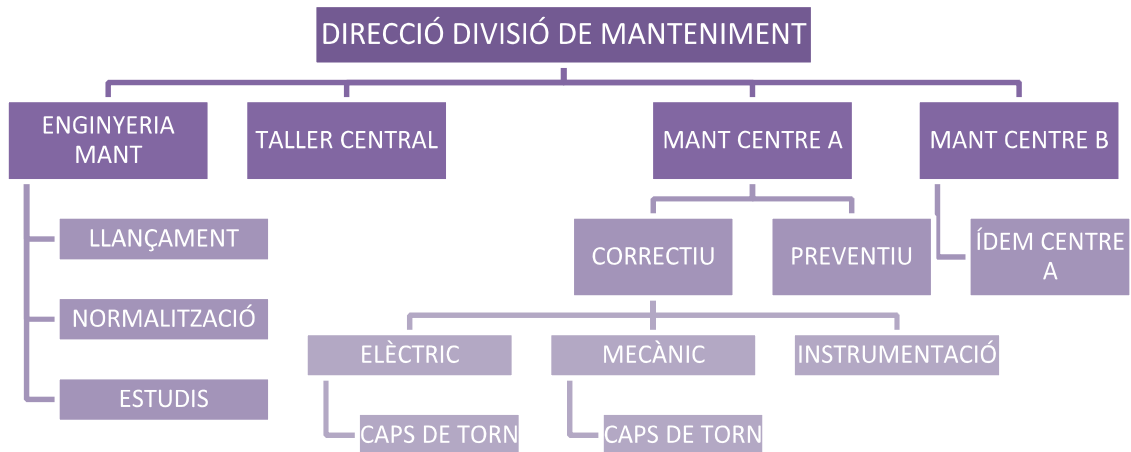


Figura 7. Organigrama intern actual del servei de Manteniment

### 2.3. LA RELACIÓ ENTRE EL DEPARTAMENT DE PRODUCCIÓ I EL DE MANTENIMENT

Encara existeix en l'actualitat una discussió interessant en relació al lideratge i/o la coordinació entre el departament de Producció i el de Manteniment per tal de designar quin dels dos òrgans ha de dirigir l'altre i/o quina és la forma organitzativa més adient d'integració. Tal i com s'ha exposat anteriorment, en algunes situacions el Manteniment es troba contingut dins del Departament de Producció i en d'altres no. Ambdues alternatives organitzatives són vàlides però és necessari que la direcció de la companyia apliqui uns objectius comuns per evitar interessos divergents, essent possible a partir d'indicadors globals de productivitat de la instal·lació de forma comuna a les dues àrees, assegurant d'aquesta manera la bona gestió i coordinació dels seus departaments. En algunes empreses a més, la figura de Direcció de Planta integral, lidera i arbitra els dos òrgans de forma conjunta. És important destacar que ambdós departaments són igualment influents alhora d'assolir els objectius empresarials de fabricació (o donar el servei). Normalment el departament de producció és el qui més coneix les peculiaritats del procés i el departament de manteniment qui té els coneixements propis de de la instal·lació en sí mateixa, per tant la tasca d'ambdues branques pren la mateixa rellevància. Tanmateix, i en funció de l'especialitat de l'empresa, el departament de Manteniment normalment cal que estigui format per un personal més qualificat que no pas el de producció, derivat de la complexitat tècnica que requereix la mantenibilitat de la planta, cosa que no és econòmicament viable d'exportar a la totalitat de la plantilla.

També és interessant destacar que a partir de les noves estratègies aplicades al Manteniment com ara el TPM (*Total Productive Maintenance*) així com el RCM (*Reliability Centered Maintenance*) s'aconsegueix integrar, optimitzar i simplificar els organigrames de Producció i de Manteniment de les empreses, ja que les intervencions mantenidores resultants són compartides tant pels usuaris (normalment absorbint les més simples com les neteges, ajusts, etc.) com pel personal de manteniment. Aquest fet provoca que cada vegada més s'impliqui al departament de producció alhora de tenir cura de la instal·lació, així com al departament de manteniment alhora d'assolir els indicadors de productivitat, reduint els temps de reparació, planificant i preparant de manera més eficient les intervencions i per tant millorant la utilització i disponibilitat de la maquinària, indicadors que són de producció.



D'aquesta manera ambdues organitzacions, que han estat històricament dividides en la rutina diària, col·laboren en totes les accions mantenidores, i per tant en la millora de la fiabilitat, la disponibilitat i la qualitat del procés.

### 3. OBJECTIUS DEL MANTENIMENT

El Manteniment s'ha d'entendre com un Servei. Les seves polítiques, objectius i formes d'actuació han d'ajustar-se a les estratègies empresarials y han de créixer i evolucionar de la mateixa forma que ho faci l'empresa ja que ha estat l'evolució i la supervivència d'aquesta empresa la que ha fet evolucionar el seu manteniment.

Aquesta evolució i el dinamisme que comporta ha de seguir unes directrius marcades, cal orientar aquest Servei segons les polítiques de la macroestructura empresarial i per altra banda s'han de crear altres polítiques internes i/o objectius particulars pròpies d'aquest òrgan. Per exemple, si una empresa té com a objectiu produir una sèrie de quantitat de producte "q" a un cert cost "c", el Servei de Manteniment també haurà de contemplar aquest objectiu general i haurà d'adaptar-se i organitzar-se per a obtenir aquesta meta. Però paral·lelament, el Cap de Manteniment fixarà unes polítiques i objectius tals com fixar unes freqüències de revisions, no traspasar una frontera de costos de Manteniment en funció del pressupost assignat per a la Direcció, determinar objectius de la disponibilitat del sistema, de la capacitat del Taller de manteniment, analitzar el compliment de les programacions de manteniment, etc.

En qualsevol cas, el Responsable d'aquest Servei informará als seus superiors d'aquestes polítiques internes o objectius, per tal de mesurar les desviacions que es vagin produint i de prendre les mesures correctives o reactivas oportunes.

Es pot descriure doncs l'objectiu fonamental del Servei de Manteniment com:

*- La consecució del màxim nombre d'hores disponibles de la planta, instal·lació, màquina o equip en unes condicions de qualitat de fabricació o servei exigít amb el mínim cost i el màxim de seguretat pel personal que utilitza i manté les instal·lacions i la maquinària, a partir del mínim de consum energètic possible i el mínim de repercussió mediambiental.*

Segons aquesta nova definició el Servei de Manteniment conté, aplica i millora una sèrie de conceptes que apareixen nous, aspectes que no tan sols es refereixen a la simple reparació d'un sistema (figura 8).

Tots aquests conceptes han d'ésser mesurables i s'han de poder traduir en una sèrie d'indicadors de control (per exemple com es representen a la taula 2.).

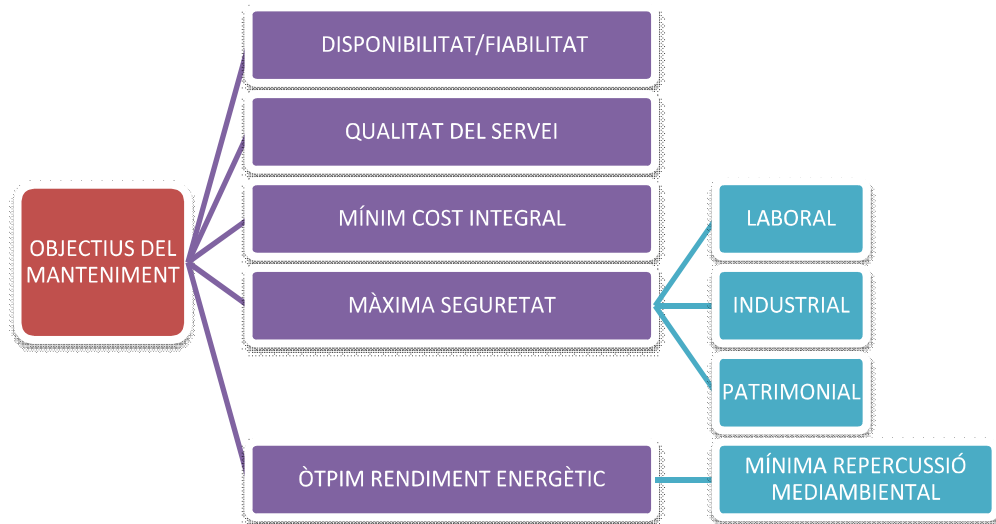


Figura 8. Els objectius del Manteniment

C. OBJECTIU	INDICADOR	DESCRIPCIÓ
<b>DISPONIBILITAT</b>	D	. % Hores de disponibilitat del Sistema / Objectiu marcat anual
<b>FIABILITAT</b>	$MTTBF=1/\lambda$	. Interval de temps entre avaries (parada de la instal·lació-màquina-component). .Taxa de fallada ( $n^{\circ}$ avaries/any)
<b>QUALITAT DEL SERVEI</b>	$Q=\sum Qp1v1$	. % Pèrdua de producte (p)/ servei, derivada d'una funció-condició-variable no controlada coneguda v
<b>COST INTEGRAL</b>	CT	. % Cost del Manteniment / Valor de les instal·lacions mantingudes . % Cost del Manteniment / Valor de Producció
<b>SEGURETAT L, I, P</b>	ACCB, ACSB, IF, IG	. Accidentabilitat . Índex de Freqüència (en funció de les hores treballades) . Índex de Gravetat
<b>RENDIMENT ENERGÈTIC</b>	CE	. % Millora consum Energètic (KW – Cost) . % Eliminació pèrdues energètiques
<b>REPERCUSSIÓ MA</b>	CMA	. Cost incompliment política MA (multes, sancions, etc) . Relació amb la Fiabilitat sistèmica

Taula 2. Indicadors de control del Manteniment

Existeixen també indicadors més globals que aglutinen tots els conceptes anteriors com és la taxa de rendiment sintètic (TRS) que pondera en un sol valor la suma d'objectius anteriorment descrits del Manteniment.

## 4. LA JORNADA DE TREBALL I EL MANTENIMENT

La jornada de treball influeix substancialment en el sistema de Manteniment en funció de la tipologia de la Indústria o Centre de Servei. En funció de si disposa de més o menys temps planificat de parada pot desplegar més intensament la seva activitat i les instal·lacions envelleixen abans o després. Aquest fet permetrà utilitzar en major o menor grau tècniques, sistemes, i organitzacions de Manteniment. Per exemple, una empresa que treballi a tres torns necessitarà un potent Manteniment Preventiu, mentre que la que ho faci tan sols a un torn potser podrà prescindir d'aquest tipus de Manteniment.

A títol orientatiu es desglossen les tipologies de Jornades de Treball més importants i els Temps disponible que pot aplicar-se de Manteniment Setmanal (taula 3).

TIPOLOGIA DE JORNADA I TEMPS DISPONIBLE SETMANAL DE MANTENIMENT				
TIPUS	JORNADA	SERVEI (H/Setmana)	TEMPS DISPONIBLE (parada) SENSE INTERFERIR AMB EL SERVEI (H)	TIPOLOGIA D'EMPRESA
	<b>SIMPLE</b>			
1	8hx5dies	40	16h/dia + 2 dies/set = 128 h	Tallers
2	10hx5dies	50	14h/dia + 2 dies/set= 118 h	Petites empreses
3	12hx5dies	60	12h/dia + 2 dies/set= 108 h	Aviació 1
	<b>DOBLE</b>			
4	2x8hx5dies	80	8h/dia + 2 dies/set = 88 h	Empreses de Servei
5	2x8hx5dies+dissabte	88	8h/dia + 1 dia + 16 h = 80 h	Edificis 1
6	2x8hx6dies	96	8h/dia + 1 dia = 72 h	Aviació 2
7	2x8hx7dies	112	8/dia = 56 hores	Siderometal.lúrgiques
	<b>TRIPLE</b>			
8	24hx5 dies	120	2 dies	Prod. Semi continua
9	24hx5,5 dies	132	1,5 dies	Constructores
10	24hx6 dies	144	1 dia	Obres Públiques
11	24hx7dies	168	La planta es troba permanentment en marxa. Les parades de Mt. es coordinen i es negocien amb l'usuari de les instal·lacions.	Edificis 2
				Processos continus
				Plantes Químiques
				Refineries
				Alts Forns
				Gas, Aigua
				Electricitat
				Hospitals, C. Sanitaris
				Embarcacions

Taula 3. Tipologies de Jornades i temps disponibles de Manteniment

Es pot observar que en funció de cada tipologia de Jornada, que va molt lligada a la tipologia del procés productiu o de servei, es podran emprar diverses formes de servei de Manteniment. És precisament per aquest motiu i per aquesta evolució del procés productiu, provocat per la demanda i l'exigència del mercat així com l'optimització de l'economia de l'empresa, que han anat apareixent desenvolupant-se noves formes i diverses del Manteniment per tal d'adaptar-se i de millorar el procés.

## 5. FONAMENTS CIENTÍFICS DEL MANTENIMENT.

Aquest capítol pretén establir els fonaments rigorosos i científics del Manteniment, dedicat especialment a tasques d'investigació i a casos particulars d'optimització.

### 5.1. EL PROCÉS DE MANTENIMENT

Des del punt de vista de la capacitat per a satisfer les necessitats d'acord amb unes especificacions establertes, tots els sistemes creats per l'home podrien trobar-se en un dels següents estats:

- Estat de Funcionament
- Estat de Fallada
- Estat de Disponibilitat

Existeixen una multitud de sistemes els quals la seva funcionalitat es pot recuperar, aquests sistemes s'anomenen sistemes recuperables.

Perquè un sistema recuperi la seva capacitat de realitzar una funció és necessari realitzar unes tasques específiques, anomenades tasques de Manteniment. Les més comuns són:

*Neteja, ajust, lubricació, pintura, calibració, substitució, reparació, restauració, renovació, reconstrucció...*

Sovint és necessari realitzar la suma de més d'una d'aquestes tasques per a recuperar la funcionalitat del sistema després del fallada. A més d'aquestes tasques com a consecutives després del fallada durant l'operació, un sistema pot requerir tasques addicionals per mantenir-lo en un estat de funcionament. Generalment aquestes altres activitats són menys complexes que les necessàries per a la recuperació de la funcionalitat, essent típiques les següents:

*Neteja, ajust, lubricació, comprovació i inspecció.*

Per arribar a l'Estat de Funcionament és necessari ajudar al sistema. Aquesta és una de les diferències entre un element creat per la Naturalesa i un element creat per l'home, ja que el primer és capaç en la majoria dels casos d'autoajudar-se mentre que en el segon cas és necessària l'ajuda externa. El procés durant el qual s'aconsegueix altra vegada la capacitat del sistema per a realitzar una certa funció és el que alguns estudis anomenen el Procés de Manteniment.

### 5.2. CLASSIFICACIÓ DE LES TASQUES DEL MANTENIMENT

Les tasques de Mt. Es poden classificar en tres categories:

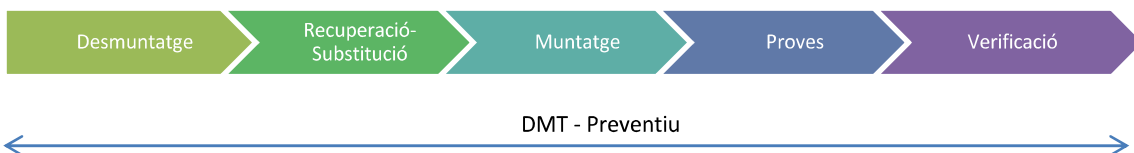
- a) Tasques de Mt. Correctiu
- b) Tasques de Mt. Preventiu
- c) Tasques de Mt. Condicional o Predictiu

a) Tasques de Mt. Correctiu (Corrective Task, CRT)

Aquestes activitats són les que es realitzen per a recuperar la funcionalitat del sistema i consta d'una sèrie de fases essent el valor DMT (Duration of Maintenance Task) una variable aleatòria i probabilística.

b) Tasques de Mt. Preventiu (Preventive Task, PRT)

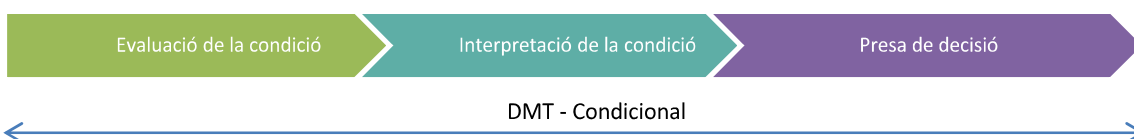
Són les que s'executen per a reduir la probabilitat de fallada del sistema o per maximitzar el benefici operatiu. Una tasca típica és la següent:



Les tasques de Mt. d'aquest tipus es realitzen abans de que es materialitzi l'avaría o fallada amb l'objectiu principal de reduir tan el cost del Manteniment de reparació com la Probabilitat de fallada. Les activitats més comunes són les substitucions de components, renovacions, les revisions generals, etc. efectuades en intervals fixes, al marge de la condició o l'estat real del sistema o els seus components.

c) Tasques de Mt. Condicional (Conditional Maintenance Task (COT))

Aquest procediment reconeix que la raó principal per a realitzar el Mt. és el canvi a partir d'una condició i/o de les seves prestacions, i que l'execució de les tasques de Mt. Preventiu ha d'estar basada en l'estat real de l'element o el sistema. D'aquesta forma, mitjançant la vigilància de certs paràmetres seria possible identificar el moment més convenient en el qual s'han de realitzar les tasques de PRT. Una tasca COT consta de les següents activitats:



La tasca de Manteniment Condicional és un reconeixement de que la principal raó per portar a terme el manteniment és el canvi d'una condició i/o prestació i la seva avaluació, que permetrà identificar l'instant de temps més oportú per realitzar la tasca de manteniment Preventiu.

Els paràmetres de vigilància de la condició són:

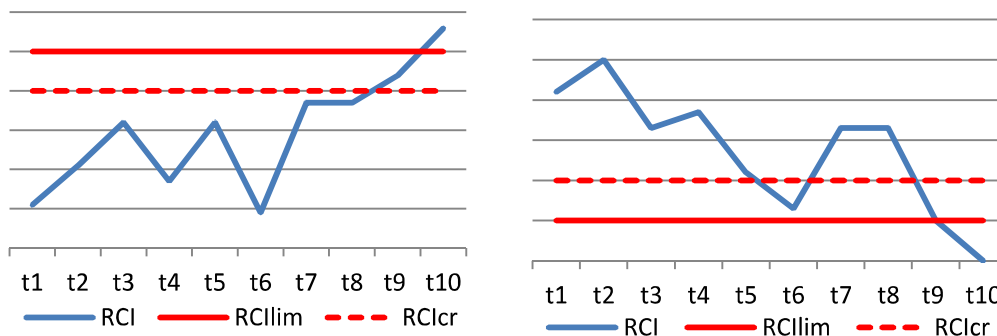
1. Indicador adequat de la Condició (Relevant Condition Indicator, RCI)
2. Valor indirecte adequat de la Condició (Relevant Condition Predictor, RCP)

### 1) RCI

És un paràmetre observable que indica la condició d'un element o sistema en el mateix instant de la comprovació (per exemple nivell, velocitat, temperatura, tensió, pressió, cabal, etc.)

La condició de l'element o sistema serà satisfactori sempre i quan el valor RCI es mantingui per sota o per sobre d'un nivell crític  $RCI_{cr}$ , en funció de si és una variable de mínims o de màxims. Quan aquesta variable mesurada iguali o superi aquest valor, s'ha de realitzar la tasca de Manteniment necessària ja que l'avaría es desencadenarà tan bon punt s'arribi al valor límit  $RCI_{lim}$ .

Destacar també que la condició RCI pot tenir valors idèntics en diferents instants de temps operatius (veure gràfica 1).



Gràfica 1. RCI superior o inferior

#### TI - Inspecció condicional

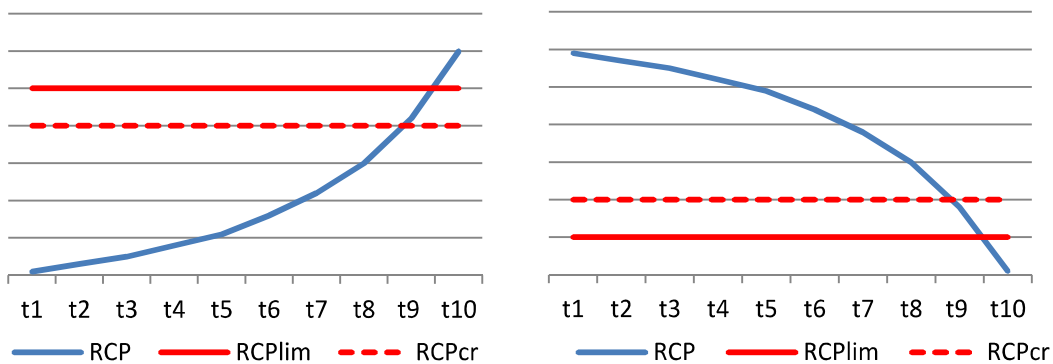
És la labor que determina el temps i el valor de RCI. Aquestes tasques i els seus resultats no tenen cap efecte en la programació de la següent comprovació. Abans de posar en funcionament l'element o sistema es determinarà la freqüència de les inspeccions més convenientes (TI). Durant l'operativa de l'element o sistema es realitzaran les inspeccions a uns intervals fixes específics, fins que s'arribi al nivell crític  $RCI(TI) > RCI_{cr}$ , moment en el qual es realitzaran les tasques de manteniment preventiu descrites.

## 2) RCP

És un paràmetre observable que descriu la condició d'un element en cada instant de temps operatiu. Aquest paràmetre es troba relacionat amb la forma, geometria, el pes, espessor, longitud de les esquerdes, diàmetre d'un cilindre, etc.

La condició de l'element és satisfactòria sempre i quan el valor RCP es trobi per sota o per sobre d'un nivell crític  $RCP_{cr}$  en funció de si la variable mesurada és de màxims o de mínims. En aquest punt s'ha de realitzar la tasca de manteniment Preventiu perquè l'avaría o fallada succeirà posteriorment quan s'arribi al valor límit  $RCP_{lim}$ .

És necessari recalcar que el valor RCP no pot tenir valors idèntics en dos instants de temps diferents. Això significa que el valor RCP creix o decreix contínuament durant el temps d'operació (segons una recta o una corba de tendència. Veure gràfica 2 i 3.).



Gràfica 2 i 3. RCP superior o inferior

### TE- Examen condicional

És la labor que té com a resultat una descripció numèrica de la condició de l'element en un instant de temps a través del valor RCP. Contràriament al que s'ha descrit de la Inspecció (TI), els resultats de l'examen afecten directament a la programació del següent examen (TE<sup>n</sup>) en funció de la tendència. Això és possible degut a les propietats i característiques úniques del valor RCP.

Abans de que l'element comenci a funcionar, es determina solament el temps òptim TE1 per a l'execució del primer examen, conjuntament amb el nivell crític del paràmetre RCP<sub>cr</sub>. En aquest moment primer es descriu numèricament la condició de l'element RCP (TE1) essent possible les opcions dobles següents:

- $RCP (TE1) > RCP_{cr}$ ; s'ha de realitzar el Mt. Preventiu
- $RCP (TE1) < RCP_{cr}$ ; es pot continuar utilitzant l'element o sistema i es fixa el següent TE2.

### 5.3. POLÍTICA DE MANTENIMENT BASADA EN LA FALLADA (*Failure Based, FB*)

En aquest model de manteniment es realitzen les tasques de Manteniment Correctiu després de que succeeixi l'avaría o fallada, amb l'objectiu de recuperar la funcionalitat de l'element o sistema considerat. Aquest és el mètode tradicional de la reparació d'avaries. S'aplica als elements en els quals la seva pèrdua de funcionalitat no repercuteix a nivell de seguretat de l'usuari/entorn, o en funció de les conseqüències econòmiques del fallada.

Els seus principals avantatges, inconvenients i principals característiques son:

<b>AVANTATGES</b>	1. Utilització Total durant la vida operativa de l'element.
	2. El Temps mig fins el Manteniment (MTTM - Mean Time To Maintenance) és idèntic al Temps mig fins a la fallada (MTTF- Mean Time To Failure). Coeficient d'utilització de 1.
<b>INCONVENIENTS</b>	1. El fallada pot derivar en altres danys a d'altres elements del sistema o el propi sistema. Normalment una reparació després d'una avaría sol representar 3 o 4 vegades el cost d'un M.Preventiu
	2. Temps incerts en l'aparició de l'avaría. Manca de Planificació del Manteniment. Pot representar majors temps d'immobilització del sistema.

### 5.4. POLÍTICA DE MANTENIMENT BASADA EN LA DURADA DE LA VIDA DEL SISTEMA (*Life Based, LB*)

En aquest mètode es realitzen tasques de Manteniment preventiu a uns intervals fixes, que són funció de la distribució de vida dels elements considerats pels fabricants. Com que el principal objectiu és prevenir el fallada i les seves conseqüències, al LB se'l denomina habitualment política de Manteniment Preventiu o Planificat ja que és possible planificar totes les tasques i proporcionar tots els recursos precisos.

El temps per efectuar el MP es determina inclús abans de que l'element hagi començat a funcionar. Si l'element falla abans del Temps Planificat l'usuari haurà de realitzar les tasques de Correctiu.

Aquesta política pot aplicar-se amb efectivitat a elements o sistemes que compleixin els següents requisits:

- a) Al realitzar l'activitat es redueix la probabilitat de fallada/avaría en un futur.
- b) El cost total d'aplicar aquesta política és substancialment menor que el de la política de manteniment FB.
- c) L'observació de la condició de l'element no és tècnicament factible o econòmicament inacceptable.

De totes maneres aquesta política té un greu inconvenient i és el cost de reemplaçar prematurament la majoria dels elements independentment del seu estat, el qual només té en compte el cicle de vida útil teòric però no el real.



### 5.5. POLÍTICA DE MANTENIMENT BASADA EN LA INSPECCIÓ (*Inspection Based, IB*)

La inspecció és una tasca de manteniment Condicional, tal i com s'ha descrit anteriorment en la classificació de les tasques de Manteniment, i que té com a resultat un informe sobre la condició de l'element, és a dir, si la condició és satisfactòria o no, determinada a través del seu RCI posteriorment s'executarà una intervenció de manteniment. Val a dir també que els resultats obtinguts no tenen cap efecte sobre la programació de la següent inspecció.

Abans de que l'element o sistema es posi en servei es determina la freqüència més adequada per a les inspeccions TI (figura 9). D'aquesta manera s'anirà repetint l'inspecció durant l'operació amb intervals fixes especificats fins que s'arribi al nivell crític RCI (TI) > RCIcr, moment en el qual es realitzen les tasques de manteniment Preventiu planificat prescrites. Si l'element falla entre inspeccions s'haurà d'executar un Correctiu.

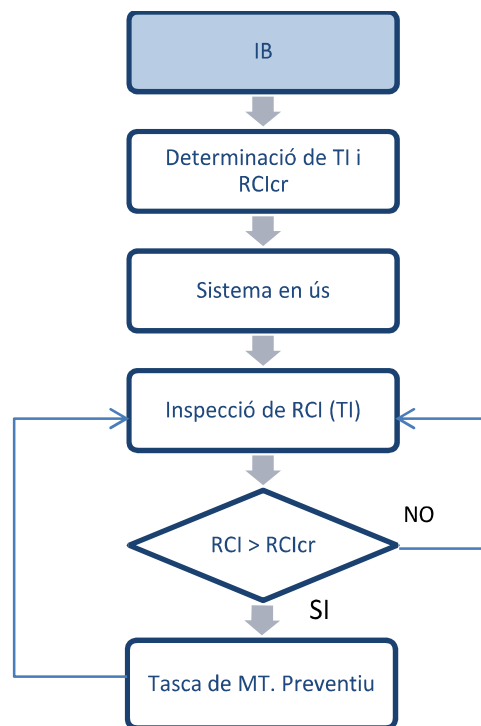


Figura 9. Seqüència IB

Si el que es pretén és optimitzar el manteniment IB s'haurà de deixar variable el termini d'inspecció TI per obtenir, per exemple, un nivell de fiabilitat exigít Rr. Aquest fet succeeix quan es té la necessitat de que el sistema tingui una probabilitat de fallada molt baixa o una fiabilitat elevada.

El coeficient d'utilització de la vida de l'element, substitució de la qual es basa segons la condició que presenta, es pot determinar segons l'expressió següent:

$$CU^i = \frac{MTIR}{MTTF} = \frac{\int_0^{\infty} R_{RCIcr} dt}{MTTF}$$

*MTIR representa el temps mig fins a la substitució de l'element,  
MTTF el temps de vida útil  
CU el coeficient d'utilització*

Per mantenir un nivell de fiabilitat  $R_r$ , utilitzarem el concepte de Fiabilitat Condicional, la qual segueix la fórmula següent:

$$R_r = \frac{R(TI^{i+1})}{R(TI^i)}$$

Aquesta fórmula permetrà determinar els intervals  $TI_1, TI_2 \dots TI_n$  de les inspeccions condicionals, però aquestes inspeccions sempre seran fixes.

## 5.6. POLÍTICA DE MANTENIMENT BASADA EN L'EXÀMEN DE LA CONDICIÓN (EB)

Les tasques de Mt. Preventiu basat en la durada de l'element (LB) es realitzen obligatòriament en un moment determinat TP. La programació de les tasques de Manteniment es basen en les característiques de fiabilitat dels elements considerats, d'acord amb l'expressió:

$R(TP) = P(TTF > TP) = R_r$  essent:

TTF = variable aleatòria que representa el temps fins a la fallada

$R_r$  =nivell de fiabilitat exigít

$R(TP)$  = valor de la funció de fiabilitat en l'instant TP

Per augmentar el nivell d'utilització dels elements substituïts preventivament, conservant una baixa probabilitat de fallada durant l'operació, és necessari obtenir més informació sobre el comportament al llarg del procés operatiu o de funcionament. La Funció de Fiabilitat representa la principal font d'informació, l'únic camí és crear un nou enfoc de la fiabilitat que pugui subministrar una imatge més completa del procés de canvi de la condició dels elements considerats.

Per això s'haurà de determinar la fiabilitat basada en un estimador adequat d'aquesta condició RCP. Aquest mètode subministra informació addicional sobre el canvi de la condició dels elements considerats durant la seva vida operativa. Per tant, mitjançant el subministrament d'una informació més completa del procés de canvi de la condició, es pot arribar a un nivell més elevat d'utilització dels elements (CU) conservant una baixa probabilitat de fallada durant l'operació.

Aquest és un procés més dinàmic, perquè el temps per a la realització del següent examen es determinarà a partir de la condició real del sistema després de cada valor mesurat.

El control dinàmic de les tasques de manteniment permeten que cada sistema individual realitzi la funció requerida amb la seva probabilitat de fallada ( $R_r$ ) exigida, com en el

cas del manteniment basat en la vida del sistema (LB) però amb un coeficient d'utilització notablement superior, millorant per tant la reducció del cost de l'operació.

### 5.6.1 MÈTODE RCP PER DETERMINAR LA FIABILITAT

El mètode convencional per determinar la fiabilitat a través del temps fins arribar al fallada considera l'element com una "caixa negra" que realitza la funció requerida fins que falla. Estadísticament aquest fet és interessant però no ho és per les persones expertes en el Manteniment ja que vol conèixer què succeeix dins d'aquesta "caixa".

Per aquest motiu és necessari introduir el concepte d'estimador, que és una paràmetre lligat directa o indirectament a l'element i a les seves característiques, i que descriu la condició d'aquest element durant la seva vida operativa i que satisfà els següents requisits:

- a) Descripció completa de la condició de l'element
- b) Canvi continu i monòton durant el temps operatiu
- c) Definició numèrica de la condició de l'element

Un element està funcionant quan el seu estimador de condició es troba en un interval definit pel seu valor inicial  $RCP_{in}$  i el seu valor límit  $RCPlim$ . Quan aquest estimador supera el seu valor límit es presenta la transició a l'estat de fallada.

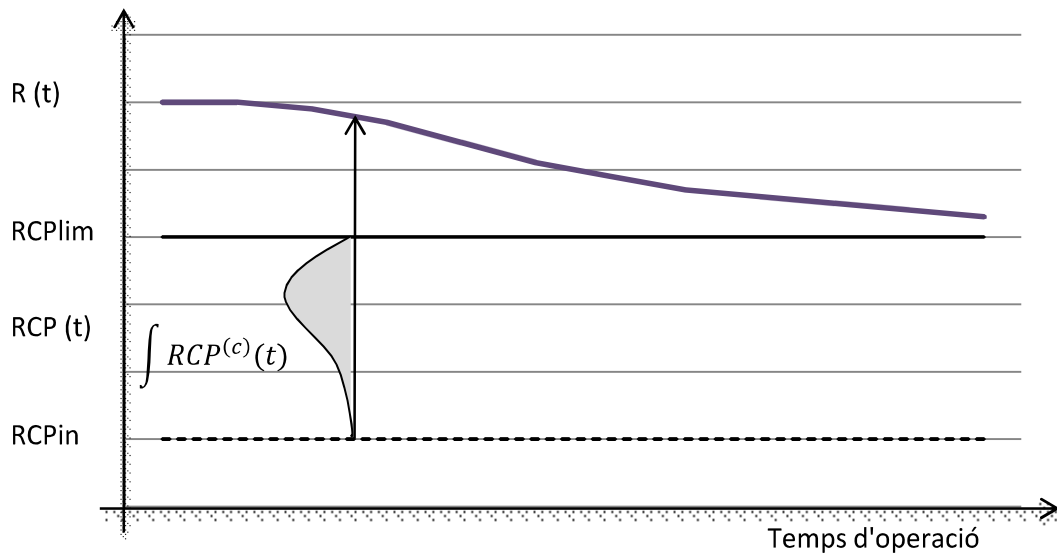
L'estudi dels processos de canvi de la condició demostra que és impossible la seva predicció, perquè estan condicionats tan per factors externs (degradacions forçades) com per l'evolució de processos interns (físics) de l'element.

En tot el temps operatiu, l'estimador de la condició  $RCP(t)$  és una variable aleatòria que només es pot representar mitjançant la seva distribució de probabilitat. La funció de densitat de l'estimador de la condició en un instant de temps  $t$ , s'expressa per la funció  $f_{RCP(t)}(c)$ ;  $C = \text{condició}$ .

La probabilitat de que l'estimador de la condició es trobi dins de l'interval admès a l'instant  $t$ , és també la probabilitat d'operació satisfactòria de l'element, que no és res més que la fiabilitat en el temps  $R(t)$ .

$$P(RCP_{in} < RCP(t) < RCPlim) = \int_{RCP_{in}}^{RCPlim} f_{RCP(t)}(c)dc = R(t)$$

L'equació anterior descriu la probabilitat de que en un instant  $t$  la variable aleatòria  $RCP(t)$  tingui un valor dins d'un interval acceptable, és a dir representa la probabilitat de que l'element mantingui la seva funcionalitat durant un temps  $t$ , tal i com mostra la figura següent:



Gràfica 4. Fiabilitat d'un element

D'aquesta forma es pot observar una imatge més completa de la fiabilitat de l'element durant la seva vida operativa, perquè es basa en un procés continu de canvi, mentre que el mètode del temps fins arribar al fallada es basa tan sols en els moments de transició cap a l'estat de fallada. La informació sobre els canvis de la condició de l'element és una informació molt valuosa pel gestor del manteniment.

#### 5.6.2 MÈTODE RCP PEL MANTENIMENT

Tal i com s'ha comentat anteriorment com que el nivell de fiabilitat exigida tan sols es pot mantenir aplicant una política de manteniment Preventiu, el mètode RCP ha d'introduir el nivell crític de l'estimador de la condició RCPcr, a partir del qual es realitzaran les tasques de manteniment. L'interval entre RCPlim i RCPcr es coneix com l'interval de Seguretat.

Des del punt de vista del Mt, el valor de RCP de l'element considerat pot estar (en qualsevol instant t) en un dels tres estats següents:

- 1)  $RCPin < RCP(t) < RCPcr$ . Es prossegueix a una posterior inspecció o examen.
- 2)  $RCPcr < RCP(t) < RCPlim$ . És necessària la realització del Mt. Preventiu.
- 3)  $RCPlim < RCP(t)$ . És necessària la intervenció de la tasca Correctiva perquè el fallada ja ha succeït.

El moment del primer examen (TE1) ve expressat en alguna de les unitats operatives: km, hores, anys, etc. Fins aquest instant de temps es manté la probabilitat exigida d'operació fiable ( $R_r$ ) representada per la següent expressió:

$$R(TE1) = P(RCP(TE1) < RCPlim) > R_r$$

El resultat de l'examen es dona mitjançant el valor de l'estimador de la condició, MRCP (TE1), que representa la condició real de l'element en aquest instant de temps. En relació a aquest valor registrat es poden donar les dues situacions següents:

- 1) MRCP (TE1) > RCPcr. S'ha de realitzar la tasca de Mt.
- 2) MRCP (TE1) < RCPcr l'element pot seguir en funcionament.

De totes maneres és necessari plantejar-se la necessitat de determinar en quin moment caldrà realitzar l'examen següent mantenint el nivell de fiabilitat exigít i com es pot determinar la seva freqüència. En aquest sentit el temps fins el següent examen dependrà de la diferència entre RCPcr i MRCP (TE1). Si aquesta diferència és molt gran, major també serà el temps d'operació fins a l'examen següent TE2 i viceversa. Es pot emprar la equació següent:

$$\int_{TE_1}^{t_2} f(t, MRCP(TE1)) dt = \int_{MRCP(TE1)}^{RCPcr} f(RCP(TE2)(c)) dc \text{ on:}$$

$f(t, MRCP(TE1))$  és la funció de densitat de la intersecció horitzontal de la funció aleatòria RCP (t) en relació amb el nivell MRCP (TE1)

$f(RCP(TE2)(c))$  és la funció de densitat de la intersecció vertical de RCP (t) en l'instant de l'examen següent.

Per a cada  $TE_n$  es pot utilitzar l'algoritme següent:

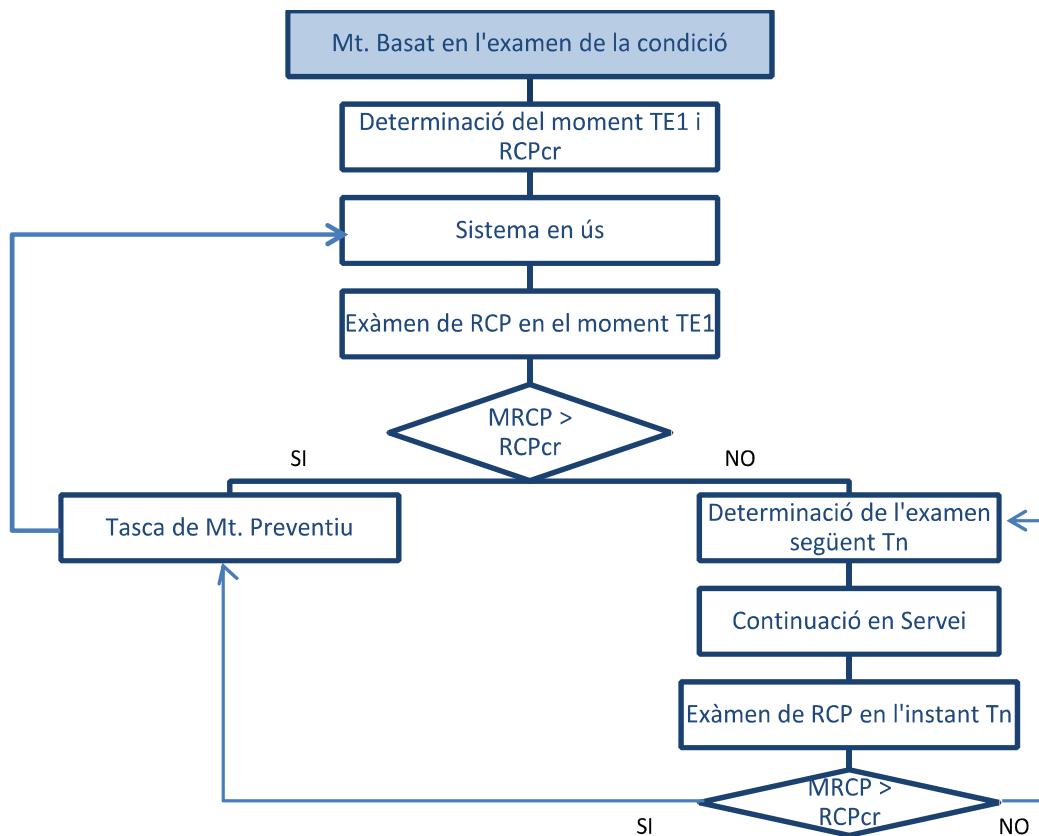
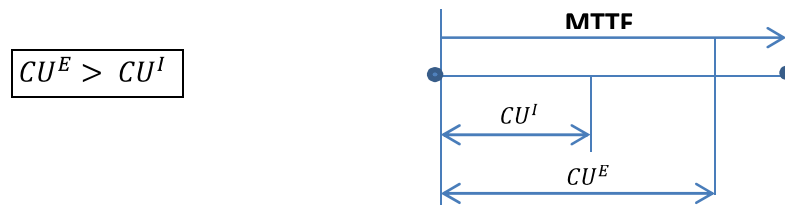


Figura 10. Seqüència d'un Manteniment "on condition" basat en l'examen de la condició.

Com a conseqüència de l'examen en el temps TE1 es realitzaran o no unes tasques de manteniment Preventiu proporcionant sempre una fiabilitat exigida al sistema fins que s'arribi a un valor crític RCPcr.

Els avantatges d'aquesta política en relació a la de inspecció són clars ja que el coeficient d'utilització de l'element s'aproximarà al temps mig abans del fallada MTTF.



El mètode RCP permet determinar l'estratègia òptima de Manteniment i és dels pocs mètodes que consideren el nivell de fiabilitat requerit com a criteri d'optimització. Els seus avantatges i inconvenients són:

- 1) Completa utilització de la vida operativa de cada element.
- 2) Proporciona un nivell de Fiabilitat exigida a cada sistema de forma individual.
- 3) Redueix el cost de Manteniment.
- 4) És aplicable a totes els sistemes d'enginyeria.
- 5) De totes maneres les seves principals dificultats són la selecció de l'Estimador de la condició i la determinació de la descripció matemàtica més adient RCP(t) del comportament de l'element o sistema en cada un dels camps de Manteniment.

### 5.6.3 ASPECTES IMPORTANTS DE L'UTILITZACIÓ A LA PRÀCTICA DE L'ESTIMADOR

Durant la pràctica diària del manteniment en una instal·lació els mantenidors no disposen dels coneixements ni de temps suficient per a poder determinar la descripció matemàtica adequada de fiabilitat dels elements mantenibles per tal de poder fixar els moments idonis de l'examen de la condició ( $TE_n$ ). A més els equips en la realitat no sempre segueixen un model de fiabilitat ideal perquè apareixen en major proporció les degradacions forçades que no pas les degradacions naturals, fallades que no són fruit de la degradació normal de l'element per envelliment sinó per un mal ús (de l'usuari o del mantenidor) o per unes condicions externes a l'element que no són les adequades i que afavoreixen l'avaría.

Els responsables de manteniment solen ser més pràctics i conservadors alhora d'assignar el temps d'examen de la condició d'un element. A diferència del manteniment basat en la inspecció de la condició que té unes freqüències fixes de revisió, pel cas de l'assignació del moment oportú del següent examen de la condició, els gestors de manteniment varien les freqüències de revisió en funció de l'estat de l'element a partir de la tendència descoberta durant les últimes revisions. Pel cas d'elements o equips nous (instal·lats recentment) en els quals es desconeix el comportament en funcionament, és vital seguir les indicacions del fabricant (que prèviament fixa unes freqüències de revisió en els seus manuals) i després d'un període conegut es revaluen altra vegada les freqüències de l'examen, essent el més important que l'element no arribi en cap cas a la fallada.

## 6. TIPUS I CLASSES DE MANTENIMENT

Un cop resumits els fonaments científics bàsics del manteniment és important destacar que a la praxis del món del manteniment industrial, sense tenir en compte els fabricants específics de components ni els sectors pioners d'alta innovació tecnològica que utilitzen metodologies específiques (programes informàtics probabilístics, sistemes experts d'automanteniment, entre d'altres), en l'actualitat s'utilitzen generalment una sèrie de tipologies de manteniment que són les que es detallen a continuació.

### TIPOLOGIES ACTUALS DE MANTENIMENT

- **Manteniment Preventiu** (Programat).
  - o **D'Ús (MUS)**. Manteniment que executa l'usuari de l'equip (neteja, lubricació, petits ajusts).
  - o **Hard Time (MHT)**. Reparació i/o substitució completa de l'equip.
  - o **On Condition (MOC)**. Exposat anteriorment com el manteniment d'inspecció de la condició.
- **Manteniment Correctiu o Curatiu** (Imprevist o Programat)
- **Manteniment Predictiu**. Mt. basat en l'examen de la condició. Inclou els AND "Assajos no destructius" (anàlisi de vibracions, de partícules, soldadures, termografies, etc.)
- **Manteniment Modificatiu/Proactiu**. Actua sobre la causa arrel de la incidència (redissenya la instal·lació). Es desglossa en:
  - o **Prevenió del Manteniment (PM)**
  - o **De Projectes**
  - o **De Reacondicionaments sistemàtics (MRS)**
  - o **Selectiu (MS)**
- **Manteniment Energètic i Ambiental**. Manteniment específic per a reduir els consums energètics de la instal·lació a través d'auditories energètiques (estudis de pèrdues termodinàmiques).

Les investigacions portades a terme en l'àmbit del Manteniment han anat contribuint amb diverses i variades sistemàtiques o classes d'intervencions mantenidores, cadascuna de les quals presenta peculiaritats que la fan útil en una àrea específica. Aquestes tipologies o classes de Manteniment es distingeixen entre elles per:

- El tipus de control que exerceixen sobre l'estat de les màquines.
- Els mitjans utilitzats en la realització d'aquest control.
- Les instal·lacions sobre les que actuen.
- El volum de recursos que són necessaris.

Un sistema òptim de Manteniment Integral ha de fer ús de les classes o grups de Manteniment que li aportin valor afegit, essent necessàries les intervencions en funció dels objectius que es pretenguin. No és motiu del present treball exposar exhaustivament cada tipologia del Manteniment, les quals hom pot consultar en múltiples bibliografies, però posteriorment i a través de l'aplicació de RCM es podran observar de forma pràctica algunes d'aquestes tipologies.

## 7. GESTIÓ DELS HISTÒRICS D'AVARIES I MODELS PROPOSATS

### 7.1 DEFINICIÓ D'HISTÒRIC D'UN EQUIP

Es pot definir un Històric d'un Equip com el recompte cronològic de totes les fallades o intervencions correctives sobre un Equip durant un període significatiu. L'Històric representa el carnet de salut de la màquina al llarg del temps. El recompte de les fallades orienta al gestor cap a l'explotació qualitativa de les mateixes, actuant sobre les seves causes amb accions de millora. També orienta als responsables cap a l'explotació operacional, és a dir, el coneixement dels temps entre intervencions determinant la fiabilitat, els mitjans utilitzats, els consums de recanvis, i en definitiva cap al coneixement dels seus costos.

El Fitxer d'històrics avui en dia s'administra per mitjà dels anomenats GMAOs (Gestió de Manteniment assistida per ordinador) recollint les dades a través de softwares de control integrats en l'automatització del sistema o de forma manual introduint la informació a través de Ordes o Butlletins de treball (OT's o BT's) que el personal informatitza una vegada s'han executat a camp.

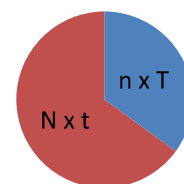
### 7.2 REGISTRE D'AVARIES I PARADES D'UN SISTEMA (FALLADES I MICROFALLADES)

Existeix una llei que indica que a mesura que augmenta el nivell d'automatització o la integració tecnològica en un sistema determinat, aquest es complica i el pes relatiu de les microfallades o microaturades augmenta. Aquesta llei es verifica quan hom disposa d'un sistema per tal de poder registrar la totalitat de les incidències de la seva instal·lació. Es doncs compleix l'equació següent:.

$$T_p = n \times T + N \times t$$

$T_p$  = Temps total de parades produïdes per les avaries.  
 $n$  = Quantitat de parades per avaries de llarga durada  
 $T$  = Temps d'aturada d'equips (superiors a 10 minuts)  
 $N$  = Quantitat de parades per avaria de petita durada  
 $t$  = Temps de petita durada (inferiors a 10 minuts)

Aturades per Avaria



El gràfic anterior il·lustra de forma teòrica la importància que tenen les microfallades o microaturades respecte el percentatge total d'avaries, la reducció de les quals desemboca en importants guanys de disponibilitat dels equips i de la seva fiabilitat, així com en beneficis de coneixement de l'ús i d'estat de salut dels equips. De totes maneres per a poder reduir-les és important tornar a recalcar que caldrà Conèixer-les, Mesurar-les, Registrar-les, i Qualificar-les.



Algunes empreses no tenen en compte aquest fet, coneixen l'existència d'aquestes microfallades però no les avaluen, o fins i tot les deprecien falsejant erròniament els indicadors de disponibilitat tan sols tenint en compte les parades majors.

Els paràmetres relatius a les microfallades han d'incorporar-se a l'històric ja que:

- Penalitzen notablement la disponibilitat degut al seu caràcter repetitiu (moltes de les quals són avaries cròniques que cal estudiar per a resoldre i contenen informació oculta de l'ús o l'estat de la instal·lació)
- Pertanyen a la rutina, són poc visibles i semblen menors però quantitativament perjudiquen notablement a la productivitat.
- No s'arreglaran per si mateixes, és necessari diagnosticar-les i corregir-les d'igual forma que les parades majors per a prevenir danys que a posteriori seran molt més importants.

**Per exemple:** 3 minuts x 6 vegades al dia x 6 dies /setmana x 50 setmanes = 5.400 minuts= 90 hores de parada (una xifra gens despreciable)

La metodologia TPM a través l'automanteniment té en compte aquestes microfallades. A través de la supervisió i l'automatització dels sistemes serà possible la mesura d'aquests temps menors de parada. En algunes empreses, per exemple, es condiciona l'arrancada de la màquina al coneixement i la identificació de forma obligatòria per part de l'operador de les causes d'una petita aturada o d'un petit ajust o fallada, assegurant d'aquesta manera que es detecten i es registren perquè posteriorment es puguin analitzar i emprendre accions per evitar-les. En aquests casos es solen codificar al voltant de 10-12 causes de parada més freqüents dels equips.

És important destacar que el concepte de microfallada o microaturada descrit en el present estudi té a veure amb aquelles incidències produïdes per una avaria de l'equip, per tan no es tenen en compte aquelles parades produïdes per la capacitat productiva (per exemple colls d'ampolla, manca de subministrament de producte, etc.) tot i que aquestes també es registren i s'analitzen per a la millora de del procés a través del departament de producció. Per altra banda aquestes microfallades o avaries a registrar no tenen perquè intrínsecament haver d'aturar el procés (algunes no seran fallades funcionals sinó tècniques) però el fet de registrar-les i que de forma trimestral, semestral o anual es puguin analitzar permetrà aportar accions reactives que evitin la seva ocurrència, ja que possiblement la seva conseqüència final fora la de provocar una parada o una pèrdua econòmica més important.

Cada empresa identificarà la microfallada i la fallada, és a dir la totalitat de les avaries, segons els patrons que més s'ajustin a les seves necessitats de manteniment, tenint present també els recursos de que disposi. En alguns casos també serà vàlid no haver de registrar-ne la seva totalitat, si no superen un cert cost relatiu, ja que realment seran menors i no tenen significació. De totes maneres el que pretén el present treball és traslladar al lector que per tal d'analitzar correctament les incidències de manteniment, és estrictament necessari poder

avaluar i mesurar correctament la totalitat de les incidències, i aquestes dades han d'haver sorgit d'algun registre, sigui de forma manual o automatitzada. A vegades es té la tendència a no tenir en compte una sèrie de dades que a priori hom pensa que no tenen rellevància o per tal de que no afectin als indicadors globals de gestió, i aquest fet és un error ja que la majoria de petites incidències tenen a veure amb avaries o problemes crònics del procés i són vitals per a resoldre problemes ocults.

També és important que de cara a l'estudi d'avaries s'efectuïn registres simples i pràctics, englobant i sintetitzant el mínim de dades possibles que aportin e màxim d'informació alhora d'efectuar una presa de decisions encertada.

Un exemple interessant són els microtalls elèctrics ocasionats per a les companyies generadores. A vegades aquests talls fortuïts no causen una parada important del procés (o cap aturada si es disposa de grups auxiliars) però en alguns casos aquests talls deriven en posteriors avaries en equips elèctrics o electrònics de la maquinària productiva que poden ser greus. El fet de registrar aquestes incidències i posteriorment també registrar les avaries elèctriques dels equips tot i que inicialment es desconegui la seva correlació, pot acostar-nos finalment a la seva connexió i determinar i aplicar accions (instal·lacions de SAI's, proteccions elèctriques, muntatge d'instrumentació de lectura de consums, etc.) que redueixin els efectes soferts i per tan disminueixin les pèrdues que provoquen. Si no es tenen en compte, no es registren, ni estudien aquestes incidències, difícilment es podran determinar accions encertades per millorar l'eficiència del procés i els gestors de manteniment i els seus operadors invertiran el seu temps en accions correctives imprevistes sense poder prevenir-les.

### **7.3 MODELS PROPOSATS DE FITXES HISTÒRIQUES DE MANTENIMENT PER A UNA ADEQUADA RECOLLIDA D'INFORMACIÓ.**

A continuació es proposen 2 models de plantilles d'Històrics de Manteniment codificades pel seu posterior tractament amb GMAO. Aquests dos models tenen en compte l'anàlisi de Causa-Efecte proposat per Ishikawa (amb la metodologia de 5 M) i es desglossen en:

- Fitxa històrica d'avaria de Maquinària (mecànica o elèctrica)
- Fitxa històrica per Aparells de control (Instrumentació)

FITXA HISTÒRICA DE MANTENIMENT PER A MÀQUINES														
EMPRESA	MÀQUINA / INSTAL·LACIÓ	IMPURTÀNCIA (CRITICITAT)	DATA D'INSTAL·LACIÓ	COST D'INSTAL·LACIÓ	Rev 0-0-0	DETECCIÓ				INTERVENCIÓ				OBSERVACIONS
						FALLADA (1)	PROMOTOR (2)	OT	TIPO (4)	PARADA	ORGAN (6)	UBICACIÓ (5)	TR	
DATA	MÒDUL					Hores de Funcionament Acumulades	NIVELL ORGAN	NIVELL MÒDUL	NIVELL MÀQUINA O INSTAL·LACIÓ					
							MTBF	MTTR	MTBF	MTTR	MTBF	MTTR	D	

## FITXA HISTÒRICA DE MANTENIMENT PER A MÀQUINES

Rev 0-0-0

DOCUMENTACIÓ MÀQUINA		CODI GENERAL		NATURALESA DE LA FALLADA O AVERIA		CODI CONCRET		NOVA CAUSA:	
		1	2	A	B	H	U		
Manual màrxa o operació		Mecànica	Elèctrica	Apagada	Desgast, Abrasió	Xispejadura	Brutícia en el contacte		
Manual de Reparacions		3	Electrònica	C	Escalfament, cremada	O	Aïllament		
Manual de Mt Preventiu		4	Hidràulica	D	Desgast, roçament mecànic	P	Conexions fluxes		
Manual de Lubrificació		5	Pneumàtica	E	Curticircuit, explosió	R	Soroll, Vibració		
Dades de mesures i comprovacions elèctriques		6	Civil	F	Agarrotament, fixació, gripatge, contactes	S	No funciona		
Plànols Generals		7	Miscelània	G	Ruptura, esquerda	T	Fuga		
Plànols de Detall		<b>FAMÍLIA DE CAUSES</b>							
Esquemes i Circuits		A	Ambiental	AE	Contaminació Electromagnètica	IA	Protecció Pols, Humitat, Temperatura	UA	Aplicació inadequada de màquina
Plànols Constructius		D	Desconeguda	AA	Contaminació atmosfèrica	IC	Material no resisteix l'ambient	UB	No considerar les condicions de
Sistemes Experts		E	Energètica	AR	Contaminació acústica	ID	Mal disseny	UD	Reglatge defectuós
		F	Funcional	AI	Contaminació tòxica i/o Perillosa	IF	Defecte de fabricació	UE	Assajos i proves
		I	Intrínseca	AV	Pollució de vessaments	IT	Debilitat, duresa, resistència	UF	Falta de formació / falta de personal
		M	Imputable a Manteniment	EC	Falta de Combustible	MC	No eliminació de degradacions circumdants / repetitives	UG	Carència de normes d'operació
		P	Imputable al Producte	EE	Tall d'energia elèctrica o irregularitats	ME	Lubrificació deficient, no realitzat, no planificat	UH	Mala operació de càrrega descàrrega
		R	Imputable a Logística	EG	Falta aigua calenta o freda	MI	Falta de competència / falta de	UI	Mala operació arrancada parada
		U	Imputable al Usuari	EH	Falta líquid hidràulic	MF	Falta de regulació	UV	Falta de vigilància procés
		X	Extrínseca	EP	Falta de subministre de vapor	MG	Mala regulació	UP	No para quan avisa a Mt
		Y	Conjugades	ER	Falts de subministre d'aire	MI	Error d'informació	XA	Accident allè a la màquina
		<b>(5) UBICACIÓ DE REPARACIÓ</b>							
		C	Taller Central de Mt	DI	Investigada però no resolta	MIL	Falta de neteja (pols, gotejos, fugues)	XB	Sabotatge
		F	Exterior	DN	No investigada	MM	Muntatge o desmuntatge defectuós	XE	Protecció elèctrica defectuosa
		P	Taller propi	FA	Defecte d'alineació	MP	Revisió Preventiva deficient, no realitzada, no planif	XH	Vent, tempesta, neu, gel
		S	In situ	FB	Vibracions pròpies	MR	Reparació deficient o no realitzada	XI	Inundació
		<b>(6) ÒRGAN AFECTAT</b>							
		Cod	Nomenclatura	Descripció	Descripció	MI	No tenir en compte prescripcions tèc. (pressió, temperatura, revolucions)	XM	Contactes animals
						MR	Reparació deficient o no realitzada	XS	Descàrregues atmosfèriques
						MI	No tenir en compte prescripcions tèc. (pressió, temperatura, revolucions)	XT	Sobretensions
						FG	Fatiga	XV	Vandalisma
						FM	Corrents magnètiques i estàtiques	XX	Vaga
						FP	Mala posada apunt	XZ	Vibracions, seisme
						FR	Falla el sistema de comandament i regulació	YA	Pol·lucions d'origen extern
						FS	Incompleix normes de Seguretat	YB	Funcionament en buit
						FT	Excés de Temperatura ambient		
						FV	Cavitació		
						FW	Falta de programa		
						FX	Afluïxament de Cargois, femelles, bulons.		
						RA	Recanvi defectuós		
						RC	Recanvi no demanat per dpt. Compres		
						RD	Recanvi no previst per Manteniment		

## FITXA HISTÒRICA DE MANTENIMENT PER APARELLS D'INSTRUMENTACIÓ

Rev 0-0-0

EMPRESA	DATA D'IMPLANTACIÓ			SECCIÓ	CODI DE LLAÇ	
FITXA DE REPARACIÓ	DETECCIÓ			NIVELL ELEMENT		OBSERVACIONS
	FALLADA (1)	ELEMENT (6)	PROMOTOR (2)	MTBF	MTTR	
	CAUSA (3)	MARCA (7)	Nº OT			
			TIPO (4)			
			UBICACIÓ (5)			
			COMPONENT (8)			
			TR			
			TEMPS DE REPARACIÓ			

FITXA HISTÒRICA DE MANTENIMENT PER APARELLS D'INSTRUMENTACIÓ				(6) ELEMENT DEL LLAÇ AVERIAT				(3) CAUSA DE LA FALLADA					
(1) FALLADA				(2) PROMOTOR				(4) TIPUS D'INTERVENCIÓ					
Cod	Llac	Marca	Descripció	Cod	Llac	Marca	Descripció	OO	ON	OR	OD	OP	OPR
M	ESE		Sensor	FAL			Font d'Alimentació	Zero mal ajustat	Span mal ajustat	Angula ritat	Fallada electrònica	Defecte de projecte	Defecte de procés
G	TRA		Transmissor	VAL			Vàlvula						
N	CON		Controlador	POS			Posicionador						
A	REG		Registrador	ACT			Actuador						
	IND		Indicador	SVE			Electrovàlvula						
	RNE		Relé pneumàtic	INT			Integrador						
	RIA		Relé T/A	UR			Unitat de relació						
F	RAI		Relé oscil·lador	FIN			Finals de Carrera						
P	RSU		Relé sumador	CAD			Cablejat defectuós						
R	RRE		Relé retardador	BAG			Barrera galvànica						
U	RMU		Relé multiplicador	EPL			Entrada PLC						
	RIV		Relé I/V				...						
	RVI		Relé V/I										
P	RIN		Relé Integrador										
C	REX		Relé Extractor										
E	RAL		Alarma										
I			..										
<b>(8) COMPONENT AFECTAT</b>													
COD	NOMENCLATURA			DESCRIPCIÓ	COD	NOMENCLATURA			DESCRIPCIÓ				

A partir de la documentació anterior i amb una inversió molt petita de temps podrem recollir la informació necessària de la instal·lació mantinguda. Es pot observar que per un costat es mostra el procés de Detecció d'una fallada i de la seves causes i per l'altre es recullen les dades de la intervenció de Manteniment Correctiu de reparació.

També a les fitxes anteriors i concretament a les últimes columnes s'indiquen les Hores de funcionament d'una màquina i els valors de MTBF (Fiabilitat), MTTR (Mantenibilitat) i D (Disponibilitat) tant a nivell de conjunt o peça avariada com a nivell de la màquina completa. Aquests valors els calcularà automàticament el sistema informàtic del que es disposi en funció del nombre d'avaries i els temps de funcionament dels equips.

De totes maneres aquests valors també es poden calcular a partir de les equacions següents de forma senzilla i pràctica:

**A nivell de component:**

$$MTBF = \frac{\text{Hores de funcionament de la màquina}}{n^{\circ} \text{ de fallades del component} + 1}$$

$$MTTR = \frac{\text{Temps de reparació dels components}}{n^{\circ} \text{ de fallades del component}}$$

**A nivell de màquina:**

$$MTBF = \frac{\text{Hores de funcionament de la màquina}}{n^{\circ} \text{ de fallades TOTALS} + 1}$$

$$MTTR = \frac{\text{Temps de reparació TOTALS}}{n^{\circ} \text{ de fallades TOTALS}}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

(Pel cas de màquines redundants s'aplicaran unes fórmules específiques per calcular la disponibilitat del conjunt)

Per altra banda, a la columna dels Òrgans Afectats s'aniran anotant les peces que s'avarien, les quals és possible que es vagi repetint la fallada al llarg del temps i no serà necessari tornar a anotar tota la informació sinó tan sols la freqüència d'aquestes repeticions, per a un anàlisi posterior de les causes d'aquesta fallada. Resumidament aquestes fitxes poden aportar una gran riquesa de dades:

- **Defectes i Fallades detectades**
- **Peces i/o components avariats**
- **Els promotors de la detecció de les fallades**
- **Les causes de les avaries**
- **Els temps de reparació**
- **La fiabilitat de les peces i de la màquina**
- **La Mantenibilitat de les mateixes**
- **La Disponibilitat de les màquines**

Per tal d'omplir aquestes fitxes tan sols és necessari de completar les OT's existents implantades a cadascuna de les Indústries un cop executada la intervenció de Manteniment Correctiva, amb les dades que hi figurin.

A partir de la capacitat d'informació que tenen aquestes OT's observarem que les seves dades en aportaran tres funcions bàsiques:

1.- Coordinar les reparacions, planificant-les i efectuant preparacions que permetin millorar la seva eficiència.

2.- Aportar dades per tal d'elaborar els Costos Integrals: codis de fallada, temps de reparació, recursos empleats.

3.- Proporcionar dades per a les Fitxes d'Històrics: Tipologia de la fallada, causa, ubicació de la reparació, tipologia d'intervenció, temps de reparació, hores de funcionament.

Per tant, és important destacar que una bona implantació de segons quins registres i aportarà molta informació de cara a la millora del manteniment i si el personal de Producció i el de Manteniment es troba degudament format aquesta tasca de registre no representarà un cost significatiu sinó una bona inversió.



## 8. OPTIMITZACIÓ DE LA GESTIÓ ECONÒMICA DEL MANTENIMENT INTEGRAL.

### 8.1. LA IMPORTÀNCIA ECONÒMICA DEL MANTENIMENT.

Les indústries d'avui en dia utilitzen cada cop més mitjans mecànics per aconseguir més possibilitats qualitatives i quantitatives dels processos de producció o serveis, i aquest fet origina que les instal·lacions cada vegada es trobin més automatitzades i com a conseqüència augmentin els costos de les inversions. Aquesta circumstància també provoca que la Direcció de l'empresa utilitzi de la forma més completa possible la seva Capacitat de Producció.

De la circumstància anterior es dedueix que una parada derivada d'una avaria en un equip important compromet de forma preocupant el programa d'activitat de l'empresa i això comporta importants pèrdues de rendibilitat. Aquest fet s'agreuja quant més elevades siguin les Despeses Fixes de l'empresa, succeint generalment en les indústries molt automatitzades.

COSTOS VARIABLES	
. Proporcional a les Ventas	. Embalatges . Personal de Ventas . Transport . Financers . Impagats
. Proporcional a la Fabricació	. Mà d'obra Directe . Materials . Costos Energètics . <b>Manteniment Correctiu</b>
COSTOS FIXES	
. Corresponents a la Fabricació	. Mà d'obra Indirecte . Amortitzacions de l'immobilitzat (maquinària productiva, edificis, etc.) . Lloguer d'equips . Assegurances. . <b>Manteniment Preventiu</b>
. Corresponents a l'Estructura d'empresa	. Personal Administració . Amortització de materials i oficines, (Etc.)

Taula 5. Descomposició dels Costos genèrics en una empresa

Es pot observar al quadre anterior (taula 5) que el Cost de Manteniment Preventiu passa a ésser una despesa fixe de Fabricació de l'empresa, tot i que en la majoria dels casos resulta un valor insignificant en comparació amb el valor de les amortitzacions de l'immobilitzat (principal component de les despeses fixes). En canvi, el Manteniment Correctiu influeix en els costos variables i en funció de la Disponibilitat requerida de la planta pot augmentar significativament els costos de fabricació.

## 8.2 OBJECTIUS ECONÒMICS DE LES FUNCIONS DEL MANTENIMENT.

Ja s'ha esmentat que el Manteniment té per missió mantenir els equips de l'empresa en un bon estat de funcionament a un cost el més raonable possible. És important analitzar aquest aspecte del cost raonable des de dos punts de vista diferents:

- Tenint en compte la visió de l'Alta Direcció de l'empresa, la qual tindrà com a criteri, l'elecció de la inversió dependent del cost de l'equip per unitat de producció, és a dir:

$$\frac{\text{cost d'adquisició} - \text{amortització} + \text{cost de Manteniment durant la vida útil}}{\text{Quantitat produïda durant la vida útil}}$$

- La visió dels Responsables de Producció i Manteniment, els responsables de la gestió dels equips, els quals ja no tindran present el cost d'inversió un cop s'hagi portat a terme i tindran com a criteri de decisió els objectius de cost individuals per reduir o optimitzar:
  - Pèrdua de Benefici: Incompliment de la producció (ocasionada per les parades dels equips)
  - Cost de les operacions del Manteniment.
    - Cost de funcionament de les unitats orgàniques (personal, eines, equips)
    - Cost de recanvis i consumibles
    - Cost de les operacions subcontractades amb especialitats exteriors.

### Càlcul simplificat del Resultat Net d'Explotació

Per tal de destacar la importància del cost del Manteniment en qualsevol indústria només cal comentar els efectes que la parada o una fallada d'una màquina pot comportar en relació als costos que se'n deriven, els quals es desglossen en dues categories:

. Pèrdua de Benefici: deguda a la producció perduda i irrecuperable, significativa si a més és derivada d'una avaria en una màquina que constitueix un "coll d'ampolla" la qual afectarà directament a tot el procés productiu.

. Costos suplementaris de producció: mermes, desperfectes, pèrdues de materials o subproductes, mà d'obra de manutenció i de producció, etc.

Si anomenem,

R= Resultat explotació

Pb= Pèrdues de benefici

P= Producció anual prevista

a=Producció anual perduda

V=Preu mig de venda del producte

C=Costos variables de Producció (valor mig) / unitat

D= Despeses fixes anuals de producció.

El càlcul del Resultat net d'exploració real seria:

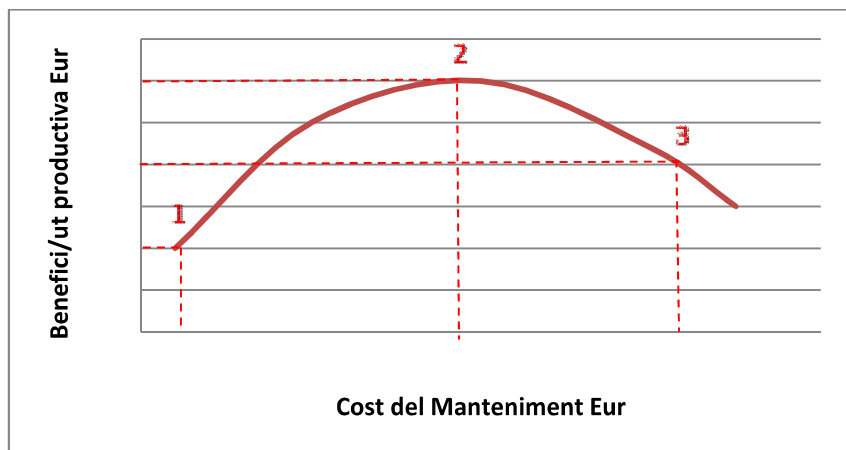
$$R - P_b = (P-a)x(V-C)-D \quad (\text{essent } R= P \times (V-C) - D)$$

I les pèrdues de benefici serien produïdes per  $P_b = a \times (V-C)$ .

Tenint en compte aquest aspecte cal afegir que aquestes pèrdues de benefici depenen en la majoria d'empreses principalment de:

1. Durada de les parades/avaries i per tant de la seva freqüència i de la seva gravetat tècnica.
2. El temps de resposta (rapidesa i eficàcia) de la restitució a l'estat de funcionament dels equips avariats per part de les unitats encarregades de les reparacions (Manteniment).
3. L'aparició més o menys aleatòria de les avaries.

Gràficament (gràfica 5.) es podria representar la relació Benefici/unitat productiva respecte el Cost de Manteniment de la següent manera:



Gràfica 5. Relació entre el Benefici i Cost de Manteniment

**Punt 1:** Benefici baix per no disposar de Manteniment, provoca una baixada de la Producció per culpa de les avaries.

**Punt 2:** Màxim benefici amb òptim Manteniment.

**Punt 3:** Excés de Manteniment el qual redueix el benefici per unitat productiva.

Per tant el Cost del Manteniment no es pot tenir en compte com un import de valor absolut en una empresa sinó que és importantíssim arribar a un punt d'equilibri perquè aquest cost generi el màxim de productivitat i benefici. Per tal de poder valorar adequadament aquest aspecte apareix el que s'anomena **Cost Integral de Manteniment** com un valor que recull el resultat econòmic de la gestió total del Manteniment d'una empresa. Si el valor de CI d'una màquina, secció, planta o fàbrica és elevat significarà que la seva gestió de Manteniment no és bona encara que s'obtinguin uns excel·lents resultats de manteniment.

A continuació s'exposen una sèrie de conceptes que ajudaran a exposar la composició del cost Integral (taula 6).

<b>Cost Tradicional de Manteniment</b>
- El que s'incorpora al Cost de Producció d'una Planta en les formes de Variable i Fixe.
<b>Cost Especial de Manteniment</b>
- El que origina el Manteniment derivant en majors o menors pèrdues de Producció i/o Servei, i de les despeses financeres produïdes per la immobilització dels recanvis, l'amortització dels equips de manteniment i la sobredimensió de les redundàncies dels equips. Consta del Cost de la Fallada i dels Costos financers del Manteniment.
<b>Cost Variable de Manteniment</b>
- Forma part del Cost de Mt Tradicional i depèn de la major o menor producció de la planta/màquina. Consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mà d'obra Directa o Manteniment Correctiu</li> <li>- Mà d'obra Directe de Mt. Preventiu (de reparacions programades)</li> <li>- Recanvis consumits</li> <li>- Reparacions exteriors.</li> </ul>
<b>Cost fix de Manteniment</b>
- El que correspon als costos fixos de fabricació i que consta de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mà d'obra de Manteniment Preventiu</li> <li>- Mà d'obra Indirecte (Responsables, tècnics i adm. Del manteniment)</li> <li>- Eines i materials consumits en el Mt Preventiu (Pintures, lubricants, etc.)</li> <li>- Assegurances de Mt.</li> </ul>
<b>Cost de la Fallada</b>
- Tots aquells costos derivats dels costos de fabricació derivats de la pèrdua de producció motivats per una avaria o per una intervenció de Manteniment en parada de màquina/planta. S'haurien d'afegir també les pèrdues energètiques ocasionades per les avaries imprevistes i les sancions o reclamacions derivades.

Taula 6. Descomposició de la naturalesa del cost de Manteniment

A continuació s'exposen dos esquemes de composició de CI (figura 11 i figura 12 ), el primer tenint present el Cost Tradicional i el Cost Especial que componen el Cost Integral, i el segon emprant el Cost de Manteniment Preventiu i el Cost de les avaries per tal de configurar aquest CI el qual potser resulta més pràctic i útil conceptualment parlant.

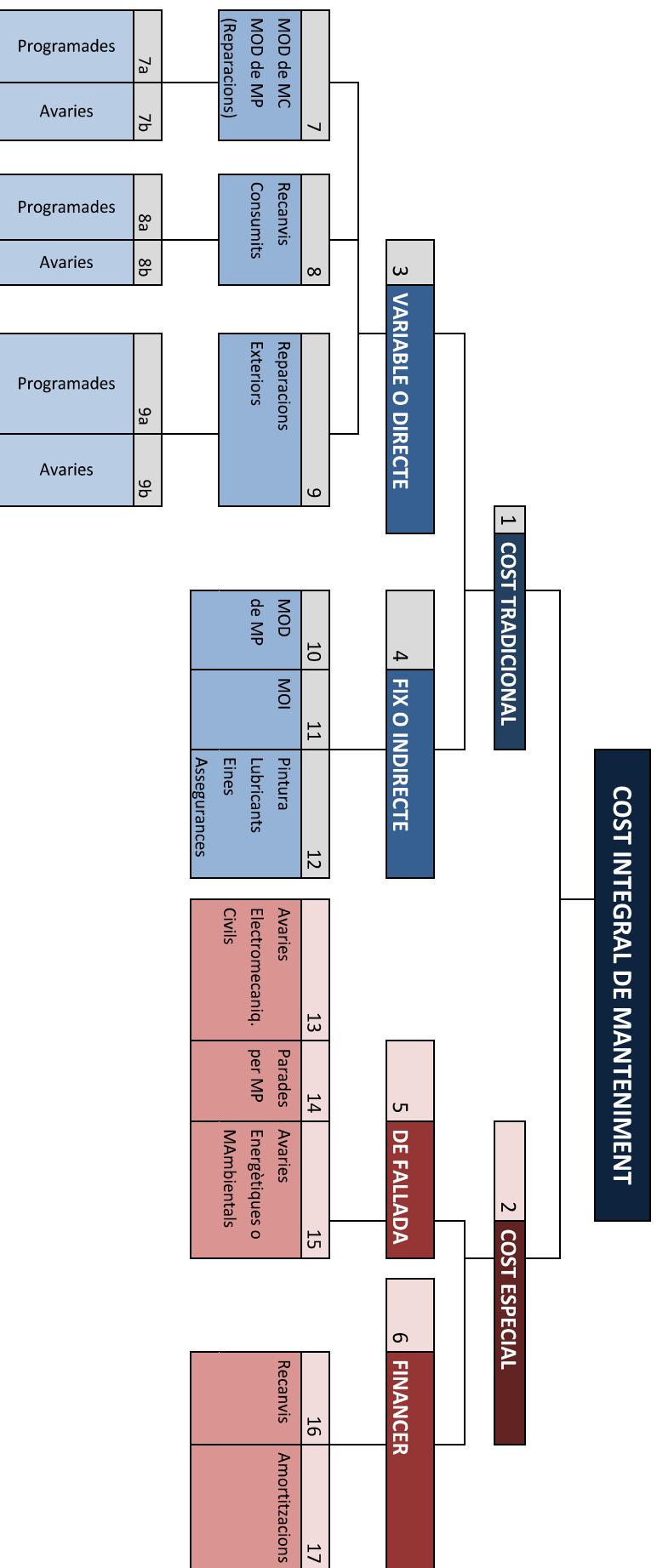
**ESQUEMA DE COMPOSICIÓ DEL CI TRADICIONAL - 1**

Figura 11. Cost Integral Tradicional

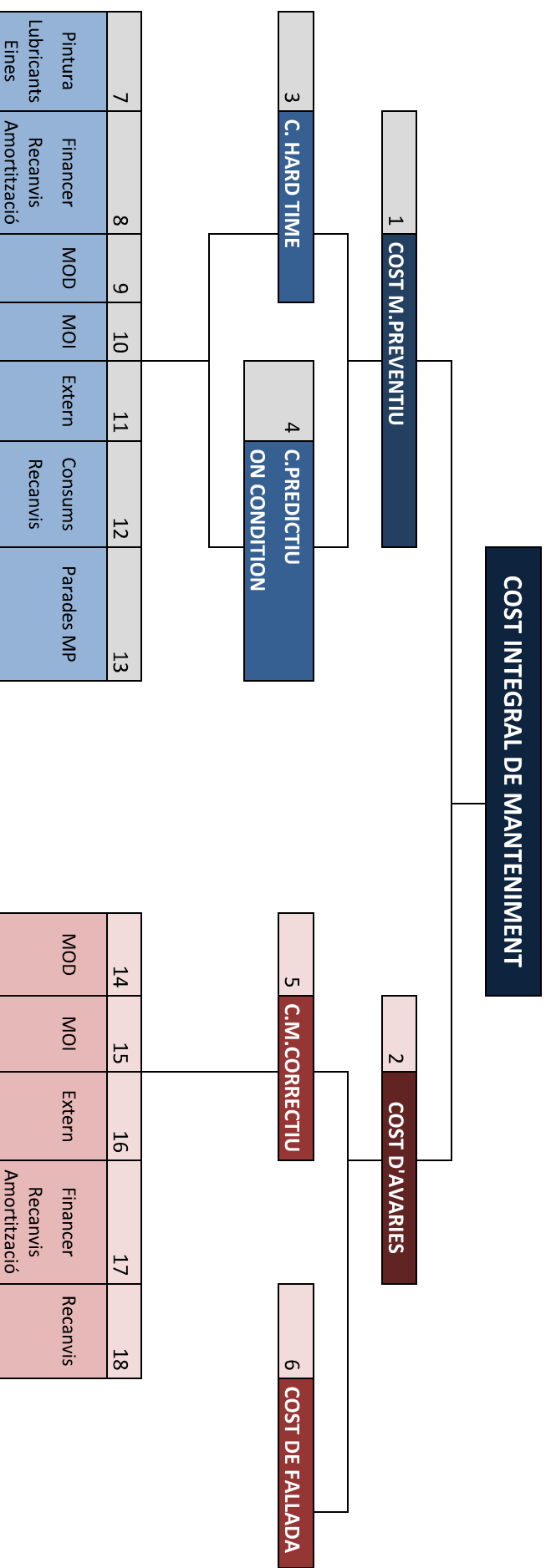
**ESQUEMA DE COMPOSICIÓ DEL CI MILLORAT -2**

Figura 12. Cost Integral basat en la naturalesa de l'avaría

### 8.3 OPTIMITZACIÓ DEL COST INTEGRAL DE MANTENIMENT.

Partint del primer dels dos esquemes anteriors, i parlant matemàticament i a simple vista podria semblar que augmentant els costos variables, els fixos i els financers també ho faria el Cost Integral, però aquest fet no es comporta d'aquesta forma. És doncs important destacar que el Cost de Fallada és inversament proporcional als altres costos, és a dir, tendeix a créixer quan s'intensifiquen els dos primers.

Tot que a la pràctica no es comporta exactament com el que s'ha descrit en el punt anterior, per tal de valorar els efectes de l'increment o decrement de cadascuna de les naturaleses de cost s'adjunta seguidament una figura (figura 13.) per tal de conèixer la relació inversa que tenen alguns costos amb els altres, i d'aquesta manera es pugui dimensionar correctament l'estructura de cost per assolir un **Cost Integral Mínim**.

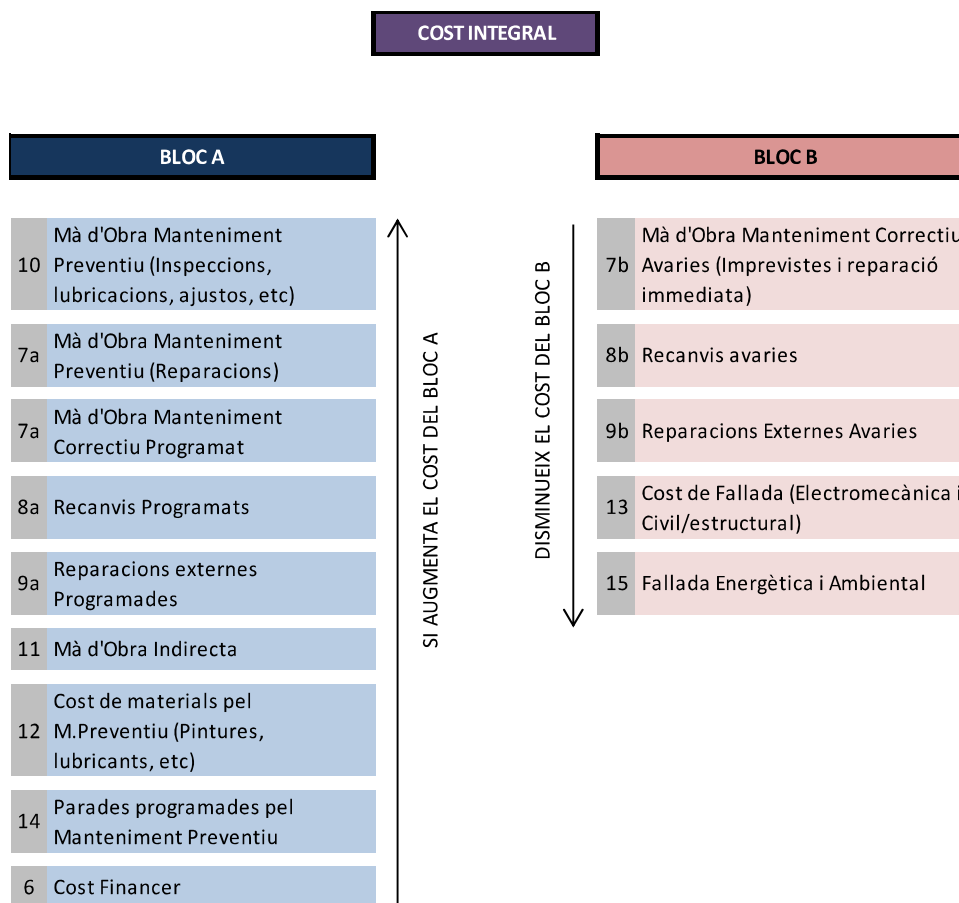
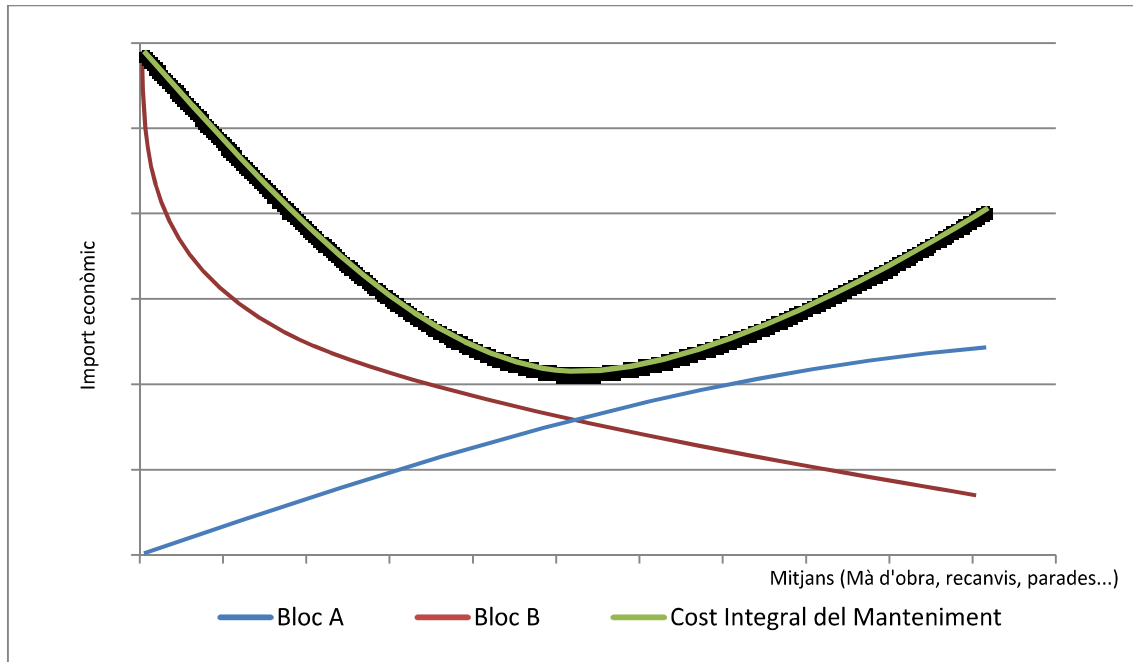


Figura 13. Relació entre Mt.Preventiu i MT.Correctiu

Recordem que el Manteniment Correctiu pot ésser programat (per l'efecte del MP) o imprevist per l'efecte de la parada per fallada que s'ha de reparar d'immediat.

Tenint present l'existència dels dos blocs anteriors A i B que són antagònics, podem representar el Cost Integral del Manteniment de la següent manera (Gràfica 6.):



Gràfica 6. Cost integral de Manteniment (Correctiu i Preventiu)

Es pot observar que augmentant els mitjans del Bloc A, el seu cost puja i el cost del Bloc B disminueix. El cost Integral de Manteniment passa per un valor òptim inferior el qual és l'objectiu central del Servei de Manteniment d'una empresa (equilibri entre els recursos emprats i l'eficàcia del manteniment). Afegir que el bloc desencadenant de l'equilibri i del control és el bloc A, el qual actua sobre el bloc B que és una conseqüència o efecte del primer. També destacar que el Manteniment Preventiu i programat agafen un paper principal en aquesta optimització del cost integral.

Hi ha varis factors que influeixen en el pes o valor dels costos exposats anteriorment, alguns d'ells són els següents:

- El mercat dels productes a fabricar (qualitats, normatives, etc)
- El ritme /rendiment de la producció
- La estacionalitat dels productes que es fabriquen (que permetrà efectuar majors i millors parades de manteniment programades)
- La repercussió en la imatge de l'empresa en relació a les fallades o avaries que puguin succeir.
- La coordinació de les operacions després de l'aparició d'una fallada.

És a dir, aquells factors que marcaran si una parada per avaria és o no una pèrdua significativa per a l'empresa.



#### 8.4. VALORS ESTADÍSTICS SOBRE COSTOS DE MANTENIMENT EN ELS DIFERENTS SECTORS EMPRESARIALS.

Fruit del recull de la informació que ha anat apareixent publicada a l'Associació Espanyola de Manteniment (AEM) així com d'experiències professionals en diversos sectors, en aquest apartat s'han agrupat varis valors dels Costos de Manteniment de diferents empreses. En algun cas però aquestes dades poden contenir un cert marge d'incertesa.

Val a dir que a l'Estat Espanyol són comptades aquelles empreses que determinen el Cos Integral pel sumatori de cost directe + cost indirecte + cost de fallada + cost financer de forma completa i per altra banda el valor de la inversió mantinguda és un altre element que no es troba fàcilment donat que els balanços de les societats consta aquest valor una vegada deduïdes les amortitzacions.

De totes maneres es recopila la taula següent que pot orientar al lector dels costos de cada sector i pot comparar els de la seva indústria als de la taula. A més s'hi ha afegit el valor de Cost Integral que s'estima com a òptim i una dada estadística interessant, la proporció de Manteniment Preventiu respecte el cost total del manteniment (taula 7.).

Sector	Directe	Indirecte	Cost de Fallada	Cost Financer	Cost Intergal	ÒPTIM	COST MP/ COST TOTAL
Alimentari	2,00%	2,00%	1,26%	0,20%	<b>5,46%</b>	4,00%	<b>41,00%</b>
Químic	1,50%	1,00%	0,50%	0,48%	<b>3,48%</b>	1,30%	<b>57,00%</b>
Manufactura Metall	2,40%	2,60%	0,75%	0,25%	<b>6,00%</b>	5,00%	<b>41,00%</b>
Automoció	1,70%	3,20%	1,34%	0,72%	<b>6,96%</b>	5,60%	<b>26,00%</b>
Textil	1,00%	1,00%	0,25%	0,24%	<b>2,49%</b>	2,00%	<b>26,00%</b>
Cimenteres	2,00%	1,50%	1,50%	0,48%	<b>5,48%</b>	4,00%	<b>70,00%</b>
Paperera	2,10%	2,00%	1,20%	0,48%	<b>5,78%</b>	5,00%	<b>49,00%</b>
Farmacèutica	1,75%	2,20%	1,10%	0,36%	<b>5,10%</b>	3,40%	<b>47,50%</b>
Siderúrgica pesada (Fundicions, Laminacions, Alts Forns, etc)	3,80%	3,00%	1,65%	1,00%	<b>9,45%</b>	6,80%	<b>28,00%</b>
Vidre	2,60%	3,00%	1,25%	0,60%	<b>7,45%</b>	6,00%	<b>22,00%</b>
Cerveseres	1,60%	1,00%	0,68%	0,18%	<b>3,48%</b>	2,00%	<b>25,00%</b>
Energia Elèctrica	1,50%	0,50%	0,34%	0,24%	<b>2,58%</b>	2,00%	<b>29,00%</b>
Hosteleria	1,00%	1,00%	0,50%	0,10%	<b>2,60%</b>	1,20%	<b>27,00%</b>
Hospitals	2,50%	2,00%	1,00%	0,20%	<b>5,70%</b>	4,00%	<b>63,00%</b>
Construcció	1,50%	1,00%	1,35%	0,15%	<b>3,95%</b>	2,30%	<b>17,00%</b>
Petroleres	2,00%	2,00%	1,75%	0,40%	<b>6,15%</b>	5,00%	<b>53,00%</b>
Gas	3,00%	1,50%	1,28%	0,20%	<b>5,98%</b>	5,00%	<b>67,00%</b>
Mineres	2,50%	3,50%	1,82%	1,20%	<b>9,00%</b>	6,80%	<b>36,00%</b>
Plàstics	2,00%	1,00%	1,35%	0,15%	<b>4,50%</b>	3,00%	<b>41,00%</b>

Taula 7. Valors MITJOS dels costos anuals respecte l'Inversió mantinguda per sectors empresarials.

## 8.5. TÈCNICA DE CONTROL DE LA QUANTITAT DE MANTENIMENT PREVENTIU PER A L'OPTIMITZACIÓ DEL COST INTEGRAL.

Per a poder conèixer el nivell de Manteniment Preventiu necessari en una màquina, secció, planta o fàbrica que faci mínim el Cost Integral del Manteniment s'exposa a continuació un procediment senzill que fàcilment es pot aplicar en qualsevol empresa. Aquest procediment consisteix en la proposta d'una sèrie de nivells de Manteniment Preventiu a aplicar progressivament en una màquina o equip durant un temps determinat i en el qual s'avaluaran posteriorment els resultats.

Inicialment es dividiran les abscisses de les corbes de cost del sistema, màquina o equip que es vulgui avaluar en els nivells següents de preventiu (figura 14):

0	1	2	3	4	5	
Sense MP	Lubrificacions i Canvi periòdic de lubricants	Revisions diàries i setmanals	Revisions quinzenals i mensuals	Revisions semestrals i trimestrals	Revisions anuals	a
		Lubrificacions i Canvi periòdic de lubricants	Revisions diàries i setmanals	Revisions quinzenals i mensuals	Revisions semestrals i trimestrals	6m, 3m
			Lubrificacions i Canvi periòdic de lubricants	Revisions diàries i setmanals	Revisions quinzenals i mensuals	m, 2s
				Lubrificacions i Canvi periòdic de lubricants	Revisions diàries i setmanals	s, d
					Lubrificacions i Canvi periòdic de lubricants	

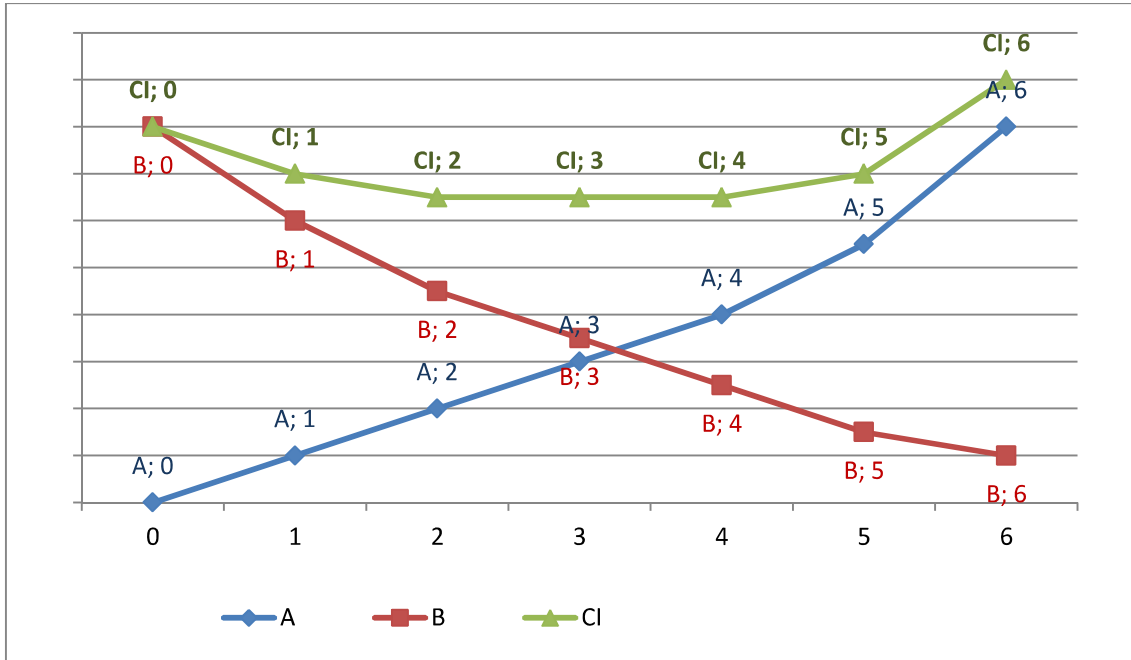
Figura 14. Nivells de Manteniment Preventiu

S'iniciarà l'estudi partint del punt "0" en el qual no hi haurà cap tipus de cost de MP i en el qual serà necessari conèixer quin és el cost de Manteniment de l'equip (de les reparacions actuals). Iniciarem el procediment i sotmetrem a l'equip a un programa de lubricació per tal d'arribar al punt 1, i si posteriorment s'efectuarà una revisió diària i setmanal estarem en el punt 2. Successivament es pot anar incrementant el nivell de manteniment preventiu.

En cadascuna d'aquestes etapes es determinaran els costos de MP (Mà d'obra associada i parades per avaria de Manteniment) per poder traçar la seva corba corresponent desglossada en els costos invertits de manteniment preventiu i els resultants de correctiu fruit de les avaries succeïdes. Aquestes etapes de Preventiu s'aniran aplicant progressivament per exemple cada 2 mesos. Com s'ha esmentat en cada etapa mesurarem també els costos de Manteniment Correctiu i els de fallada segons els esquemes de blocs (punt 5.4-bloc A, bloc B i sumatori dels dos essent el Cost Integral). D'aquesta manera podrem representar al final del període d'un any una gràfica com la que es representa a continuació (gràfica 7) per a cada màquina, línia o secció.

Afegir que per simplificar aquest procediment podem prescindir d'entrada dels costos financers i de la mà d'obra indirecta (a excepció dels que tinguin a veure amb màquines engrasadores i/o els que afectin a les revisions).

Finalment s'aconseguirà una gràfica com la següent:



Gràfica 7. Representació dels nivells de Manteniment Preventiu i Correctiu. Suma del Cost Integral

En funció del sumatori resultant dels punts CI3 i CI4 aconseguirem el valor mínim del Cost Integral de Manteniment i el Responsable de Manteniment decidirà en quina de les etapes de Manteniment Preventiu es vol quedar, tenint present quin és l'objectiu de fiabilitat o disponibilitat de la màquina desitjat.

Val a dir també que es aconsellable aplicar aquest sistema primer a una sola màquina o UDU (*UDU = Unitat d'Ús comptable*).

Aquest mateix gràfic es realitzarà per a totes les màquines, seccions o línies en les que es vulgui conèixer el valor desitjat de Cost Integral. Per exemple es pot desglossar el sistema amb aquelles màquines, línies o equips que segons uns criteris interns (cost de manteniment, criticitat, seguretat, etc.) siguin les més importants per a l'empresa. Posteriorment es pot avaluar quins d'aquests elements són els més interessants a millorar per tal d'iniciar aquest procediment en aquestes màquines. És a dir es poden seleccionar prèviament aquelles màquines les quals sigui més interessant de millorar les seves característiques en relació al manteniment.

Com que segurament existiran una sèrie de limitacions econòmiques (límit de pressupost de manteniment), aplicar aquest procediment de forma equilibrada a la totalitat dels equips en funció del cost de la inversió (reforç de manteniment) i el resultat obtingut, pot ser una bona pràctica de cara a justificar econòmicament a la Direcció de l'empresa aquelles inversions que tinguin un retorn destacable de millora per a la productivitat.

### **Procediment pràctic per tal de conèixer i identificar els valors econòmics de Manteniment Preventiu (punt A3 – A4)**

Per últim s'exposen a continuació una sèrie de detalls que poden ser útils i a tenir en compte per a registrar i efectuar el control de les intervencions tan correctives com preventives, de cara a assolir la gràfica anterior i en definitiva obtenir el resultat desitjat.

a) Sempre que intervingui Manteniment en qualsevol reparació (Manteniment Correctiu) s'obrirà una Ordre de treball (OT) que comenci per un cert codi numèric (ex: 0....). Si pel contrari la intervenció és per una operació de Preventiu aquest codi haurà de contenir un altre dígit (ex: 1....).

b) Aquesta codificació estarà acompanyada per dues xifres que indicaran el centre o secció de producció on s'ha portat a terme la intervenció de Manteniment, com es representa per exemple a la taula següent:

01	Magatzems de Matèries Primes
02	Neteja i Decapat
03	Mecanitzat (tornejat, fresat, etc)
04	Tractaments tèrmics
...	
89	Embalatges
90	Expedicions

c) Posteriorment en la citada Ordre de Treball s'hi afegiran altres números o lletres que serviran per imputar els costos, hores de parada i hores de personal, etc. de les diferents *UDU's* com per exemple:

A1	Monorraïls
A2	Pont Grua
A3	Fresadora
B1	Forn de tractament tèrmic
...	

d) Per últim farem aparèixer les dades precises per identificar la màquina o equip determinat en què s'ha precisat la intervenció de manteniment. És a dir, si s'ha produït una avaria al monorail 24 d'Expedicions, l'ordre de treball tindria la següent codificació: 0.90.A1.24

Si s'estableixen les Ordres de Treball amb aquest criteri serà molt fàcil d'obtenir els costos de cada naturalesa de manteniment individualment pe a cada màquina, per grups o seccions i de la totalitat de la Planta. Un cop s'hagin obtingut aquestes dades es podran representar els gràfics que interessin per a obtenir conclusions i una guia de cara a definir la política general del Manteniment.

Aquests gràfics, en empreses grans, amb una varietat i quantitat elevada de maquinària es representen a partir de softwares especials –GMAO- però tenen un suport de dades similiar al que s'ha exposat aquí.

Com a norma pràctica i general es pot comentar que en les Indústries de procés continu (químiques, refineries de petroli, grans siderúrgiques, papereres, cimenteres,...) interessa treballar en les etapes 5 i 6 del Manteniment Preventiu o inclús efectuar un esforç

major ja que les parades que es produeixen fruit d'avaries són excepcionalment cares. En canvi a les Indústries de procés Intermitent (fabricacions de sèries sota comanda, equips elèctrics, electrònics, bens d'equips, etc.) normalment treballen per aconseguir un cost integral òptim entre les etapes 3 i 4, excepte en les màquines que resultin ser els "colls d'ampolla" del procés les quals tenen un major Manteniment Preventiu ja que les seves aturades deriven en una parada del procés complet i unes pèrdues econòmiques significatives.

**PART II: Metodologia RCM**  
**- El Manteniment basat en la fiabilitat -**

## 1. DESCRIPCIÓ DEL RCM

### 1.1 INICI. QUÈ ÉS RCM?

La tècnica RCM o *Reliability Centered Maintenance* és una metodologia per tal de desenvolupar un Pla de Manteniment basat en l'anàlisi de fallades d'una instal·lació, orientada a evitar les avaries que puguin ocórrer en un sistema. És una tècnica que identifica les funcions d'un sistema, la forma en què aquestes funcions poden fallar i que estableix "a priori" unes tasques de Manteniment generalment Preventives aplicables i efectives basades en consideracions relacionades amb la Seguretat i l'Economia del sistema.

Quan es parla de RCM o de la seva implantació, normalment es té la concepció que es tracta d'una metodologia complexa i difícil, però cal saber que amb els recursos humans adequats, un bon coneixement de la instal·lació i per suposat un cert temps de dedicació, es poden obtenir resultats beneficiosos i espectaculars en alguns casos.

La tècnica RCM va aparèixer en el món de l'aviació militar i comercial (pionera en moltes de les tècniques actuals del Manteniment) a començaments dels anys 70, inicialment per una necessitat evident de millora de la seguretat dels vols i de l'alt cost que representava la substitució sistemàtica de peces, la qual fins i tot va arribar a amenaçar la rendibilitat de les companyies aèries. Va aconseguir resultats importants en la reducció de costos i en la reducció dels temps d'indisponibilitat de les flotes degut al Manteniment. D'aquesta manera anys després altres sectors com les Centrals Nuclears, durant els anys 80, van començar a integrar també aquesta tècnica per obtenir importants millores. En l'actualitat ha arribat a aplicar-se a tot tipus d'Indústries, és més, la tècnica RCM ha estat emprada per ajudar a formular estratègies de gestió dels actius físics en pràcticament totes les àrees de l'activitat humana organitzada i ha arribat a quasi la totalitat de països industrialitzats del món. Aquest procés definit per F.S. Nowlan i H.F. Heap, que fou publicat pel Departament de Defensa dels EEUU el 1978, ha servit de base per varis documents d'aplicació a diverses indústries com la Minera, la de Plantes de procés (Químiques, Refineries), les Siderometal·lúrgiques, entre d'altres.

Realment hi ha poca gent al mercat que conegui en profunditat aquesta tècnica del Manteniment basada en la Confiabilitat, en canvi existeix una demanda creixent de tècnics especialitzats capaços de dirigir un procés de RCM.

### 1.2 OBJECTIUS DE RCM.

L'objectiu fonamental de la Implantació d'un Manteniment Centrat en la Fiabilitat o RCM en una planta industrial és augmentar la fiabilitat i la disponibilitat del sistema, reduint en els costos de manteniment en primer lloc gràcies a l'augment de la productivitat i en segon terme a partir de la reducció de les fallades i el cost de les reparacions, optimitzant el manteniment preventiu i acomodant-lo a les necessitats reals de la instal·lació. A més aquest

procés d'anàlisi utilitzant aquesta metodologia aporta una sèrie de resultats secundaris que són també molt interessants:

- Millora la comprensió del funcionament dels equips i els sistemes.
- Analitza totes les possibilitats de fallada d'un sistema i desenvolupa mecanismes que tracten d'evitar-lo ja siguin produït per causes intrínseques del propi equip o per actuacions humanes (degradacions forçades) .
- Procura un Pla de contingència en cas de no poder evitar la fallada, el qual en alguns casos és més important que la pròpia prevenció.

Es podria dir també que l'objectiu de RCM és el de reduir el número, la freqüència i el contingut de les reparacions generals d'un sistema, augmentant-ne inicialment la fiabilitat i la disponibilitat dels equips i reduir el cost de les operacions de manteniment en segon terme. A més, també optimitza el volum de l'inventari.

Les accions de tipus Preventiu que eviten aquestes avaries i que per tant incrementen la disponibilitat de la planta es poden classificar de la següent manera (taula 1):

Accions resultants de la implantació RCM
1. Tasques de Manteniment, que de forma agrupada conformen el Pla de Manteniment d'una Planta o Instal·lació
2. Procediments operatius, tant de Producció com de Manteniment
3. Modificacions o millores possibles
4. Determinació d'accions formatives realment útils i rendibles per a l'empresa
5. Determinació de l'estoc de reposició desitjable en una Planta

Taula 1. Accions resultants de la implantació RCM

El Manteniment Centrat en la Fiabilitat es basa en l'anàlisi de les fallades, tant d'aquelles que ja han succeït, com de les que s'estimen i que tenen una certa probabilitat d'ocórrer o que poden tenir conseqüències greus. Durant l'anàlisi de fallades cal respondre a una sèrie de preguntes claus, que són 6:

1. **Quines són les funcions i els estàndards de funcionament de cada sistema?**
2. **Com es produeix la fallada en cada equip?**
3. **Quina és o són les causes de cada fallada?**
4. **Quines conseqüències o repercussions té cada fallada?**
5. **Com es poden evitar aquestes avaries?**
6. **Què s'haurà de fer en cas que no es pugui evitar l'avaria?**

Per tant aquesta metodologia suposa anar completant una sèrie de fases per a cada sistema que es compongui la planta. Resumidament aquestes etapes són les següents (taula 2), les quals seran esposades en més detall a continuació:



<b>FASE 1. Codificació i llistat dels equips.</b>
.Aplicat a Subsistemes, equips i elements que componen el sistema que es vol estudiar. Recopilació d'esquemes, diagrames funcionals, diagrames lògics, etc.
<b>FASE 2. Estudi detallat del funcionament d'un Sistema.</b>
.Llistat funcional del sistema en el seu conjunt. Llistat de funcions de cada subsistema i de cada equip significatiu integrat en cada subsistema.
<b>FASE 3. Determinació de les fallades funcionals i fallades tècniques</b>
.Estudi dels possibles (coneguts o no) efectes de fallada dels elements del sistema.
<b>FASE 4. Determinació dels modes de fallades i les seves causes</b>
.Les causes que originen cadascuna de les falles trobades en la fase anterior
<b>FASE 5. Estudi de les conseqüències de cada mode de fallada. Matriu de Risc/Criticitat</b>
Classificació de les fallades crítiques, importants o tolerables en funció de les conseqüències.
<b>FASE 6. Determinació de mesures preventives.</b>
. Determinar les accions que evitaran o atenuaran els efectes d'aquestes falles.
<b>FASE 7. Agrupació de les mesures preventives segons les seves categories.</b>
. Elaborar el Pla de Manteniment , el llistat de millores, els plans de formació i procediments d'operació i de manteniment.
<b>FASE 8. Posada en Marxa de les Mesures Preventives</b>
. Executar les accions estudiades

Taula 2. Fases de la metodologia RCM

## 2. DESCRIPCIÓ DE LES FASES DEL RCM

### 2.1 FASE 1. LLISTAT I CODIFICACIÓ D'EQUIPS

En aquesta primera fase cal elaborar una llista ordenada de tots els equips. Realitzar un inventari dels actius d'una Planta és quelcom més complex del que pot semblar des d'un inici. Una simple llista de tots els motors, bombes, sensors, etc. no és útil ni pràctic, no seria més que un llistat de dades, no aportaria informació. Si el que es pretén és un llistat realment útil, cal expressar aquesta llista en un format d'estructura d'arbre, en el qual s'indiquin les relacions de dependència de cadascun dels ítems amb la resta.

A títol d'exemple (fig. 1), podríem distingir els següents nivells a l'hora d'elaborar aquesta estructura, la qual en funció de la tipologia d'indústria té una sèrie de peculiaritats diferents.

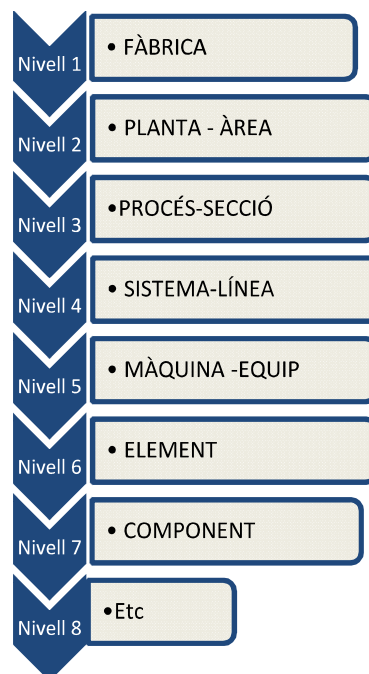


Figura 1. Nivells estructurals d'un Procés

Una empresa pot tenir una o varies plantes de producció, cadascuna de les quals pot estar dividida en diferents zones o àrees funcionals. Aquestes àrees poden tenir en comú subsistemes, equips, línies de producte o funcions. Cada subsistema estarà dividit per una sèrie de Màquines o directament d'Equips, que s'ocuparan d'una missió dins del sistema. Aquests Màquines i Equips es descomponen per Elements i aquests per Components que són parts més petites, i són en gran part els que habitualment són reparats o substituïts en una intervenció de Manteniment (taula 3).

NIVELL	DESCRIPCIÓ
<b>FÀBRICA</b>	Centre de treball. Ex: Fàbrica XXX de Barcelona
<b>PLANTA</b>	Subcentre de Treball. Ex: Planta de Perfils Estructurals
<b>ÀREA</b>	Zona de la Planta que té una característica en comú (Centre de Cost, similitud d'equips, línia de producte, funció). Ex: Àrea Forns, Àrea Producte .
<b>PROCÉS-SECCIÓ</b>	Etapa dins de l'Àrea. Ex: Procés de refinat/ En el cas de secció seria una part dins d'aquesta Àrea amb una funció comuna.
<b>SISTEMA-LINEA</b>	Conjunt d'elements que tenen una funció comú. Ex: En el cas d'una indústria de procés el sistema de d'aire comprimit.
<b>MÀQUINA-EQUIP</b>	Unitats que componen el Sistema. Ex: Robot A de la línia 1.
<b>ELEMENT</b>	Cadascuna de les parts que integren la màquina-equip. Ex: Motor de la bomba de lubricació d'un compressor. És important diferenciar entre element, equip i sistema , ja que si un ítem dóna un servei a més d'un equip serà un sistema.
<b>COMPONENT</b>	Parts en les que es pot dividir un element (ex: rodament d'un motor, junta o retén, etc.)

Taula 3. Descripció dels Nivells estructurals

En relació a la taula anterior sovint existeixen problemes de com classificar els sistemes o xarxes de distribució de determinats fluids, com l'aigua de refrigeració, l'aire comprimit, el sistema contra-incendis, la xarxa de buit, de vapor, etc. Una possible alternativa és considerar tota la xarxa com una Línia-Màquina-Equip i cadascuna de les vàlvules, tuberies, etc. que la integren com els elements d'aquest equip, essent aquesta una solució tècnicament discutible però en alguns casos realment pràctica per poder aplicar aquesta metodologia.

El món industrial és divers així com altres activitats relacionades on es pot aplicar RCM, per tant en el present estudi s'ha cregut convenient desglossar aquest món en 6 possibles classificacions de tipologies industrials (taula 4) així com també les seves distincions o peculiaritats en els nivells de codificació a través d'exemples simples (taula 5).

- 1 INDÚSTRIES DE MANUFACTURA I ENSAMBLATGE: Ind. Automòbil, Electrodomèstica, Components electrònics, béns de consum, etc.
- 2 INDÚSTRIES DE PROCÉS: Refineries, Químiques, Papereres, Siderúrgiques, Fundicions, Tractament de minerals, Alimentàries, etc.
- 3 INDÚSTRIA DE SERVEIS. Transports aeris, terrestres i navals, Informàtica, Comunicacions, etc.
- 4 INDÚSTRIA D'EXPLOTACIÓ D'EQUIPS. Maquinària minera, grues, pòrtics contenidors, etc.
- 5 INDÚSTRIA ENERGÈTICA. Centrals, Cogeneració, aerogeneradors, etc.
- 6 EDIFICIS. Instal·lacions, Obra civil, Hospitals, etc.

Taula 4. Tipologies Industrials

Niv	TIPUS 1	TIPUS 2	TIPUS 3	TIPUS 4	TIPUS 5	TIPUS 6
1	Fàbrica (Automòbils)	Fàbrica (Refineria)	Unitat operativa general (BOEING)	U.O.G (Excavadora)	Fàbrica (Central de Carbó)	Edifici (Torre d'habitatges)
2	Planta (Planxisteria)	Planta (d'elaboració de Gasolina)	Unitat operativa concreta (BOEING 747)	Unitat operativa Família (De pneumàtics)	Sistema (Aigua Alimentació)	Instal·lació-Família Constructiva (Façana)
3	Secció (Taller A)	Procés (Refinat)	Sistema (Aterratge)	Unitat operativa concreta (BS-42)	Subsistema (Aigua d'Alta Pressió)	Sistema-model constructiu (De maó)
4	Línia o Sistema (Bastidor)	Sistema (Pressurització)	Subsistema (Hidràulic)	Sistema (Elevació)	Equip (Bomba d'AP 1)	Equip –conjunt constructiu (Balcó)
5	Màquina (Robot A)	Equip (Bombeig A)	Equip (Tren de rodes)	Subsistema (Hidràulic)	Conjunt (Rotor)	Màquina-element constructiu (maó)
6	Equip (Elèctric)	Element (Bomba A.2)	Element (Roda)	Equip (Cullera)	Element	Conjunt
7	Component (Contactor)	Component (Rodet)	Component (Eix de la roda)	Element (Carcassa)	Component	Element
8	...	...	...	Component (Eix)	...	...

Taula 5. Exemple dels Nivells en funció de la Tipologia Industrial

## 2.2 FASE 2. LLISTAT DE FUNCIONS I ESPECIFICACIONS

En la segona fase, un cop s'ha desglossat la Unitat d'estudi en els diferents nivells, es detallen totes les funcions que té cadascun del sistemes, quantificant tant com sigui possible com es porta a terme aquesta funció. Per exemple, si analitzem una caldera, la seva funció serà la de produir vapor en unes condicions de pressió, temperatura i composició determinades, amb un caudal i dins d'un rang concret. Si no s'arriba a aquests valors correctes, entendrem que el sistema no està complint amb la seva funció, és a dir no treballa correctament i es dirà en aquest sentit que es troba en fallada.

Perquè un sistema compleixi amb la seva funció cadascun dels subsistemes en què es subdivideix han de complir amb la seva. Per tant, serà necessari llistar també les funcions de cadascun dels subsistemes o línies.

Per últim, cadascun dels subsistemes estarà compost per una sèrie de màquines i/o d'equips. Possiblement i essent estrictes fóra convenient detallar la funció de cadascun d'aquestes màquines, dels equips i posteriorment dels elements, però aquest fet faria que el treball fos interminable, i les recursos que s'haurien d'assignar per a la realització d'aquest estudi foren tan grans que el farien inviable. Per tant, si es detallen les funcions dels que es poden anomenar "equips o màquines significatius" serà suficient i hauré finalitzat correctament aquesta fase. Al final s'hauran confeccionat tres llistats de funcions:

- Funcions del Sistema en el seu conjunt.
- Funcions del subsistemes que el componen
- Funcions de cadascun dels equips significatius de cada subsistema.

## 2.3 FASE 3. DETERMINACIÓ DE LES FALLADES FUNCIONALS I TÈCNIQUES.

Una fallada és la incapacitat de que un ítem pugui complir amb alguna de les seves funcions. És per aquest motiu que si es realitza correctament un llistat de funcions serà més senzill determinar aquestes fallades. Per tant, per a cada funció que no es compleixi d'un ítem (sistema, subsistema o equip) hi haurà relacionat una possible fallada.

Per altra banda és convenient efectuar una distinció entre fallades funcionals i tècniques. Les fallades funcionals, naturalment les més importants, són aquelles que impedeixen al sistema complir amb la seva funció principal. Una fallada tècnica suposa que part d'aquest sistema tingui un funcionament anormal però no n'impedeix la seva funció principal. De totes maneres normalment aquesta fallada tècnica produirà posteriorment una degradació accelerada de l'equip, i aquest finalment provocarà una fallada funcional.

La font d'informació per determinar aquestes fallades, i els modes de fallada que es tractaran en el capítol posterior, són molt diverses. Entre les principals es poden citar les següents: els històrics d'avaries, les consultes al personal expert de manteniment i/o de producció i l'estudi de diagrames lògics i funcionals de la planta.

### 2.3.1 HISTÒRIC D'AVARIES

És una font d'informació valuósíssima a l'hora de determinar les fallades potencials d'una instal·lació. L'estudi del comportament d'una instal·lació, equip o sistema a través dels documents en els quals es registren les avaries i/o incidències que poden haver sofert en el passat aportarà una informació essencial per a la identificació de la fallada.

En algunes Plantes industrials, no existeix un arxiu d'històric d'avaries suficientment fiable, en el qual s'hagin registrat de forma sistemàtica cadascuna de les avaries que hagin tingut els equips en un període determinat. De totes maneres amb una mica d'imaginació, es pot aconseguir una font que permeti estudiar l'historial d'un equip mitjançant:

- Estudi dels butlletins de treball, d'avaries, etc. Agrupant aquestes dades es pot deduir les incidències que han afectat a la màquina en un període determinat.
- Factures dels recanvis. És laboriós però en cas de necessitat es pot recórrer al departament de comptabilitat perquè faciliti les factures del material consumit en el manteniment durant un període determinat (preferiblement llarg, d'uns 5 anys per exemple). D'aquesta manera es pot deduir les incidències que han pogut ocórrer i que han afectat als equips en qüestió.
- Diaris d'incidències. El personal que va a torns utilitza en algunes ocasions diaris en els quals es reflexa les incidències sofertes com un mitjà de comunicació entre el torn sortint-entrant. A partir d'aquesta informació també es poden conèixer i agrupar incidències en equips.

En les Plantes on l'experiència acumulada és encara petita (porta poc temps en servei), o la tecnologia emprada és relativament nova, o en aquelles instal·lacions que es troben en una fase de disseny (projectes) també es pot aplicar la metodologia RCM. De totes maneres el procés és molt més complexa ja que s'han d'estimar la totalitat de les fallades i requereix de personal molt més expert que en un procés d'aplicació convencional (veure el capítol 2.10.3).

### **2.3.2 PERSONAL DE MANTENIMENT - PRODUCCIÓ**

Sempre és convenient mantenir converses amb cadascun dels membres que componen la plantilla del departament de Manteniment, perquè donin la seva opinió sobre els incidents més habituals i les formes per tal d'evitar-los. Aquesta consulta ajudarà a més a que aquest personal s'impliqui en l'aplicació RCM ja que en cas contrari serà difícil la posada en marxa del nou Pla de Manteniment resultant de la metodologia. En el cas del personal de Producció tot i la seva manca d'especialitat en el Manteniment serà interessant la seva aportació en la identificació de les fallades, els símptomes que més interfereixen en la operació i funcionalitat de la Planta.

### **2.3.3 DIAGRAMES LÒGICS I FUNCIONALS**

Aquests diagrames solen contenir informació valuosa, inclús fonamental per determinar les causes que poden fer que un equip o un sistema s'aturi o es disparin les seves alarmes. Els equips solen estar protegits contra determinades fallades, tan a partir de valors límits monitoritzats avisant d'un funcionament incorrecte, com en forma d'aturada o impedit l'arrancada si no es compleixen unes condicions determinades. L'estudi de la lògica implementada del sistema de control pot indicar-nos possibles problemes que poguéssim tenir la instal·lació.

## **2.4 FASE 4. DETERMINACIÓ DELS MODES DE FALLADA I DE LES SEVES CAUSES.**

Una vegada s'han determinat totes les fallades que es poden presentar en un sistema, un subsistema o dels equips significatius que el componen, cal estudiar els modes de fallada. El mode de fallada ve a ser com la causa primària de la fallada o com les circumstàncies que acompanyen una certa anomalia en concret.

Cada fallada sigui funcional o tècnica pot presentar múltiples modes de fallada. Cada mode de fallada a més pot tenir múltiples causes fins arribar a les que s'anomenen causes arrel. No obstant, l'experiència demostra que si es tracta d'efectuar un estudi tan exhaustiu, els recursos necessaris són excessius i l'anàlisi acaba bloquejant-se i abandonant-se. Per tant, és important definir el grau de profunditat de l'estudi dels modes de fallades i de les seves causes de manera que l'estudi sigui tècnicament factible (veure capítol 2.10.2). És aconsellable estudiar els modes de fallades i les seves causes primàries però no seguir profunditzant. D'aquesta manera potser perdrem una part de la informació en certa manera valuosa, però a canvi aconseguirem realitzar un anàlisi de fallades complet per a tota la instal·lació amb un temps i uns recursos raonables. Recordem també que segons *Pareto*, del 20% de les causes se'n deriven el 80% dels problemes.

Per tal de copsar millor aquesta Fase, i a partir d'un exemple a continuació s'exposa un taula de Fallades i de Modes de Fallada pel cas de que un Sistema fóra un Motor elèctric d'una bomba (taula 6).

## EXEMPLE DE TIPOLOGIA DE FALLADA I MODES DE FALLADA EN UN MOTOR ELÈCTRIC D'UNA BOMBA

### FALLADA A: EL MOTOR NO GIRA

MODES DE FALLADA:

- Bobinat està cremat o trencat
- Terminal de connexió del cable elèctric d'alimentació defectuós
- Avaria en l'alimentació del motor (no rep corrent elèctrica)
- Eix bloquejat pels rodaments danyats

### FALLADA B: ALTES VIBRACIONS

MODES DE FALLADA B:

- Eix doblat
- Rodaments en mal estat
- Desalineació eix – acoblament bomba (amb l'element que mou)
- Desequilibri en el rotor de la bomba o del motor
- Acoblament danyat
- Ressonàncies magnètiques derivades d'excentricitats
- Un dels suports del motor no assenta correctament

### FALLADA C: LA PROTECCIÓ DEL TÈRMIC SALTA PER EXCÉS DE CONSUM

MODES DE FALLADA C:

- Tèrmic mal calibrat
- Bobinat cremat o trencat
- Rodaments en mal estat
- Desequilibris entre fases
- El ventilador està trencat i el motor s'escalfa

### FALLADA D: LA PROTECCIÓ PER CURTCIRCUIT SALTA

MODES DE FALLADA D:

- Bobinat cremat o trencat
- Terminal defectuós
- Element de protecció en mal estat

### FALLADA E: LA PROTECCIÓ DE DERIVACIÓ SALTA

MODES DE FALLADA E:

- Fallada de l'aïllament (fases en contacte amb la carcassa)
- La Posta a Terra es troba en mal estat
- Una de les fases es troba en contacte amb el Terra

### FALLADA F: SOROLL EXCESSIU

MODES DE FALLADA F:

- Eix doblat
- Rodaments en mal estat
- Fregament entre el rotor i estator
- Fregament al ventilador
- Mala lubricació dels rodaments (secs)

### FALLADA G: ALTA TEMPERATURA DE LA CARCASSA EXTERNA

MODES DE FALLADA G:

- Rodaments en mal estat
- Brutícia excessiva a la carcassa
- Ventilador trencat
- Lubricació defectuosa als rodaments

Taula 6. Exemple de Tipologia i Mode de Fallada en una motor elèctric d'una bomba.

Amb aquesta llista de possibles modes de fallada estarem en disposició de poder abordar el següent capítol, l'estudi o anàlisi de la criticitat de cada fallada.

## 2.5 FASE 5. ANÀLISI DE LA GRAVETAT DE LES FALLADES. LA CRITICITAT.

En aquesta fase s'han de determinar els Efectes de cada mode de fallada i una vegada exposats classificar-los en funció de la gravetat de les seves conseqüències tan a nivell de Seguretat, medi-ambient, producció i pel manteniment.

Es consideraran tres possibles casos: que la fallada sigui crítica, que sigui important o que sigui tolerable.

Des d'un punt de vista de Seguretat o d'impacte Mediambiental, considerarem que la fallada serà crítica si existeixen certes possibilitats de que pugui succeir i ocasioni un accident greu, o bé per a la seguretat de les persones o bé pel medi ambient. Serà important si la probabilitat de que succeeixi la fallada fora baixa, encara que les seves conseqüències fossin greus. Per últim, es considerarà que la fallada és tolerable quan tingui poca influència a nivell de gravetat i probabilitat de succeir.

Des de la perspectiva de la Producció, la fallada és crítica si suposa una parada de planta, una disminució del seu rendiment o de la capacitat productiva i a més existeix una certa probabilitat de que la fallada pugui ocórrer. Si la possibilitat és molt baixa, encara que pugui suposar una parada o afecti a la potència o al rendiment, llavors es considerarà coma a important. Serà tolerable quan no afecti a la producció o ho faci de forma no significativa.

Pel què fa al Manteniment, si el cost de la reparació (de la suma de la fallada més altres fallades que pogués originar la primera) superés una quantitat determinada, per exemple 10.000eur, la fallada seria crítica. Si es trobés en un rang econòmic inferior (per exemple entre 1.000 i 10.000eur) seria important, i per sota d'una certa quantitat tolerable. Els imports esmentats són merament referències d'exemple però que es poden aplicar en molts casos.

Resumidament es pot representar la criticitat a partir de la taula següent (taula 7):

ANÀLISI DE LA CRITICITAT DE LA FALLADA			
	SEGURETAT I MAMB	PRODUCCIÓ	MANTENIMENT
<b>CRÍTICA</b>	Accident greu probable	Suposa Parada o afecta a potència o rendiment	Alt cost de reparació (>10.000eur)
<b>IMPORTANT</b>	Accident greu, però molt poc probable	Afecta a potència i/o rendiment però és poc probable que succeeixi	Cost mig de reparació (1.000eur-10.000eur)
<b>TOLERABLE</b>	Poca influència en la seguretat	No afecta a la Producció	Baix cost de reparació (<1.000eur)

Taula 7. Anàlisi de la Criticitat de la Fallada

Cal recordar que un concepte important que preval en RCM és que en qualsevol tasca de prevenció d'una fallada és més important eliminar o reduir les conseqüències d'aquesta que evitar-la en sí mateixa, ja que en alguns casos la inversió econòmica necessària serà inviable. Per això és fonamental senyalar correctament les seves conseqüències o efectes, les quals es poden manifestar al mateix nivell o en un nivell superior. Aquestes conseqüències poden ser ocultes o evidents en funció de si l'usuari o operador pot percebre de forma directa la fallada, és a dir, en el cas de les ocultes no es poden detectar. Per tant, apareix un quart



concepte a valorar i que cal afegir a la Seguretat (tan personal com mediambiental), a la Producció, i a la Mantenibilitat que és la Detectabilitat. En aquest treball es proposa un nou criteri de selectivitat dels quatre conceptes anteriors alhora de determinar la repercussió d'una fallada (veure capítol 3.2).

## 2.6 FASE 6. DETERMINACIÓ DE LES MESURES PREVENTIVES.

Un cop detallats els modes de fallada del sistema que s'analitza, s'han classificat aquests modes de fallada segons la seva criticitat i s'han analitzat les causes que les han produït, el següent pas és determinar les mesures preventives que permeten evitar la fallada o minimitzar els seus efectes. Aquest és sens dubte un dels punts fonamentals del RCM.

Les mesures preventives que es poden emprendre són 5:

- Tasques de Manteniment (Preventiu generalment)
- Millores de la instal·lació (modificacions)
- Formació del Personal (tant de Manteniment com de Producció)
- Modificació d'instruccions d'Operació.
- Modificació d'instruccions de Manteniment

En aquest punt és on es pot observar l'enorme poder de l'anàlisi de fallades ja que no solament s'obtenen un conjunt de tasques de manteniment que les evitaran sinó que a més es poden obtenir un conjunt d'altres mesures, com un llistat de modificacions, un pla de formació, un llistat de procediments de treball, etc.

### 2.6.1 TASQUES DE MANTENIMENT

Establerts els modes de fallada possibles d'un ítem i les seves causes és necessari definir les tasques de manteniment podrien evitar o minimitzar els efectes de la fallada. Naturalment aquesta assignació no és tan senzilla ja que s'ha de tenir present sempre que la tipologia de la intervenció tindrà en compte la criticitat de la fallada ja que quan més elevada sigui, més recursos s'hauran de destinar al manteniment i més complexes i costoses podran ésser aquestes tasques preventives. És per aquest motiu que primer serà molt important classificar les fallades segons les seves conseqüències. Si aquesta resulta ser crítica, pràcticament qualsevol tasca aplicable podria ser resolutiva, en cas que fos important, hi hauria algunes limitacions, i si per últim fossin tolerables, tan sols serien necessàries accions senzilles que no suposessin pràcticament cap cost.

Amb l'objectiu d'agrupar i aclarir aquests intervencions de manteniment dependent de la criticitat de la fallada, es presenta la taula següent (taula 8):

TIPUS DE TASQUES DE MANTENIMENT	APLICACIÓ
<b>1. INSPECCIONS VISUALS</b>	<b>Totes les Fallades</b>
- Suposen un cost molt baix (sempre són rendibles)	
<b>2. LUBRICACIONS</b>	<b>Totes les Fallades</b>
- Suposen un cost molt baix (sempre són rendibles)	
<b>3. VERIFICACIONS AMB INSTRUMENTS PROPIS (ON –LINE)</b>	<b>Totes les Fallades</b>
- Presa de dades d'una sèrie de paràmetres de funcionament utilitzant els mitjans propis de l'equip (alarmes, pressió, temperatura, vibracions, etc.). Si es detecta alguna anomalia fora de rang (prèviament estipulats) es realitza una intervenció (de forma planificada o no)	
<b>4. VERIFICACIONS AMB INSTRUMENTS EXTERNS (OFF-LINE)</b>	<b>Fallades Importants i Crítics</b>
- Pretén determinar si l'equip compleix unes especificacions prefixades, utilitzant instrumentació o eines especials que mesuren simultàniament varis equips. Es poden dividir en dues categories: <b>.Instruments senzills</b> (pinces amperimètriques, termòmetres per infrarojos, tacòmetres, vibròmetres, etc.) <b>.Instruments complexos</b> (analitzadors de vibracions, fuges per ultrasons, termografies, anàlisi de la corba d'arrancada de motors, etc.)	
<b>5. TASQUES CONDICIONALS</b>	<b>Fallades Importants i Crítics</b>
- Es realitzen depenent de l'estat en què es troba l'equip. No és necessari d'aplicació si l'equip no dona símptomes de trobar-se en mal estat. Solen ser: <b>.Neteges condicionals</b> (segons una condició) <b>.Ajustos condicionals</b> (si el comportament de l'equip reflexa alguna desajust d'un dels seus paràmetres) <b>.Substitució de peces segons l'estat</b> (si després d'una inspecció o verificació s'observa la necessitat de canvi d'un dels elements)	
<b>6. TASQUES SISTEMÀTIQUES</b>	<b>Fallades Crítics</b>
- Es realitzen cada certes hores de funcionament, o cada cert període, sense tenir en compte l'estat de l'equip. Poden ser també: <b>.Neteges sistemàtiques</b> <b>.Ajustos sistemàtics</b> <b>.Substitució de peces sistemàtiques (de desgast)</b>	
<b>7. GRANS REVISIONS (ZERO HORES - OVERHAUL – HARD TIME)</b>	<b>Fallades Crítics</b>
- Tenen com a objectiu deixar l'equip com si tingués "zero hores" de funcionament.	

Taula 8. Tasques de Manteniment en funció de la Criticitat de la Fallada

## 2.6.2 FREQUÈNCIA DE LES TASQUES DE MANTENIMENT

Una vegada definides les tasques de Manteniment és necessari determinar en quines freqüències és necessari de realitzar-les. Existeixen tres possibilitats per a poder definir aquest aspecte:

1. A partir dels **Històrics de les avaries**, que permetran determinar les taxes de les fallades (la fiabilitat) i utilitzant tècniques estadístiques (que són diverses) per tal d'estimar el moment (temps) que es produirà una fallada si no actuem sobre l'equip. Caldrà tenir present que és necessari una quantitat mínima de valors de fallada perquè estadísticament sigui significatiu (recomanable més de 10, tot i que quan més elevada sigui la població més exactes seran els resultats). Afegir que la freqüència determinarà també el cost de la fallada i del cost de la tasca de manteniment (Mà d'obra + Materials + Pèrdua de Producció durant la intervenció, etc.).
2. A partir de **Funcions matemàtiques** que permetin predir la vida útil d'una peça, de manera que es pugui estimar la freqüència de la intervenció. Sol aplicar-se per estimar la vida de determinats elements, com els hèlices d'una turbina de gas, coixinets o rodaments d'un equip rotatiu o la vida d'una màquina de tall, però generalment són emprats per els fabricants d'aquests elements i es troben en les seves recomanacions, especificacions o manuals.
3. A partir de les **recomanacions dels experts en manteniment**, sempre i quan no es disposi de la informació anterior. Aquestes solen ser:
  - a. Fixar una freqüència diària per a les tasques de baix cost, com les inspeccions visuals o lectures de paràmetres.
  - b. Les freqüències setmanals són aconsellables per a les tasques que suposin muntatges o desmuntatges complexos i que no siguin justificables de forma diària.
  - c. Les freqüències anuals es reserven per aquelles tasques que siguin necessàries amb la planta parada i que no tinguin una necessitat mensual.

Aquestes freqüències indicatives no deixen de ser guies de referència i en cada cas és convenient comprovar si la freqüència proposada minimitza i/o redueix de la forma adient l'efecte analitzat de la fallada.

Per últim i amb la finalitat d'elaborar el Pla de Manteniment, és convenient d'especificar l'especialitat de la tasca: Mecànica, Elèctrica, Predictiva, Operativa, de Lubricació, etc.

### **2.6.3 MILLORES DE LA INSTAL·LACIÓ**

Hi ha determinades fallades que tan sols poden prevenir-se modificant o aplicant millores a la instal·lació. En aquest estudi s'han intentat resumir en les següents (taula 9):

**TIPOLOGIA DE MILLORES O MODIFICACIONS****Canvis en els Materials**

Mantenint el disseny de les peces, canviar la qualitat dels materials emprats per tal de millorar-ne les propietats i característiques (Ex: canvis en la composició química de l'acer, en el tractament superficial per millorar la capa externa, en el tipus de lubricant per tal de millorar el contacte en moviment entre dues peces metàl·liques, etc.)

**Canvis en el Disseny d'una peça**

La geometria d'algunes peces fa que en determinats punts acumulin esforços excessius (tensions) que faciliten la seva fallada. Aplicant un canvi de disseny es pot disminuir la seva probabilitat de fatiga.

**Instal·lació de sistemes de detecció**

La instal·lació d'equips d'instrumentació que permetin la senyalització d'un avís/alarma quan es superi un rang prefixat d'un paràmetre crític o que directament aturin el funcionament de la instal·lació, de forma que no sigui possible treballar en unes condicions perjudicials pel sistema.

**Canvis en el Disseny d'una Instal·lació**

Redissenyar tot el conjunt (no tan sols una peça) per evitar alguns modes de fallada. És el cas per exemple de les fallades produïdes pels "cops d'ariet" en una instal·lació en el qual s'han de canviar un conjunt d'elements (afegir tuberes flexibles, acumuladors de pressió, etc.) així com modificar els traçats.

**Canvis en les condicions de treball d'un ítem**

Actuar sobre les condicions que rodegen a l'element o un equip i no directament sobre l'equip. Per exemple si es pensa en la fallada d'un intercanviador de calor produït per incrustacions en la superfície tubular que condueix el fluid de refrigeració, aquesta fallada pot evitar-se tractant químicament aquest líquid amb un producte antiincrustant, pel qual no estem actuant sobre l'intercanviador sinó sobre un component extern.

Taula 9. Tipologia de Millores o Modificacions

**2.6.4 FORMACIÓ DEL PERSONAL DE PRODUCCIÓ I MANTENIMENT**

Per evitar les fallades que succeeixen, aplicant les mesures preventives perquè no es reproduïxin, o de forma correctiva però organitzativament eficient per resoldre-les ràpidament i amb un cost mínim, és molt important i necessari utilitzar accions formatives, tan pel personal d'operació com pel de manteniment. La formació en determinats procediments, o en un risc en particular, el repàs de diagrames unifiliars, l'estudi d'una avaria similar són exemples d'aquest tipus d'accions.

**2.6.5 MODIFICACIONS EN LES INSTRUCCIONS O PROCEDIMENTS DE TREBALL DE PRODUCCIÓ**

El personal que opera sol tenir una incidència elevada en els problemes que pot presentar un equip. Es pot dir que aquesta és la mesura més econòmica i més eficaç per lluitar contra les avaries. En general les tasques de manteniment generen un cost, tan pel què fa a ma d'obra com de materials. Les millores també tenen un cost afegit relacionades amb el disseny i amb les proves. Però un canvi en un procediment d'operació té en general un cost molt baix i un benefici potencial altíssim. De totes maneres també hi ha inconvenients, els canvis que es proposen solen tenir una inèrcia elevada per portar-los a terme, pel que és necessari tenir especial atenció al procés d'implantació.

Per altra banda, i en certes ocasions inevitables i que no es poden prevenir, per minimitzar els efectes d'una fallada és necessari adoptar una sèrie de mesures provisionals per si aquestes avaries s'arribessin a produir. En aquest sentit es poden generar una sèrie d'instruccions d'operació pel cas que succeeixin aquestes fallades en concret. Un bon exemple és quan es produeix un tall en el subministrament elèctric d'una planta, en les quals el personal d'operació i manteniment coneixen a través de protocols quines operacions s'han d'executar per minimitzar les pèrdues productives, de consums, etc.

### **2.6.6 MODIFICACIONS EN LES INSTRUCCIONS O PROCEDIMENTS DE TREBALL DE MANTENIMENT**

Algunes altres avaries es produeixen perquè determinades intervencions del personal de manteniment no es fan correctament. La redacció de procediments en els que s'indiquin clarament com han de realitzar-se determinades tasques, en les quals figurin determinades dades (toleràncies, ajustos, parells de serratge, etc.) són d'una gran utilitat.

## **2.7 FASE 7. OBTENCIÓ DEL PLA DE MANTENIMENT I AGRUPACIÓ DE LES MESURES PREVENTIVES.**

Posterior a l'etapa de determinació de les mesures preventives per evitar les fallades potencials d'un sistema, s'inicia el següent pas que és el d'agrupar aquestes mesures per tipologia (tasques de manteniment, millores, procediments i formació) per tal de facilitar la seva implantació. El resultat d'aquesta agrupació és el següent (taula 10):

### **PLA DE MANTENIMENT**

El Pla de manteniment el componen el conjunt de tasques de manteniment resultant de l'anàlisi de fallades. De totes maneres tot i ésser l'objectiu inicial d'aquest anàlisi no és l'únic resultat útil.

### **LLISTA DE MILLORES TÈNIQUES A IMPLANTAR**

Després d'aquest estudi s'haurà generat un llistat de millores i modificacions necessàries en la instal·lació. És convenient depurar aquestes millores, ja que segurament s'haurà de justificar econòmicament davant de la Direcció de la Planta la necessitat d'aquests canvis.

### **ACTIVITATS FORMATIVES**

Estaran dividides en formacions pel personal de Producció i pel de Manteniment. En alguns casos també es farà extensiu als Contractistes, si aquests estan involucrats en l'execució de les tasques de manteniment.

### **PROCEDIMENTS D'OPERACIÓ I DE MANTENIMENT A MODIFICAR**

S'haurà generat una llista de procediments a elaborar o a modificar que tindrà com a objectiu evitar la fallada o minimitzar els seus efectes. Hi haurà també unes instruccions especials que faran referència a mesures provisionals en cas de que es produeixi la fallada.

Taula 10. Agrupació de les mesures preventives segons la seva naturalesa

## **2.8 FASE 8. POSADA EN MARXA DE LES MESURES PREVENTIVES OBTINGUDES.**

### **2.8.1 PLA DE MANTENIMENT**

Un cop determinat el Pla de Manteniment primer s'haurà de substituir pel que estigui vigent. Cal recordar que és convenient repassar-lo en diverses ocasions per no oblidar algunes tasques, les quals seran introduïdes als sistemes operatius que es disposin (OT's, etc.). Sobretot és necessari comprovar que les tasques recomanades pels fabricants dels equips s'han tingut també en compte (sobretot si afecta al Manteniment reglamentari) per tal d'assegurar que es tenen en compte tasques que legalment són d'obligat compliment.

A partir del nou Pla caldrà assignar al departament de Manteniment d'aquells mitjans necessaris (tècnics i materials) que hagin aparegut com a novetat de l'estudi, del qual se'n derivarà un nou pressupost de manteniment. També serà imprescindible formar al personal de manteniment d'aquest nou Pla, explicant en què consisteix i quines són les diferències respecte l'anterior, així com quines són les fallades que es pretenen evitar amb els canvis que es pretenen implementar.

### **2.8.2. IMPLEMENTACIÓ DE MILLORES TÈCNIQUES**

La llista de millores obtingudes un cop depurada s'haurà de presentar a la Direcció de Planta per a la seva aprovació i realització. S'haurà de calcular el cost que suposa, sol·licitar alguns recanvis i seleccionar els possibles contractistes (en el cas que no es puguin executar amb el personal de la planta). També s'haurà d'exposar i calcular els beneficis que s'obtinguin de la implantació de cadascuna d'elles.

### **2.8.3. POSADA EN MARXA DE LES ACCIONS FORMATIVES**

Pel què fa a les accions formatives s'hauran d'incloure en el Pla de Formació de la planta. La gran diferència entre les accions formatives del RCM i la majoria serà que les noves formacions tenen com a objectiu resoldre els problemes tangibles i necessaris de la planta i per tant han de traduir-se de la forma més ràpida possible per assegurar-se amb celeritat una millora dels resultats de les instal·lacions.

### **2.8.4. POSADA EN MARXA DELS CANVIS PROCEDIMENTALS**

S'haurà d'assegurar que tots els implicats coneixen i comprenen els canvis procedimentals. Per aquest motiu també serà necessari d'organitzar sessions formatives en les quals s'expliqui a tot el personal cadascun dels punts detallats en els nous procediments, essent aquest aspecte el més important per assegurar una implementació efectiva.

## 2.9 PUNTS DIFERENCIALS D'UN PLA DE MANTENIMENT BASAT EN RCM

Si es compara un Pla de Manteniment convencional (Figura 2) que es troba bàsicament centrat en les recomanacions dels fabricants més aportacions puntuals de tasques proposades pels responsables del manteniment (en base a la seva experiència) i exigències legals de manteniment de determinats equips, amb un Pla de Manteniment que estigui centrat en l'anàlisi de les fallades, superficialment es poden copsar dues diferències notables:

- L'Aplicació de tasques noves de Manteniment. Intervencions que potser el fabricant no havia considerat necessàries als seus equips o components però que cal realitzar perquè eviten perjudicis econòmics importants al conjunt de l'empresa.
- L'Eliminació de tasques les quals les seves fallades associades que tractaven d'evitar eren perfectament assumibles per l'empresa (econòmicament viables) ja que era preferible que es produís la fallada i solucionar-la, que realitzar determinades accions per evitar-la que al final generaven un cost innecessari.

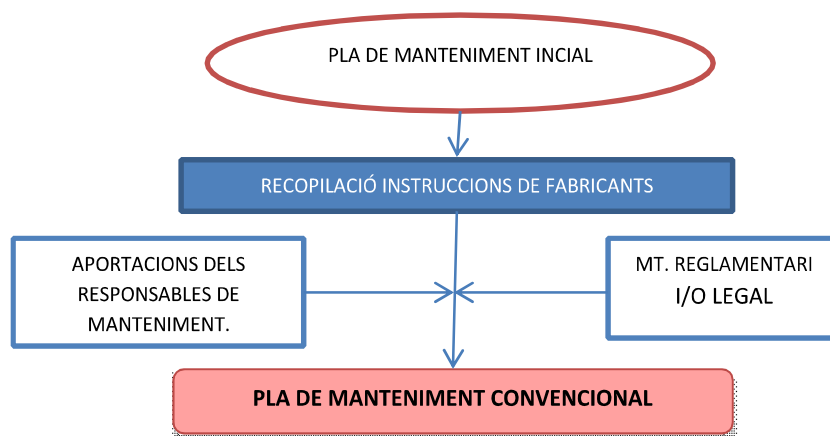


Figura 2. Pla de Manteniment Convencional

De totes maneres, el Manteniment Centrat o Basat en la Fiabilitat o RCM (Figura 3) va molt més enllà de la concepció tradicional. No tan sols s'obtindrà una Pla de Manteniment que tracti d'evitar les fallades potencials i previsibles, sinó que a més aporta una informació molt valuosa per elaborar un nou Pla de Formació anual orientat a la resolució dels problemes actuals, així com aspectes a incloure en els manuals d'operació i de manteniment. Per altra banda, el lloc que ocupen les recomanacions del fabricant en el Pla de RCM no és més que una mera consulta final per assegurar que s'han tractat tots els punts importants a mantenir.

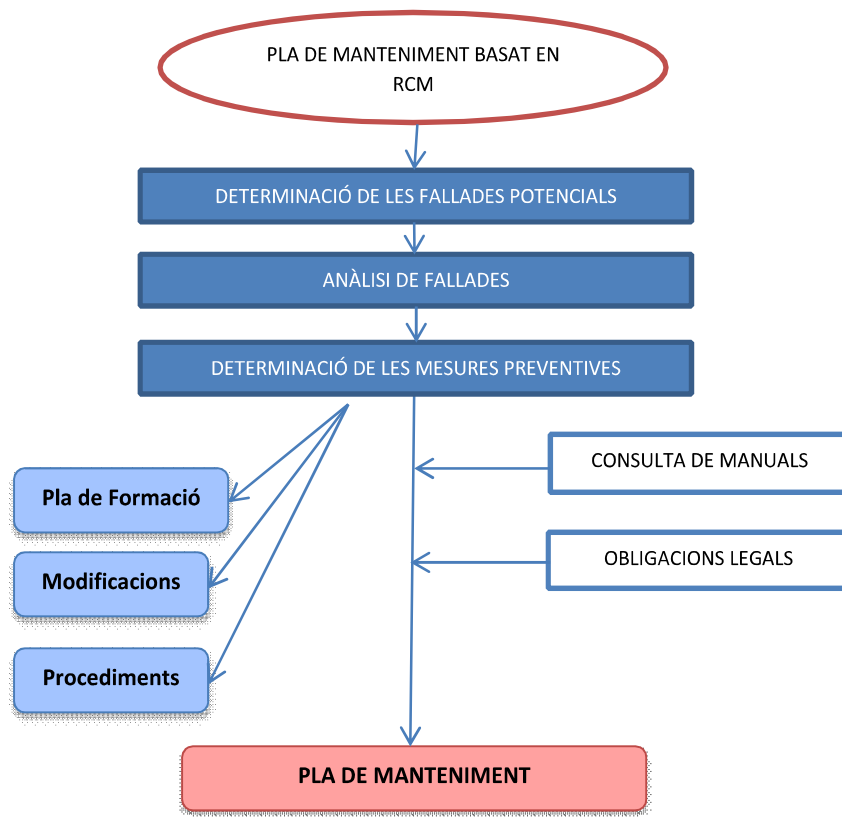


Figura 3. Pla de Manteniment basat en RCM



## 2.10 ASPECTES GENERALS DESTACABLES DEL PROCÉS D'IMPLANTACIÓ DEL RCM

Hi ha una sèrie de conceptes generals alhora d'implantar la metodologia RCM que són molt importants i que cal destacar alhora de posar-la en pràctica, per tal de que el resultat pugui ser exitós.

Inicialment però cal conèixer si existeix una necessitat de millora real a la instal·lació que faci rendible la seva utilització, ja que les empreses consultores expertes en RCM sovint només transmeten els avantatges de la metodologia (millora de la fiabilitat, disponibilitat, reducció del cost de manteniment, etc.) però no exposen els seus inconvenients. Per exemple requereix d'una inversió inicial important, de l'assignació d'un mínim de recursos humans i d'una certa qualificació d'aquest recursos, així com d'una alta implicació per part de la Direcció de la companyia, entre d'altres, aspectes que no totes les empreses es poden permetre.

Diríem doncs que no és una eina aconsellable per una l'empresa que no tingui unes exigències elevades de millora de la fiabilitat del procés, ja que assoliria uns bons resultats en aquest indicador, però per a poder assolir-los no seria econòmicament viable la seva implantació. En el cas però d'empreses de certa envergadura i amb exigències grans de millora funcional dels seus sistemes, per exemple aquelles en les que una parada per avaria del sistema els hi provoca un perjudici econòmic molt elevat, sí que és justificable aplicar aquesta metodologia. Val a dir també que molts dels conceptes i de les tècniques d'anàlisi que apareixen en RCM són completament útils i exportables per als gestors de manteniment ja que poden resoldre problemàtiques en molts dels altres àmbits operacionals, encara que no sigui justificable aplicar aquesta metodologia per complet a les seves instal·lacions.

### 2.10.1 L'EXTENSIÓ DE L'ANÀLIS RCM

Abans de llançar-se en la implantació de la metodologia RCM també és important efectuar-se una reflexió molt oportuna: Cal aplicar aquesta metodologia a tota la Planta o tan sols als equips crítics de la mateixa?

Com ja s'ha comentat, aquesta tècnica originàriament va néixer en el sector aeronàutic. El principal objectiu era assegurar que un avió no fallaria en ple vol, ja que no hi ha la possibilitat d'efectuar una reparació si es produeix una anomalia a 10.000 metres d'altura. El segon objectiu, quasi tant important com el primer, va ésser assegurar aquesta fiabilitat al mínim cost possible, perquè resultava econòmicament inviable el fet de mantenir la fiabilitat de la instal·lació (l'avió) a través de la substitució sistemàtica de tots els seus components. Per tant aquesta tècnica i en aquest sector s'aplica a tot l'avió i no solament a equips peculiars. És el conjunt el que no pot fallar, i no algun dels seus elements individuals, per molt o poc importants que aparentin ser, ja que el que realment és important és la conseqüència que pot produir i no l'equip en sí mateix.

En la majoria d'indústries quan apliquen RCM no l'extrapolen a tota la instal·lació, sinó que realitzen una selecció d'equips crítics per tal d'assegurar que aquest equips no fallin. L'estudi de les fallades d'aquests equips s'efectua amb un grau de profunditat tan elevat que per cadascun dels equips s'identifiquen centenars o milers de modes de fallada potencials, i

per l'estudi de cada equip crític són necessaris mesos, fins i tot alguns anys. Per a la resta d'equips que no s'estudien, el Manteniment s'elabora atenent a les recomanacions dels fabricants i a l'experiència dels tècnics experts o responsables del manteniment. En el millor dels casos només s'estudien les seves fallades i la seva forma de prevenir-les després de que aquestes hagin ocorregut i es fa poca cosa per anticipar-se a elles.

És possible que aquesta forma de plantejar el treball, dirigint RCM tan sols als equips crítics, potser sigui la correcta en determinades circumstàncies, però és dubtosa la seva viabilitat quan es busca millorar la fiabilitat-disponibilitat del conjunt i sobretot si posteriorment es vol assolir una reducció i optimització dels costos de manteniment. Els tècnics en Manteniment i Producció a vegades no són conscients de que una instal·lació pot parar-se, inclús per períodes prolongats de temps, per culpa d'equips o elements que no solen pertànyer a aquesta categoria d'equips crítics. Per exemple una petita fuga en un circuit hidràulic, una obstrucció en una vàlvula simple o un error de lectura en un instrument pot originar una seqüència de fallades posteriors produint al final la parada de tota la Unitat productiva. Potser és que estem acostumats a pensar que els equips crítics són aquells equips grans, significatius, i a vegades oblidem que un simple cargol pot aturar una planta, amb la repercussió de pèrdua de producció i els costos d'arrancada associats que representa restablir la situació.

És necessari recalcar que no són els equips els que són crítics sinó l'efecte o la conseqüència de la seva fallada. La criticitat o el risc de fallada no és derivada de l'aturada de l'equip en si mateix, sinó de la repercussió que pot tenir la seva avaria en la funcionalitat del sistema al qual pertany i el cost que representa. A més, considerar un equip crític no aporta cap informació que condicioni un plantejament del seu manteniment, ja que si pel fet de ser crític hem de realitzar un manteniment molt exhaustiu, potser estem malgastant esforços i diners en prevenir avaries que poden ser perfectament assumibles per a l'empresa. Es pot resumir doncs que és la classificació de les avaries en crítiques o no les que aportaran informació útil per a la presa de decisions i no la classificació dels equips en sí mateixos.

Per tant i en relació a respondre la pregunta inicial del capítol cal efectuar i dirigir RCM a tota la Planta. És necessari identificar les possibles fallades de tota la instal·lació, classificar-les en funció de la seva criticitat i adoptar les mesures preventives que evitin o minimitzin els seus efectes que siguin econòmicament proporcionals a aquesta repercussió.

Per a poder assolir aquesta extensió serà necessari planificar la implantació de la metodologia de forma que assegurí que l'estudi aglutini la totalitat de la instal·lació, o si més no, tenir el coneixement de que aplicar aquesta tècnica tan sols en una part del sistema només aportarà resultats parcialment i no de forma global.

### **2.10.2 LA DETERMINACIÓ DEL NIVELL DE PROFUNDITAT**

El segon aspecte important a destacar i que mereix una atenció especial és el Nivell de Profunditat de l'estudi. Avui en dia, en el qual segurament la majoria de Responsables de qualsevol àmbit de gestió no gaudeixen de tots els recursos necessaris (econòmics, materials o personals), s'ha de cercar l'equilibri entre la inversió de la mesura adoptada i el resultat

obtingut. La decisió d'afrontar i plantejar el nivell de profunditat de l'estudi anirà lligada a la tipologia d'Indústria on s'apliqui RCM i tindrà en compte les seves complexitat tècnica, les seves necessitats i/o exigències. En funció d'aquests aspectes l'estudi profunditzarà més o menys tant en el desglossament de l'arquitectura funcional i orgànica (la quantitat dels elements a analitzar) com en el nivell d'anàlisi de les causes de les fallades d'aquests elements.

En el present treball s'aconsella que el nivell de profunditat per aquelles empreses més convencionals que no tinguin exigències tan elevades (com ho poden ser el sector aeronàutic o energètic) sigui el que detalli l'arquitectura orgànica fins arribar a l'element mantenible, sense haver d'aprofundir més fins als seus components, i que el nivell durant l'anàlisi de causes no sobrepassi el segon nivell posterior a la fallada (en alguns casos especials es podria arribar al tercer), essent el primer nivell d'anàlisi el mode de fallada i el segon la seva primera causa arrel.

Amb aquest nivell de profunditat ja es poden plantejar mesures preventives o reactives per evitar les fallades realment pràctiques i efectives. A més cal recordar que no és econòmicament viable per a una empresa evitar totes les possibles fallades, per exemple si té una probabilitat molt baixa d'ocórrer i un efecte o pèrdua moderada en el procés. Ara bé sí que és importantíssim intentar identificar-les totes, així com tots els seus possibles efectes, per a poder elaborar un pla de contingències i així minimitzar-ne les conseqüències. És més important analitzar el conjunt de la Planta amb un cert nivell de detall que no profunditzar molt tan sols una part de la instal·lació. Amb aquesta profunditat equilibrada i aplicada a tot el conjunt es poden obtenir uns resultats prou exitosos de forma global. En cas necessari i a posteriori es pot estudiar amb més detall algun equip especial o algun subsistema, la fallada del qual sigui especialment crítica i dificultosa de resoldre, i per a la qual també sigui necessària l'ajuda d'altres especialistes.

Una altra bona idea és la de dividir la Planta en els diferents sistemes principals que la componen i estudiar cadascun d'ells amb el nivell de profunditat adient. Estudiar cada sistema amb una profunditat excessiva acabarà sobrecarregant de treballs als responsables de l'estudi, els resultats es retardaran i es corre el risc de que sigui inviable el Pla de Manteniment resultant tan a nivell tècnic com econòmic. De totes maneres estudiar-lo amb un nivell de profunditat mínim simplificarà massa el procés i no s'aconseguirà cap resultat realment útil.

### **2.10.3 TIPOLOGIES D'IMPLANTACIONS RCM EN FUNCIÓ DE L'EDAT DE LA INSTAL·LACIÓ**

El tercer aspecte destacable és que en realitat existeixen diferents models d'implantació de RCM i que aquests es divideixen en funció del grau d'experiència que es té de la instal·lació. Per exemple es pot implantar aquest mètode durant l'etapa de disseny d'una Planta mentre encara s'està elaborant el projecte per tal d'obtenir de forma inicial un bon Pla de Manteniment i no només tenir present les especificacions dels fabricants de la nova maquinària. També es pot implantar RCM en instal·lacions que es trobin en la seva edat infantil (menys de 2 anys). Però en ambdós casos la seva implantació o estudi requerirà d'un personal tècnic expert en aquesta metodologia molt més qualificat que en l'aplicació usual ja que no serà possible de fer intervenir personal propi amb l'experiència suficient acumulada, ni poder

revisar històrics d'averies de la instal·lació per tal de conèixer una situació inicial que no parteix completament de zero. En aquest cas una bona alternativa és la d'intentar efectuar una comparativa amb les incidències d'una instal·lació real o aconseguir la participació de personal que en tingui experiència. En tot cas, i de forma genèrica, les enginyeries projectistes i les empreses quan inverteixen en una nova instal·lació no acostumen a incloure un Pla de Manteniment a partir d'un estudi de RCM tot i que segurament seria un nou camp d'estudi interessant.

En el present treball es tenen en compte situacions més convencionals en les quals es vol efectuar un pas important de millora en la fiabilitat de instal·lacions, planta que gaudeix d'un cert temps de funcionament i que disposa d'una certa experiència registrada i d'un personal operatiu i de manteniment amb coneixements suficients dels seus sistemes.

### 2.11 RECURSOS I TEMPS NECESSARI PER APLICAR RCM

Per acabar l'exposició de la metodologia RCM cal comentar també quina és la quantitat i la qualitat dels recursos humans necessaris i quin és el temps aproximat requerit d'implantació. Aquesta tècnica no és senzilla d'aplicar i una sola persona no pot fer front ni té tots els coneixements per a confeccionar la globalitat d'un projecte d'aquestes característiques. Per una banda és necessària un tècnic expert en la metodologia així com altres experts en gestió del manteniment (sobretot en anàlisi de causes de les fallades i amb l'experiència suficient d'intervencions de manteniment) i per l'altra és imprescindible la participació de persones amb coneixements elevats de la instal·lació a estudiar. És del tot recomanable que per efectuar un projecte d'aquestes característiques es contracti un tècnic expert de RCM que sigui extern ja que no hi existeixen gaires gestors de manteniment amb aquests coneixements a les empreses convencionals. Aquest expert actuarà com a líder i coordinarà els diferents grups de treball.

Pel que fa a la organització dels recursos humans es crearan una sèrie de grups de treball interns de la Planta, els quals realitzaran l'estudi conjuntament amb el tècnic expert en RCM. Aquests grups són els següents:

**Grup RCM Management.** Serà el Grup Director. Compost per el Director de Planta, els Caps de Manteniment, els de Producció, Qualitat i Seguretat. L'equip estarà liderat pel Responsable del Projecte de RCM que orientarà les diverses reflexions del grup. Aquest grup aportarà el coneixement global que té per tal de traçar l'enfoc i la selectivitat inicial dels sistemes. Finalment presentarà el Pla de Manteniment resultant per tal de que la validi la Direcció així com també valorarà el nivell d'èxit dels resultats obtinguts a través del Retorn de l'Experiència, establint un Procés de Millora Contínua permanent, revaluant, optimitzant i modificant les mesures adoptades del nou Pla de Manteniment.

**Grup RCM Pilot.** Serà la clau mestre de l'anàlisi. Seguirà les directrius del grup de Management, i prepararà amb detall el conjunt d'anàlisis pel grup Sistema. Aquest grup es compondrà bàsicament per a les persones que coneixen la metodologia RCM, el líder de la metodologia, els gestors del manteniment (cap de manteniment) i com a mínim dos tècnics

experts de manteniment que coneguin a fons la instal·lació, essent un d'ells d'especialitat mecànica i l'altre d'especialitat elèctrica. Aquest grup serà el que estudiarà totes les possibles fallades de la instal·lació, avaluarà l'històric d'averies, analitzarà les possibles causes primàries i determinarà les mesures preventives. No executarà aquesta tasca solitàriament i de forma aïllada sinó que treballarà i es coordinarà en cada moment amb els Grup Sistema o Equip.

**Grup RCM Sistema o Equip.** Seran els diversos grups de treball formats per una selecció d'operaris de producció i de manteniment de cadascun dels diferents subsistemes de l'estudi. Bàsicament estarà format pel personal usuari el qual és més coneixedor del dia a dia de les màquines o línies. Cadascun d'aquests grups s'encarregarà de recollir algunes de les dades sobre el terreny del seu propi subsistema i d'aportar la seva experiència quotidiana de la instal·lació a les sessions de treball amb el grup Pilot. Comentar que el grup d'operaris de producció normalment seran els que aportin més idees dels símptomes del procés i el personal de manteniment idees de les causes primàries de les fallades. Finalment i després de que el conjuntament amb el grup Pilot hagin definit les causes primàries, aquest també ajudarà a elaborar les tasques del Pla de manteniment, les accions preventives per tal d'evitar la fallada.

És important destacar que alhora de confeccionar el Grup Pilot i el Grup Sistema caldrà seleccionar detingudament els recursos que hi participin així com definir un Planning adequat de treball, tan per a les sessions d'anàlisi com pel treball de camp per tal de no fer perdre temps i esforços innecessaris al personal que integren aquest grup ja que paral·lelament han de poder contribuir en la seva tasca usual diària.

Pel què fa al temps necessari d'implantació és bastant difícil definir-lo amb exactitud ja que intervenen varis factors que poden fer variar molt els terminis. Els factors més importants que influiran en aquesta variabilitat són:

- **La tipologia Industrial.** Com sempre el model de negoci determinarà les necessitats o objectius de fiabilitat/disponibilitat que configurarà el nivell de profunditat de l'anàlisi i per tant la seva complexitat tècnica. En funció d'aquesta complexitat es podrà assignar un temps.
- **La disponibilitat i l'accés a la informació.** Registres, històrics d'averies, GMAO's, etc. per analitzar l'estat actual del manteniment.
- **Els recursos humans disponibles.** Comentat anteriorment.
- **L'extensió o abast de la instal·lació.** En el cas d'una empresa petita es pot realitzar l'estudi al complet directament. En empreses mitjanes o grans es pot iniciar mitjançant una prova pilot.

De totes maneres les millors experiències d'implantació són les que han assignat uns recursos humans suficients per tal de que en un període màxim d'un any s'hagi pogut obtenir un Pla de Manteniment resultant. Posteriorment serà precís d'un nou període complet d'un altre any per a contrastar i analitzar els resultats d'aquest Pla i obtenir resultats d'indicadors de la Planta. Aquest fet no significa que per assolir aquest estudi els recursos humans esmentats estiguin alliberats durant un any ni que l'estudi s'efectuï de forma continuada diàriament sinó que d'una forma ordenada i a través de plans setmanals, mensuals i

trimestrals de treball (per a l'anàlisi normalment de cadascun dels sistemes) serà possible assolir de forma exitosa una aplicació RCM global en una Planta.

Mitjançant un expert en RCM extern a l'empresa, un tècnic mecànic i un altre tècnic elèctric/instrumentació amb suficients coneixements de la instal·lació i dedicats a temps parcial (un dia amb dedicació exclusiva a la setmana), més la col·laboració i participació dels Caps de Manteniment, de Producció, de Qualitat i Seguretat durant aproximadament unes 15 reunions i unes altres 50 sessions conjuntes del Grup Pilot amb cadascun dels Grups Sistemes (de no més de 2 hores cadascuna) es pot obtenir un estudi complet d'una Planta productiva composta per unes 20 línies productives. Aquest fet i sense comptar amb el tècnic expert en RCM suposaria al voltant d'un 2.000 Hores-Home/any, és a dir, al voltant d'una sola persona que es dediqués exclusivament a efectuar l'estudi.

Posteriorment i durant el cas pràctic, el qual és aplicat a una sola línia de producció i pel qual es va tardar aproximadament un mes en aconseguir l'obtenció del Pla, s'exposarà amb més precisió els temps així com els recursos emprats, tot i que com ja s'ha comentat aquests aspectes solen dependre de molts factors.

### 3. APORTACIONS I PROPOSTES DE MILLORA A LA METODOLOGIA RCM.

#### 3.1 ESTUDI DE LA SELECTIVITAT INICIAL DE RCM. LA MATRIU DE CRITICITAT SDQ.

Un cop s'hagi iniciat un procés RCM en una indústria, el Grup de Management, sota el lideratge d'un tècnic expert en aquesta metodologia, ha de poder formalitzar les activitats següents :

1. Fraccionar l'empresa en diferents processos o grans àrees de producció.
2. Seleccionar cada àrea o procés a estudiar, basant-se amb criteris quantitatius i qualitius, segon la importància, els problemes coneguts que generen, el domini del procés, etc.

D'aquesta manera ha de sorgir una selecció inicial on sobresurtin aquelles àrees més significatives i on posteriorment el Grup RCM Pilot pugui efectuar-ne una descomposició orgànica i funcional, i seguidament prosseguir amb les següents fases d'aquesta metodologia.

És doncs important poder efectuar aquest procés de selecció inicial de les àrees de forma que aflorin aquells seccions amb més rellevància, les quals seran les primeres de l'estudi, les més significatives o les que aporten més valor afegit per a l'empresa.

Es proposa doncs una forma de puntuar les àrees mitjançant una sèrie de factors, els quals configuraran el que podem anomenar com a matriu de criticitat SDQ. Aquests factors són:

- Seguretat (S)
- Producció o Disponibilitat (D)
- Qualitat (Q)
- Cost del Manteniment (M). Es pot utilitzar en algunes ocasions quan siguin molt significatiu.

##### a) CRITERI DE SEGURETAT

Aquest criteri rebrà un tractament especial, en funció de la tipologia Industrial (per exemple en grans indústries com les Químiques, Centrals elèctriques, Refineries, Siderúrgiques, etc.) quan sigui de gran rellevància no incórrer en accidents greus (tan per a les persones com pel Medi ambient) derivats de la manipulació o transformació de materials o matèries que tenen una perillositat elevada. Es considerarà doncs, degut a aquesta rellevància, que aquest criteri no serà ponderable conjuntament amb els altres. Per altra banda i en el moment d'anàlisi dels efectes de les fallades dels equips que puguin ocasionar un risc de seguretat important també es considerarà aquest factor com a especial. Per a poder valorar aquest criteri es pot tenir present:

- La Influència de la avaria en el terreny laboral i mediambiental.
- Directius reglamentàries significatives.
- Experiències sobre accidents de treball .

S'assignarà a una fallada crítica produint un efecte greu de seguretat un valor de S=1 que correspondrà a una Criticitat 10 (veure la figura 4. Matriu SDQ).

### b) CRITERI DE DISPONIBILITAT (D)

Es quantificarà el criteri de disponibilitat segons la taula següent (taula 11) en funció de la criticitat de la fallada:

FALLADA	VALOR	DESCRIPCIÓ DE L'EFECTE
CRÍTICA	D=1	Caldrà evitar o minimitzar la fallada de l'equip
IMPORTANT	D=0	Parada de l'equip . La Fallada es pot evitar sense grans esforços ja que es difícil que es materialitzi (Ex: aplicant M.Preventiu/rondes d'inspecció)
TOLERABLE	D=-1	La fallada té poques conseqüències pel procés

Taula 11. Ponderació del criteri de disponibilitat

Per tal de poder ponderar la criticitat del sistema/subsistema/màquina es tindrà present el següent a partir dels registres de que es disposi i de l'experiència històrica:

- La influència de les parades del sistema.
- L'existència d'equips redundants o de pulmons de producció.
- La influència de la fallada de l'equip sobre altres equips.
- La freqüència de les fallades.
- Els temps de parada de cada fallada.

### c) CRITERI DE QUALITAT (Q)

El criteri de Qualitat serà puntuat seguint el mateix criteri D i segons la taula següent (taula 12):

FALLADA	VALOR	DESCRIPCIÓ DE L'EFECTE
CRÍTICA	Q=1	Caldrà evitar o minimitzar la fallada de l'equip
IMPORTANT	Q=0	La Fallada es pot evitar sense grans esforços ja que es difícil que es materialitzi (Ex: aplicant M.Preventiu/rondes d'inspecció)
TOLERABLE	Q=-1	La fallada té poques conseqüències

Taula 12. Ponderació del criteri de Qualitat

Aquest criteri serà quantificat segons les premisses següents:

- Percentatge de pèrdues de producció derivades de la fallada dels equips
- Influència de les fallades sobre la qualitat final del producte.

A partir d'aquesta sistemàtica s'aconseguirà recollir unes valoracions que conformaran la **Matriu de Criticitat SDQ**, la qual permetrà establir una selecció prèvia general dels processos o àrees mitjançant la correlació dels criteris anteriors.

Segons la tipologia d'empresa i la forma en què es desenvolupi l'estudi aquesta matriu de selecció inicial també es pot emprar posteriorment per a la selecció dels sistemes, per a la selecció de subsistemes (tal i com s'exposarà en el cas pràctic del present estudi) o fins i tot per a la selecció de màquines o equips. En aquests casos però, caldrà tenir present que cada



puntuació es multiplica per la valoració antecessora del nivell superior i per tant quan es vulgui valorar la criticitat de la totalitat de les fallades en conjunt s'observarà que totes les fallades crítiques que formin part de subsistemes, sistemes i àrees també crítiques tindran una puntuació excessivament elevada cosa que potser no s'ajustarà a la realitat de la repercussió. Es proposa per tant que aquest criteri de selecció simple s'utilitzi tan sols per distingir a grans trets els sistemes o àrees amb més criticitat, és a dir, les àrees les quals una fallada funcional del seu conjunt produís una conseqüència molt perjudicial per a la companyia. Si no es té cura d'aquest fet no es distingirà adequadament la gravetat dels efectes del conjunt de fallades.

SEGURETAT (S)		Inacceptable (1)	QUALITAT (Q)		
			CRÍTICA	IMPORTANT	TOLERABLE
		<b>10</b>	Inacceptable (1)	A controlar (0)	Despreçiable (-1)
DISPONIBILITAT (D)	CRÍTICA	Inacceptable (1)	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
	IMPORTANT	A controlar (0)	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
	TOLERABLE	Despreçiable (-1)	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Figura 4. Matriu de Criticitat SDQ

Afegir que en funció de la indústria seleccionada i de la rellevància del criteri de Qualitat (Q) o de Disponibilitat/Producció (D), es poden transposar les dades d'aquests dos criteris. Per exemple en el cas anterior pren rellevància el Criteri Q (9,8,6 > 9,7,4) per sobre de la Disponibilitat.

En cas de no poder definir amb tanta claredat la correlació entre aquestes tres variables, es pot emprar l'alternativa d'utilitzar la **matriu de criticitat clàssica** (figura 5) la qual però tan sols permetrà observar i quantificar la gravetat d'un succés a partir de la probabilitat de que es produeixi (la freqüència d'una potencial fallada no desitjada amb les seves conseqüències probables).

SEVERITAT	Catastròfica	ALT	ALT	ALT	MITJÀ	BAIX
	Crítica	ALT	ALT	MITJÀ	BAIX	ACCEPTABLE
	Marginal	MITJÀ	MITJÀ	BAIX	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE
	Despreçiable	BAIX	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE	ACCEPTABLE
	PROBABILITAT					
		Freqüent	Probable	Ocasional	Remota	Improbable

Figura 5. Matriu de Criticitat clàssica

### 3.2 SELECTIVITAT DELS EFECTES DE LA FALLADA FUNCIONAL. MATRIU DE CRITICITAT DESENVOLUPADA

Una vegada s'ha desglossat l'arquitectura orgànica i funcional i s'han detallat totes les possibles fallades funcionals, caldrà quantificar mitjançant alguna metodologia la gravetat dels efectes d'aquestes fallades i les seves causes de forma que posteriorment es puguin aplicar convenientment les mesures preventives. Mitjançant aquesta quantificació es podrà copsar quines són les fallades que seran més crítiques i quines no, així com s'invertirà una quantitat major o menor de recursos per tal d'evitar-les. Per a poder efectuar a una classificació de la seva criticitat i la probabilitat, risc o capacitat d'aparèixer, es proposa en aquest capítol un sistema de classificació més desenvolupada seguint la premissa anterior de la matriu SDQ.

En aquest cas però s'utilitzarà una matriu que pugui valorar amb més precisió la gravetat o criticitat dels efectes, per la qual s'ha cregut convenient d'afegir una sèrie de factors que en la selecció inicial no eren necessaris però que ara seran imprescindibles. Són els següents:

- **S. Seguretat.** Es valorarà igualment el factor de seguretat cap a les persones i el medi ambient de forma especial. Val a dir però que aquest paràmetre també es pot incloure en dins del factor de Gravetat i no ponderar-se de forma aïllada com en el cas de la matriu SDQ.
- **G. Gravetat.** Aquest factor tindrà present la pèrdua de **Disponibilitat-D** (temps de parada en un equip o a tot el procés), la pèrdua de **Qualitat-Q** (costos de la pèrdua productiva o de mala qualitat) així com també tindrà en compte el cost de reparació o **Mantenibilitat- M** (temps de reparació de la fallada).
- **F. Freqüència.** És valorarà la probabilitat (tan si és coneguda o com si es tracta d'una estimació) de que es produeixi una fallada, pel qual s'hauran de revisar els històrics d'avaries. Afegir que amb aquest criteri s'estarà avaluant indirectament la fiabilitat de l'element.
- **E. Detectabilitat.** Prendrà molta rellevància el fet que l'usuari pugui detectar amb anterioritat o en el mateix instant de temps que està succeint la fallada, ja que si aquesta és oculta pot ocasionar una empitjorament de les seves conseqüències, un augment de les pèrdues, un major temps de reposició, per tant una major indisponibilitat i en definitiva un augment dels costos que se'n derivin.

Tal i com es pot comprovar a la taula següent (taula 13) primerament es valoraran de forma individual cadascun dels factors comentats (sumant cadascun dels efectes descrits a la taula) i una vegada s'hagin quantificat es multiplicaran en conjunt per tal de donar un valor global de criticitat a l'efecte de la fallada. Posteriorment aquest valor es multiplicarà novament amb el valor de la matriu SDQ, per tal de poder efectuar una espècie de rànquing d'efectes de fallada de la instal·lació de cara a un anàlisi adient de les mesures preventives.

Per altra banda val a dir que cada empresa pot dissenyar-se i adaptar les seves pròpies matrius de criticitat, en funció de les valoracions, objectius i necessitats internes. A més i dependent d'aquestes necessitats, aquestes matrius poden tenir una complexitat major en quan a la assignació de factors i valors.

De totes maneres també és important afegir que és convenient i recomanable, alhora d'efectuar un anàlisi d'aquestes característiques, simplificar en certa mesura la ponderació per no caure en l'error d'invertir un temps massa gran en elaborar aquestes taules sense que aportin la informació corresponent per a una presa de decisions encertades.

				PROPOSTA DE VALORS	
CRITERIS PER ELABORAR MÀTRIU DE CRITICITAT	G-GRAVETAT	S	Per a la <b>SEGURETAT / MAMB</b>	Sense influència	1,00
				Influència baixa amb ferits o de lleu contaminació	2,00
				Mitjana amb ferits o contaminació mitjana (crítics)	5,00
				Important amb risc de mort o greu contaminació (catastròfics)	10,00
		D	Per a la <b>DISPONIBILITAT / PRODUCCIÓ</b>	Parada de l'equip < T1 - 1h	1,00
				Parada de l'equip > T1 i < T2 - 4h	2,00
				Parada del procés < T1 -1h	5,00
				Parada del procés > T1 i < T2 - 4h	8,00
		M	Per a la <b>MANTENIBILITAT o COST DE MANTENIMENT</b>	MTTR < t1 -0,5 h	1,00
				MTTR > t1 i < T2 -2 h	2,00
				MTTR > t2 i < T3 -8 h	3,00
				MTTR > t3	4,00
	Q	Per a la <b>QUALITAT</b>	Pèrdua % < W	1,00	
			Pèrdua % > W i < X	2,00	
			Pèrdua % > X i < Y	3,00	
			Pèrdua % > Y i < Z	4,00	
	F	Per a la <b>FREQÜÈNCIA / FIABILITAT</b> ( $\lambda$ = taxa de fallada. Avaria / hora)	Altament improbable $\lambda < 10^{-9}$	1,00	
			Improbable $10^{-7} < \lambda < 10^{-5}$	2,00	
			Ocasional $10^{-5} < \lambda < 10^{-4}$	3,00	
			Freqüent $10^{-3} < \lambda$	4,00	
E	Per a la <b>Detectabilitat</b>	Existeix alarma Visual o Auditiva amb localització i autoregula el procés.	1,00		
		Existeix alarma Visual o Auditiva sense localització	2,00		
		Detecció pel conductor/usuari	3,00		
		No existeix	4,00		

Taula 13. Criteris per elaborar matriu de criticitat

Valor màxim de Freqüència/ Detectabilitat= 4

Valor màxim Gravetat= 10+8+4+4= 36

Valor Criticitat Inicial MÀXIMA= 36x4x4= 576 punts.

Valor Criticitat final (x Matriu SDQ) = 576x10=5760 punts.

**Exemple 1** : Es produeix una avaria en l'alimentació d'aire d'una vàlvula d'aportació de vapor en una planta química i para el procés 2 hores. La reparació és senzilla (<0,50 h) i poc costosa ja que es disposa d'una vàlvula de recanvi. Hi ha pèrdues productives importants i la fallada s'havia produït 2 anys abans. (Ocasional  $10^{-5} < \lambda < 10^{-4}$ ). Els operadors detecten la fallada quan la vàlvula entra en posició de seguretat (tancada) ja que senyalitza un error a la pantalla.

$$G= 1(S) +8(D) +1(M) + 3(Q) = 13 / F=3 / E= 2. / \text{Valor de Criticitat inicial} = 13 \times 3 \times 2 = 78 \text{ punts}$$

Exemple 2 : Es produeix la mateixa fallada anterior però derivat de l'última avaria aquesta vegada s'ha dissenyat un circuit de bypass de vapor en el tram de la vàlvula de regulació en cas de fallada. Quan es produeix l'avaría es para el procés durant 15 minuts ja que els operadors han d'obrir manualment una vàlvula (detecten igualment en pantalla l'error) ja que tenen una instrucció de com actuar. La valoració és la següent:

$$G= 1(S) +1(D) +1(M) + 1(Q) = 4 / F=3 / E= 2. / \text{Valor de Criticitat inicial} = 4 \times 3 \times 2 = 24 \text{ punts}$$

### **3.2.1 ESTUDI DEL VALOR PROPOSAT DE CADA FACTOR**

Mereix una atenció especial comentar que els valors proposats per a cada factor a ponderar són un aspecte clau per tal d'efectuar una selecció adient i ponderar correctament l'efecte o la conseqüència de cada fallada. Per tal d'assignar uns valors correctes és recomanable simular l'efecte de les fallades que ja han succeït mitjançant l'històric d'avaries existent i comparar aquesta criticitat inicial simulada amb els costos finals coneguts per observar-ne la correlació. Una altra forma més precisa però més complexa és la d'associar un cost estimat a cada efecte de certa rellevància (que superi un cert valor de la criticitat). En aquest sentit cal remarcar que hi ha indústries en les quals és vital que no es pari el procés (processos continus, etc.) degut a l'elevat cost que representa una parada, però en d'altres pren més importància la qualitat del producte fabricat i evitar el rebuig o reprocés de producte per l'elevat cost que genera. També es pot donar el cas que aquests dos aspectes tinguin la mateixa importància. En definitiva, efectuar una matriu adient pot representar afinar molt en determinar aquelles fallades més crítiques per tal d'orientar correctament els esforços en evitar-les o minimitzar-les.

### **3.3 LOGIGRAMA DE DECISIONS DEL MANTENIMENT.**

En aquest capítol es proposa un Logigrama de Decisió del qual es puguin deduir les intervencions de manteniment més oportunes de forma que aquestes tasques puguin ésser:

- Aplicables: Puguin portar-se a la pràctica.
- Eficaces: Permetin reduir la taxa de fallada i dominar la seva evolució.
- Econòmiques: Siguin realitzades en unes condicions de cost raonables.

Afegir en aquest sentit que un cop s'hagin seleccionat els efectes més crítics a través de les matrius de criticitat exposades amb anterioritat, la resultant ha d'ésser en forma de 2 llistats finals de RCM:

1. La Plantilla d'Anàlisi de Fallades Funcionals (FMECA) amb les causes seleccionades, la qual permetrà de realitzar el següent llistat.
2. La Plantilla de Decisiones de les Intervencions de Manteniment.

A continuació es representa el **LOGIGRAMA DE DECISIONS DEL MANTENIMENT** proposat (figura 6).

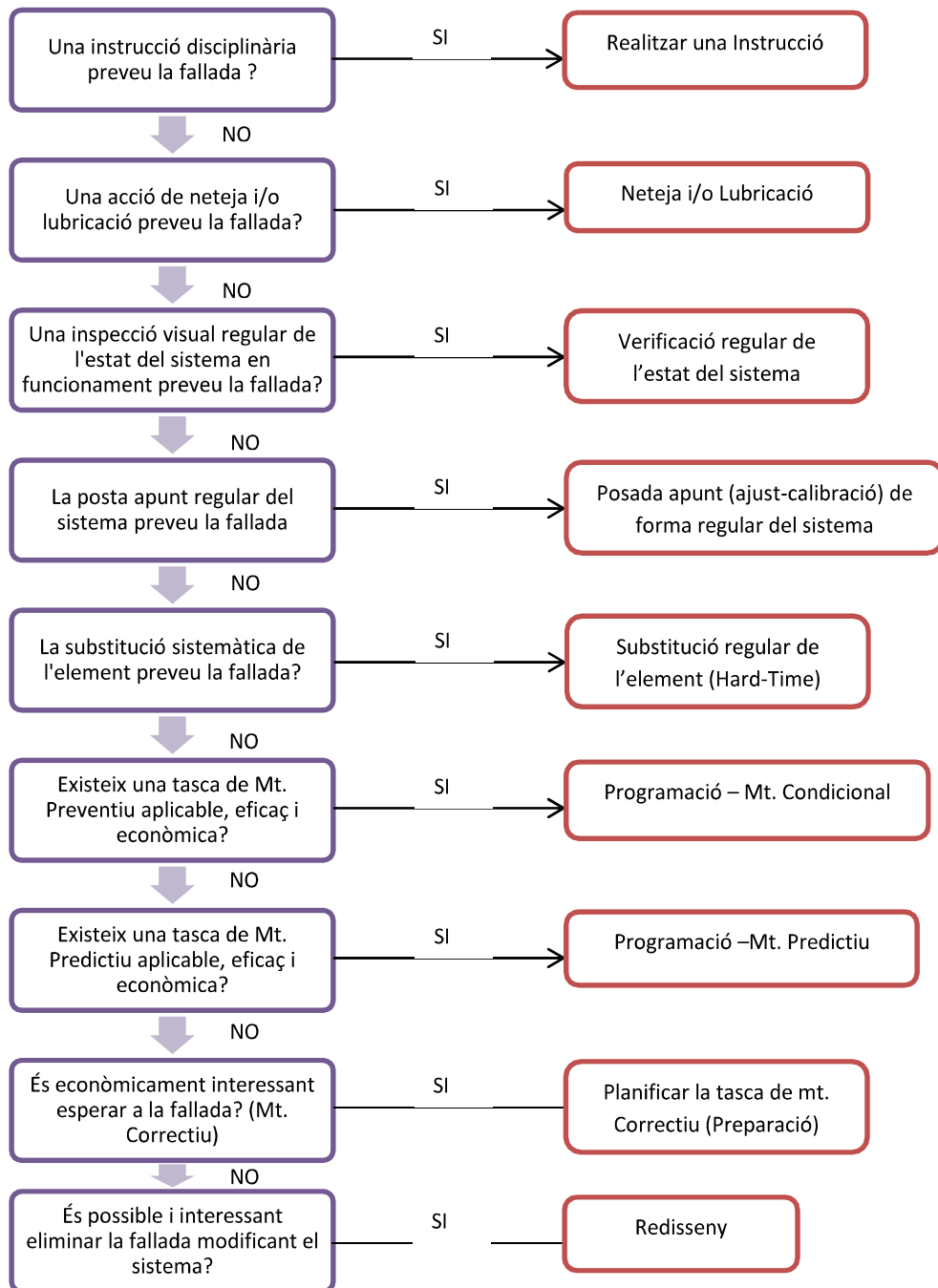


Figura 6. Logigrama de decisions del Manteniment

### 3.4 OPTIMITZACIÓ DEL PLA DE MANTENIMENT TÈCNIC. RETORN DE L'EXPERIÈNCIA (RDE).

Un cop establert el Pla de Manteniment Tècnic a partir dels grups de treball, convindrà dinamitzar el Manteniment a partir de l'examen de l'eficàcia de cada acció de RCM, determinant el cost en comparativa amb el cost de la fallada que evita.

El RDE és la recollida de la informació relativa al funcionament de les diferents màquines, emmagatzemada en una base de dades en 4 partides diferents:

- Dades de Fiabilitat
- Incidents
- Històric de màquines/equipos
- Informacions específiques del departament de Manteniment.

Cada partida tindrà un contingut específic per a l'empresa, que es podrà comparar internament any a any o amb dades externes o específiques del sector. Per tal de que el RDE sigui un procés de millora contínua, es pot elaborar una taula per avaluar els resultats obtinguts i per establir les estratègies futures de modificació del Pla de Manteniment. A continuació en posem un exemple:

Fallada sobre S, P o Q	S'ha evitat la fallada?	Existeix un Pla de Manteniment?	Estratègia
SI	SI	SI	Mantenir o optimitzar el Pla de Manteniment
SI	SI	NO	Avaluar l'interès de realitzar un Pla de Manteniment.
SI	NO	SI	Revisar i reavaluar la criticitat en el Pla de Manteniment
SI	NO	NO	Elaborar un Pla de Manteniment.
NO	SI	SI	Reavaluar la criticitat per si cal suprimir l'acció en el Pla de Manteniment.
NO	SI	NO	Reavaluar la criticitat i mantenir un Mt. Correctiu.
...	...	...	...

Taula 14. Taula d'avaluació dels resultats obtinguts

No podem oblidar que, en els casos que no es disposi de dades estadístiques (o de poques dades), s'haurà de comptar amb l'opinió i el judici d'un expert (tècnica bayesiana). També s'ha de tenir present que els històrics d'averies són obtinguts a partir de butlletins de i d'Ordres de Treball orientades a la reparació, les quals a vegades no contenen les causes, els modes i els efectes de les fallades. En la majoria de casos, per exemple, el criteri de la detecció (E) no és té en compte. Per tant i com s'ha dit, l'opinió d'un expert pot ésser fonamental.

També és important destacar que la utilització de RCM, al ésser una metodologia participativa en la concepció del programa de Manteniment planificat i en la implicació dels usuaris (producció) i del mantenidor, és el primer pas cap el TPM i les certificacions ISO, ja que permet:

- La definició dels objectius de cada departament.
- El desenvolupament del Preventiu envers el Correctiu.
- La creació d'una base de dades i registres per a la Millora Contínua.
- La millora de la Taxa de Rendiment Sintètic (TRS).

TRS - És la unió d'indicadors de Utilització, Disponibilitat, Fiabilitat, Qualitat i Seguretat).

Comentar també que els resultats que s'han d'obtenir de l'anàlisi RCM són quatre:

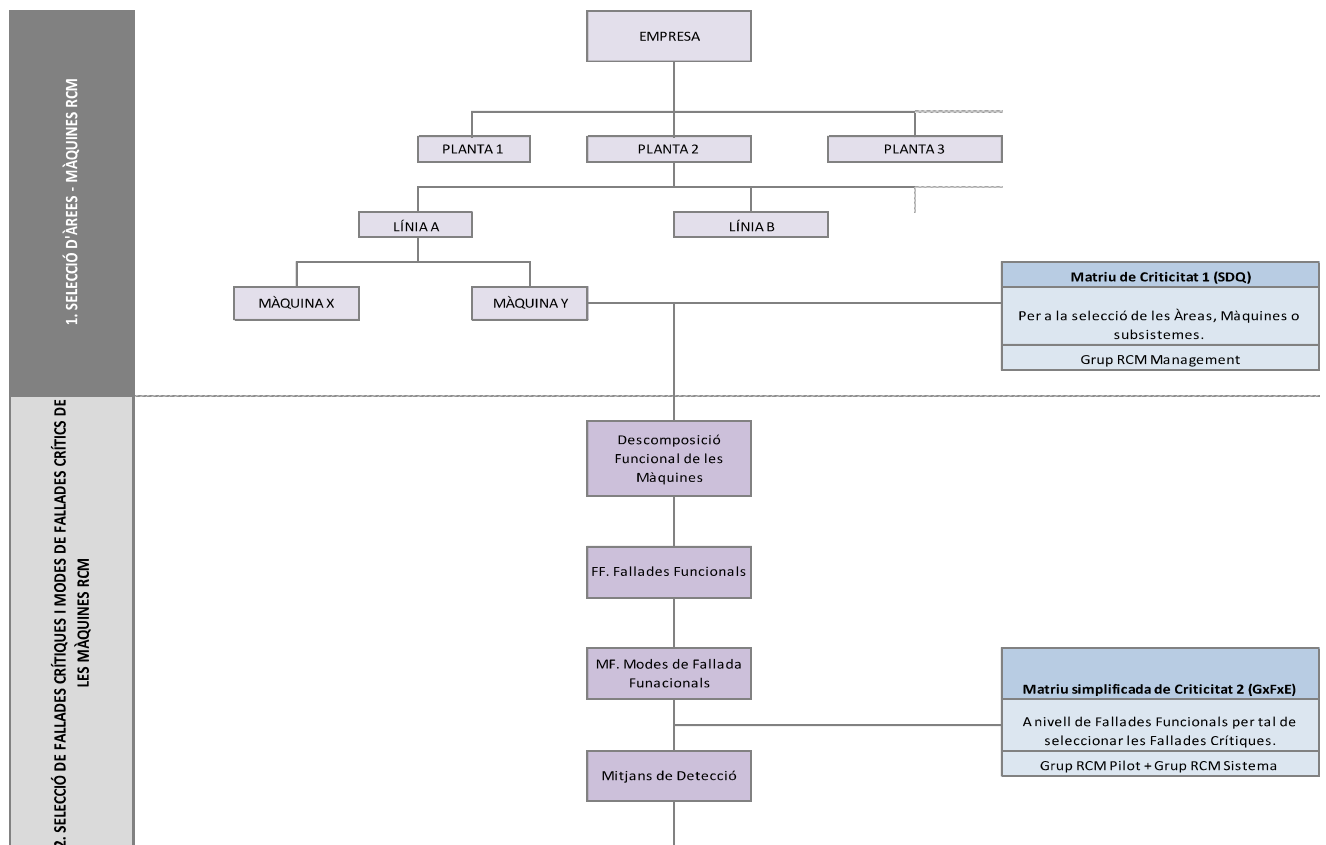
- Conèixer les funcions dels sistemes.
- Obtenir un bon coneixement de les seves fallades funcionals i tècniques.
- Definir un programa de Manteniment per a cada equip de forma eficient.
- Responsabilitzar al personal de producció i Manteniment.

Finalment el que es pretén amb aquest Programa de Manteniment de forma Planificada, és que s'aconsegueixin importants beneficis següents:

- Augmentarà la Seguretat de les persones (S)
- Millorarà el funcionament de les màquines (D-F).
- Allargarà la vida dels equips (F)
- Millorarà la qualitat de la fabricació (Q)
- Reduirà els costos del Manteniment (M)
- Augmentarà el nivell de detecció de les fallades (D)
- 

### 3.5 DIAGRAMA D'ETAPES DEL RCM INDUSTRIAL.

Aquest capítol té com a objectiu resumir en un diagrama, el conjunt d'etapes seqüencials de la metodologia RCM amb l'aportació de les matrius proposades en els capítols anteriors, per tal de generar un esquema pràctic i visual alhora d'aplicar aquesta tècnica (figura 7).



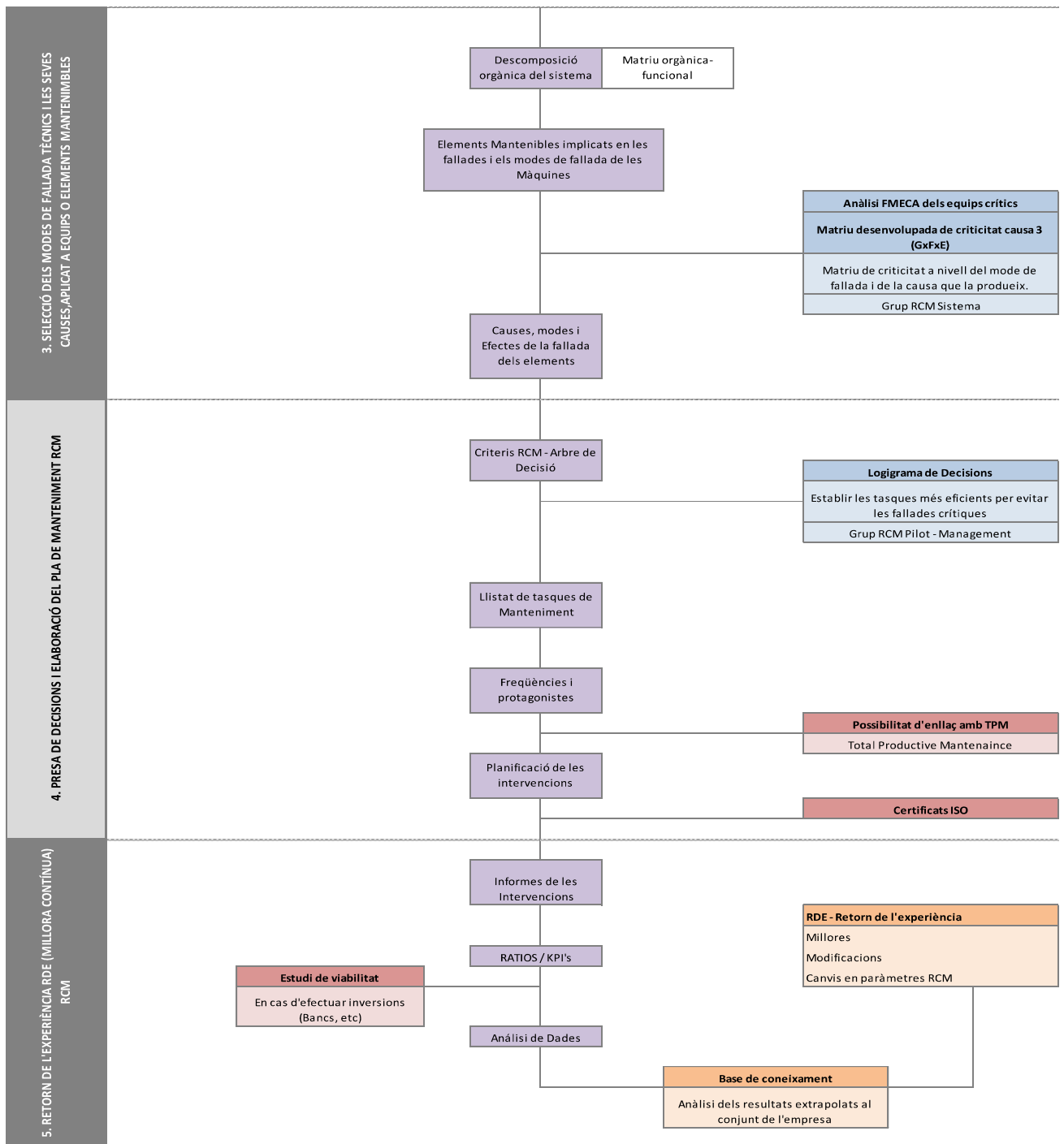


Figura 7. Diagrama d'Etapes del RCM Industrial

### 3.6 DIAGRAMA CASUAL DE FALLADA FUNCIONAL DEL SISTEMA.

Per altra banda també s'inclou un diagrama causal que pot ésser útil alhora de determinar les causes que produeixen una fallada funcional o tècnica d'un sistema (figura 8).



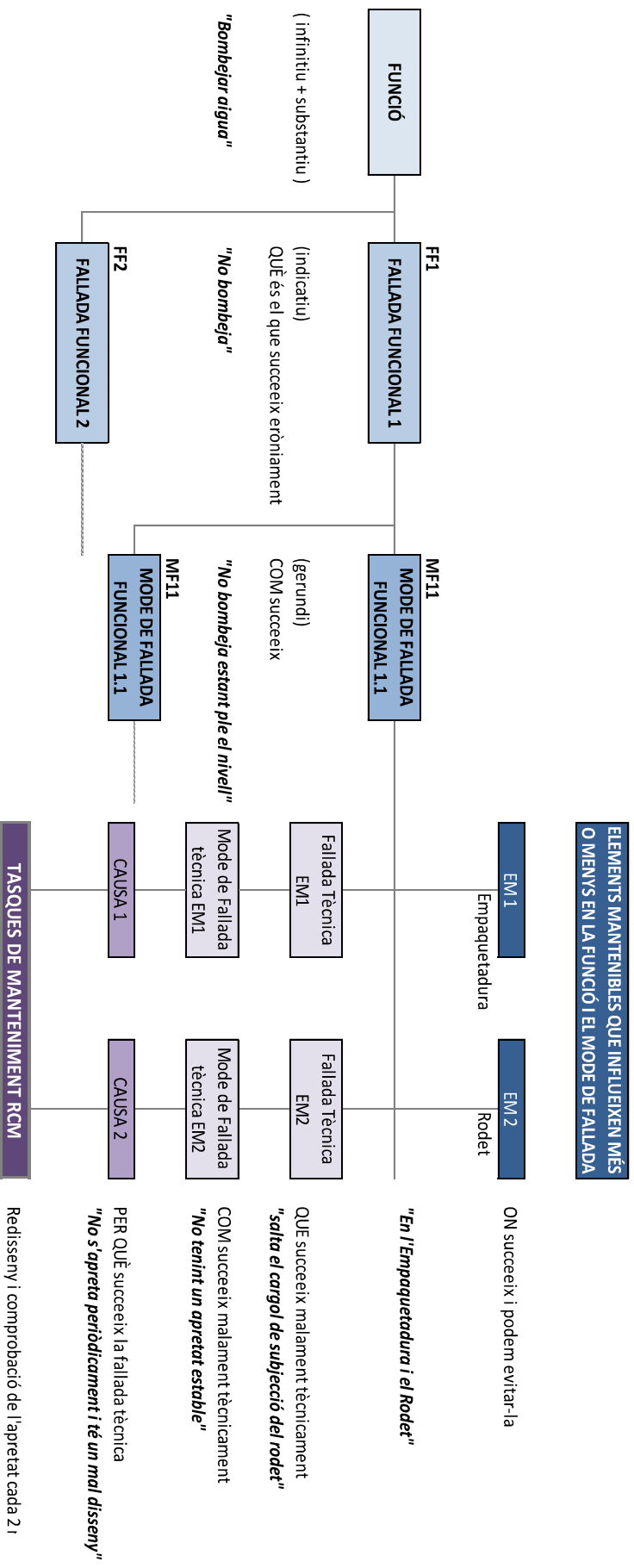
**DIAGRAMA CAUSAL DE FALLADA FUNCIONAL DEL SISTEMA**

Figura 8. Diagrama Causal de Fallada funcional d'un sistema

## 4. CAS PRÀCTIC: APLICACIÓ DEL MÈTODE RCM EN UNA LÍNIA DE GALVANITZAT (D'UNA INDÚSTRIA METAL·LÚRGICA)

Un cop exposats els principis i les fases de la metodologia RCM, el present projecte pretén també completar aquests continguts amb un cas pràctic aplicat a la Indústria real. Es tracta de la implantació del RCM en una Línia de Galvanitzat dins d'una planta de fundació d'acer que va tenir lloc durant l'últim trimestre del període 2013.

Aquest estudi consisteix en efectuar una prova pilot per a posteriorment poder analitzar la conveniència d'aplicar aquesta tècnica a la resta de línies de producció de la companyia en funció dels resultats obtinguts.

Es va designar un únic grup de treball (que aglutinava el Grup Management i el Pilot) de tres persones, una de les quals assessorava en la forma d'implantació de la tècnica RCM. Les altres dues eren el Cap de Manteniment de la secció i un responsable de Qualitat de la companyia. A més es varen efectuar una sèrie de sessions de treball en les quals hi participava el Grup Sistema prèviament seleccionat compost per dos operaris de producció de línia i dos operaris de manteniment un d'especialitat mecànica i l'altre elèctrica-instrumentació.

L'estudi es va poder portar a terme en aproximadament uns dos mesos, però degut a la manca de continuïtat durant unes setmanes hagués sigut possible d'executar-lo en un sol mes.

L'autor del present treball, que va participar com a empresa externa assessora de la metodologia, vol destacar que degut a l'elevat contingut de dades i l'accés limitat a les mateixes degut a la seva confidencialitat, no s'ha pogut aportar la totalitat de la informació del Projecte real en el present treball. Per altra banda tampoc s'ha pogut participar de forma global en tot el procés d'estudi pel qual poden aparèixer decisions per part dels grups de treball diferents de les que l'autor hagués portat a terme.

De totes maneres i amb la informació que s'aporta en aquest treball, es poden copsar de manera notable aquells aspectes significatius d'implantació d'aquesta metodologia, els passos i l'ordre a seguir, així com l'anàlisi i la interpretació de les dades per tal d'obtenir les millores en els resultats. Iniciem doncs aquest cas pràctic.



## 4.2 DESCOMPOSICIÓ I SELECTIVITAT DELS SISTEMES DE L'ESTUDI

Un cop elaborat el pla dels treballs, s'inicia amb la implantació RCM i el Grup Management i Pilot descompon l'àrea d'estudi i detalla els sistemes que la integren. Aquests són els que figuren a la taula següent (Taula 15):

Codi	Descripció
A	Sistema de Calefacció
B	Sistema d'Aspiració (vapors cròmics)
C	Sistema d'Aspiració (resta de vapors)
D	Sistema de ventilació general del Taller
E	Depuradora
F	Línia de Galvanitzat
G	Columnes d'Aigua destil·lada
H	Equips de Filtració dels Banys de Níquel
I	Cubes de Recuperació
J	Quadres Elèctrics

Taula 15. Descomposició dels Sistemes

Posteriorment aquests sistemes són analitzats a partir de la matriu de criticitat SDQ (figura 8) per tal d'efectuar una primera selecció inicial de la criticitat de sistemes (valorant els tres criteris proposats en el capítol 3.1), essent el resultat el següent:

		SEGURETAT (S)	QUALITAT (Q)			
			CRÍTICA	IMPORTANT	TOLERABLE	
			<b>10 - B,C,E</b>	Inacceptable (1)	A controlar (0)	Despreçiable (-1)
DISPONIBILITAT (D)	CRÍTICA	Inacceptable (1)	<b>9 -F</b>	<b>8</b>	<b>6 -A</b>	
	IMPORTANT	A controlar (0)	<b>7-J</b>	<b>5 -G,H</b>	<b>3</b>	
	TOLERABLE	Despreçiable (-1)	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1-D,I</b>	

Figura 8. Matriu de criticitat SDQ

*En aquest procés prima la Qualitat per davant de la Disponibilitat pel que la matriu proposada té en compte aquest factor.*

Aquest anàlisi es porta a terme a partir de la influència coneguda que han tingut cada sistema en l'històric de funcionament de la línia, els problemes coneguts, i les repercussions econòmiques actuals. A partir de l'anàlisi anterior, el Grup de treball GMP observa la poca rellevància que tenen en l'aplicació de RCM els Sistemes D-Sistema de ventilació i I-Cubes de recuperació per la poca repercussió que tenen les seves fallades en el procés, per la qual cosa es deixaran de banda inicialment i l'anàlisi pilot es centrarà primerament en els altres sistemes.

### 4.3 ANÀLISI FUNCIONAL DELS SISTEMES.

El Grup GMP prossegueix en l'estudi i inicia l'anàlisi funcional del sistema. Nombra F1 a la funció principal que realitza un sistema i F2...FN les funcions secundàries del mateix. Aplicant aquest criteri arriba finalment a detallar el conjunt de funcions de cada sistema analitzat (Taula 16).

F1	Funció Primària
F2-F3-F4-F5-F6	Funció Secundàries

#### A- SISTEMA DE CALEFACCIÓ (Criticitat-6)

<b>F1</b>	<b>Escalfar l'aigua que posteriorment escalfarà els banys</b>
F2	Contenir aquesta aigua dins de la caldera i dins del circuit
F3	Aïllar Tèrmicament el fluid
F4	Intercanviar la temperatura amb les cubes
F5	Indicar la temperatura del fluid

#### B- SISTEMA D'ASPIRACIÓ (VAPROS CRÒMICS) (Criticitat-10)

<b>F1</b>	<b>Aspirar els vapors cròmics</b>
F2	Filtrar aquest vapors
F3	Contenir el residu de la filtració
F4	No contaminar l'ambient

#### C- SISTEMA DE D'ASPIRACIÓ (RESTA DE VAPORS) (Criticitat-10)

<b>F1</b>	<b>Aspirar la resta de vapors</b>
F2	Impedir que els vapors passin al Taller

#### E- DEPURADORA (Criticitat-10)

<b>F1</b>	<b>Tractar els líquid residuals</b>
F2	Diluir els àcids
F3	Contenir els àcids sense tractar
F4	Contenir els àcids tractats
F5	No contaminar el medi ambient

#### F- LÍNIA DE GALVANITZAT (Criticitat-9)

<b>F1</b>	<b>Tractar superficialment les peces proporcionant l'acabat desitjat</b>
F2	Generar corrent continua de galvanitzat
F3	Transportar les peces
F4	Contenir àcids i alcalins actius
F5	Contenir el líquid del bany

#### G- COLUMNES D'AIGUA DESTIL·LADA (Criticitat-5)

<b>F1</b>	<b>Generar aigua destil·lada</b>
F2	Contenir aigua destil·lada
F3	Regenerar les columnes de resina aniònica
F4	Regenerar les columnes de resina catiònica

**H- EQUIPS DE FILTRACIÓ DELS BANYS DE NÍQUEL** (Criticitat-5)

<b>F1</b>	<b>Filtrar el fluid dels banys</b>
F2	Transportar el fluid del bany
F3	Contenir el fluid del bany

**J- QUADRES ELÈCTRICS** (Criticitat-7)

<b>F1</b>	<b>Mantenir/Suportar el control de l'automatització</b>
F2	Actuar com a Interface Home-Màquina pel seu control
F3	Transportar l'energia elèctrica als elements de camp
F4	Avisar de problemes a la línia i la depuradora
F5	Indicar els paràmetres de procés

Taula 16. Anàlisi funcional de cada subsistema

**4.4 ARQUITECTURA ORGÀNICA A NIVELL DE L'ELEMENT MANTENIBLE.**

En aquesta etapa es valoren i detallen els elements que són mantenibles (taula 17) dins de cada sistema. Els elements mantenibles són aquells que poden ser mantinguts i/o reparats, són els elements que a partir de mesures preventives es podran prevenir les seves fallades. Val a dir, per tal de no caure en confusions, que qualsevol sistema es troba compost d'una quantitat major d'elements, però tan sols cal que s'analitzin aquells els elements que l'acció de l'home permet mantenir, aquells en els quals es poden establir accions concretes de manteniment. A continuació es detallen els elements mantenibles més significatius de l'estudi (no tots els que varen aparèixer per no eternitzar de dades el present estudi) de forma que es simplifiquin les taules i es puguin transmetre millor els continguts.

<b>A</b>	<b>SISTEMA DE CALEFACCIÓ</b>	<b>6</b>
A1	Dos Motors-bomba amb bypass de la caldera	
A2	Vàlvules manuals	
A3	Dos Motors-bomba d'impulsió (redundants)	
A4	Calderes	
A5	Circuit i serpentins	
<b>B</b>	<b>SISTEMA D'ASPIRACIÓ (VAPORS CRÒMICS)</b>	<b>10</b>
B1	Motor-turbina extracció de vapors	
B2	Bomba netejadora de les malles	
<b>C</b>	<b>SISTEMA D'ASPIRACIÓ (RESTA DE VAPORS)</b>	<b>10</b>
C1	Motor-turbina d'aspiració	
C2	Corretges de transmissió	
C3	Rodaments	
<b>E</b>	<b>DEPURADORA</b>	<b>10</b>
E1	Bombes de Buidat	
E2	Motors-Agitadors	
<b>F</b>	<b>LÍNIA DE GALVANITZAT</b>	<b>9</b>
F1	Cunyes	
F2	Platines	
F3	Motor-Reductors	
F4	Cablejat de Camp	
F5	Cubes	
F6	Màquines de bufat i Assecadores	
<b>G</b>	<b>COLUMNES D'AIGUA DESTILADA</b>	<b>5</b>
G1	Motor-Bomba	

H	EQUIPS DE FILTRACIÓ DELS BANYS DE NIQUEL	5
H1	Motor-Bomba magnètica	
J	QUADRES ELÈCTRICS	7
J1	Software	
J2	Ordinadors	
J3	Bateries PLC's	
J4	Relés Interface	
J5	Bornes de potència	
J6	Equip Refrigerador	



Taula 17. Descomposició dels sistemes en els elements mantenibles

Una altra decisió que pren el Grup GMP és que per tal de no ser molt extens en l'estudi de l'anàlisi funcional no es detallarà la funcionalitat dels elements mantenibles. Només es pretén assolir la correlació entre aquests elements i la funcionalitat del sistema, per determinar la importància de cada element. En altres estudis, que detallen fins i tot els components de cada element mantenible i la seva funcionalitat, aquest fet s'utilitza per a poder determinar la importància de cada component amb la funcionalitat del sistema per evitar canvis sistemàtics de la totalitat de l'element en cas de fallada o per detectar quins són aquells components crítics dins dels elements. En el cas del projecte que ens ocupa però, i derivat de que la majoria d'elements mantenibles d'aquesta línia són estàndards de la companyia (existeixen un estoc de recanvis disponible i no tenen una complexitat tècnica de reposició ni de cost), no cal que s'arribi a un nivell de profunditat superior d'anàlisi funcional.

#### 4.5 MATRIU DE CORRELACIÓ ARQUITECTURA ORGÁNICA – FUNCIONAL.

Seguidament i amb la col·laboració del Grup Sistema s'inicien una sèrie de sessions de treball per a relacionar cada equip mantenible de cada sistema, amb la influència que aquest exerceix dins de la funcionalitat del seu propi subsistema. A partir d'aquestes matrius s'obindrà una ajuda important alhora de valorar si el fet de que es produeixi una fallada en un element aquest representarà una repercussió en major o menor mesura de la funcionalitat del sistema (Taula 18). Bàsicament doncs aquestes matrius seran d'ajuda de cara a l'anàlisi de les fallades i les seves causes. Recordar també que aquest fet no significa que aquests elements siguin directament crítics, en alguns casos ja estan establertes les mesures preventives de forma adequada per tal de que no es produeixi la seva fallada funcional.

Aquest aspecte és substancialment important d'entendre ja que l'estudi no parteix de zero i no cal determinar la totalitat d'intervencions de manteniment. Aquesta instal·lació es troba en un cert període de funcionament i no hi ha el risc de que succeeixin totes les fallades possibles que es determinin perquè algunes d'elles, fruit d'un correcte manteniment actual (per experiència acumulada o previstes inicialment pels fabricants), estan prèviament resoltes. Veurem a posteriori que aquestes fallades tindran una valor de criticitat menor.

	<b>Gran Influència</b>
	<b>Poca Influència</b>
-	<b>Cap Influència</b>

SUBSISTEMA						
A (6)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
A1		-	-	-	-	
A2	-		-	-	-	
A3		-	-	-	-	
A4				-	-	
A5	-				-	

SUBSISTEMA						
B (10)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
B1			-			
B2	-					

SUBSISTEMA						
C (10)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
C1						
C2						
C3						

SUBSISTEMA						
E (10)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
E1		-	-	-		
E2			-	-		

SUBSISTEMA						
F (9)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
F1			-	-	-	
F2			-	-	-	
F3	-	-		-	-	
F4		-		-	-	
F5		-	-			
F6		-	-	-	-	

SUBSISTEMA						
G (5)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
A1		-				



SUBSISTEMA						
H (5)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
H1	●	●	▲			

SUBSISTEMA						
J (7)	F1	F2	F3	F4	F5	F6
J1	●	●	-	●	●	
J2	●	●	-	-	-	
J3	●	-	-	-	-	
J4	-	-	▲	●	-	
J5	-	-	●	-	-	
J6	▲	▲	-	▲	▲	

Taula 18. Correlació Arquitectura Orgànica-Funcional

A partir d'aquestes matrius de correlació, per exemple, es pot observar que en el cas del sistema E-Depuradora tenen més influència les Bombes de buidat alhora de tractar els líquids residuals que no pas els motors-agitadors. Un altre exemple podria ser el cas del sistema F-Línia de Galvanitzat, on les Cunyes i les Platines, així com les Màquines de bufat i Assecadores són vitals pel correcte tractament superficial de les peces proporcionant l'acabat desitjat i en canvi els Motors-reductors tenen més influència alhora de transportar les peces, essent aquesta funció secundària i no principal.

#### 4.6 FALLADES FUNCIONALS I CRITERIS DE SELECTIVITAT.

Després d'haver establert les matrius de correlació el Grup GMP determina quins seran els criteris de criticitat i selectivitat per a les fallades. Posteriorment i conjuntament amb el Grup Sistema, ambdós detallen totes les possibles fallades per a cadascuna de les funcions dels sistemes seleccionats, utilitzant per una banda la plantilla d'anàlisi de Fallades Funcionals - FF (taula 20. pàgines 95-97) i per l'altre els registres d'històrics d'averies acumulat de la instal·lació. Amb aquest model de registre es poden plasmar totes aquelles avaries que són ja conegudes, però faltaria estimar totes aquelles altres fallades que no han succeït però que tenen la possibilitat de produir-se. Aquest procés no és gens senzill i requereix d'un temps important d'estudi i reflexió, representant un temps significatiu del pla de treball.

Un cop s'han detallat totes les fallades possibles, aquestes es ponderen a partir dels factors de criticitat que prèviament ha decidit el Grup GMP per tal de valorar la rellevància dels efectes de cadascuna de les avaries. La criticitat en aquest estudi es valora a partir de tres variables que donen a cada possible fallada tres puntuacions diferents segons el seu grau de rellevància. Un cop assolida la puntuació de cada factor es multipliquen conjuntament i s'hi afegeix el valor obtingut en la criticitat inicial de la matriu SDQ.

D'aquesta manera s'aconsegueix un valor definitiu que ajuda a classificar les fallades funcionals segons la seves repercussions.

En aquest estudi en concret es varen determinar uns factors o criteris lleugerament diferents dels exposats en el capítol 3.2, el qual com a proposta és més complet. També s'assignen uns valors específics per a cada factor diferents als d'aquest capítol, per tal de cercar una proporcionalitat adequada de la criticitat de cada efecte segons la tipologia de la instal·lació estudiada.

A partir de l'anàlisi de les avaries conegudes i de la repercussió real de les mateixes (emprant els costos reals de cadascuna d'elles i les pèrdues de producció registrades) també es varen simular i comparar els resultats de la matriu de selecció amb els efectes reals.

La primera decisió adoptada fou la de no tenir en compte individualment, de cara a la valoració de cada fallada, el factor de Seguretat-S ja que aquesta avaluació estava prèviament realitzada en la matriu SDQ per a les línies B,C i E (sistemes d'aspiració i depuradora) i aquest fet hagués distorsionat la puntuació final perquè s'hagués assignat doblement una repercussió a nivell de seguretat.

La segona decisió fou la d'optar per simplificar el factor de Gravetat i agrupar els conceptes de Disponibilitat/Producció i de Qualitat de forma conjunta, ja que ambdós aspectes prenién una rellevància combinada en el procés. Per una banda es tractava d'un procés continu on pràcticament totes les fallades funcionals dels equips derivaven finalment en una aturada de procés i tan sols calia estimar si aquesta representava un temps important de perjudici, i per l'altra quan aquesta aturada era superior a 1 hora sempre ocasionava una pèrdua de producte (o una mala qualitat del mateix) fet que agreujava el cost final de reposició. Per tant, es varen assignar uns valors proporcionals en funció de la repercussió de l'aturada i del rebuig de material de forma específica de l'1 fins el 8, però no de forma lineal, tenint present el perjudici de rebuig de material (veure taula 19).

També es va decidir no incloure el factor de la Mantenibilitat-M dins de la Gravetat ja que després d'analitzar els històrics d'avaries dels quals es disposava i de parlar amb els mantenidors, no es varen observar intervencions de manteniment que representessin un pes significatiu de cost sinó que era més rellevant l'aturada productiva o el rebuig de material. La instal·lació era relativament jove i no suposava problemes importants en relació als factors que afecten al temps de reparació (accessibilitat, manca de recanvis, falta de documentació, capacitat del personal de manteniment, etc.). Aquest factor estava perfectament valorat en el cas que es produís una fallada important i que aquesta provoqués una aturada llarga, pel que no calia paral·lelament abordar la mantenibilitat com un aspecte clau.

Per altra banda i en relació a la Freqüència es va decidir d'aplicar uns criteris genèrics en funció a la repetibilitat de les avaries conegudes de forma més simple, per tal de no haver de calcular la probabilitat de les fallades futures desconegudes. La instal·lació portava 2 anys de funcionament i encara no es disposava d'un registre històric prou extens per determinar correctament la repetibilitat d'algunes avaries, pel qual potser aquesta decisió no fou tot correcte, però sí senzilla d'aplicar. Finalment doncs es varen assignar uns valors de l'1 fins el 4 en funció d'una relació de freqüències més o menys estàndard.

En el cas de la Detectabilitat simplement es varen reajustar una mica els valors de puntuació perquè es volia dividir de forma clara aquelles avaries que eren detectables de les

que no. El motiu era que es volien destacar aquelles avaries no monitoritzades del procés per avaluar si era precís d'automatitzar la seva detecció. Finalment es van associar uns valors tampoc no lineals de l'1 fins al 4.

El resultat de tots aquests aspectes es pot observar a partir de la taula resum següent (taula 19).

G	GRAVETAT (Agrupa DISPONIBILITAT i QUALITAT)	Microparada (menor)	1,00
		Aturada de la producció (fins a 1 hores) sense pèrdues de producte	2,00
		Aturada de la producció (de 1 a 3 hores) i pèrdua de producte o qualitat	6,00
		Aturada greu del procés o àrea (més de 3 hores)	8,00
F	FREQUÈNCIA / FIABILITAT ( $\lambda$ = taxa de fallada)	1 Fallada Funcional >Anual.	1,00
		1 Fallada Funcional - Semestral-Anual.	2,00
		1 Fallada Funcional - Setmanal-Mensual.	3,00
		1 Fallada Funcional - Diària-Setmanal.	4,00
E	DETECTABILITAT	Existeix alarma Visual o Auditiva amb localització	1,00
		Existeix alarma Visual o Auditiva sense localització	1,50
		Detecció pel conductor/usuari	3,00
		No existeix	4,00

Taula 19. Factor i valors utilitzats en l'estudi

Valor màxim criticitat inicial =  $8 \times 4 \times 4 = 128$  punts

Finalment es van analitzar els valors conjuntament i es varen comparar amb algunes fallades que havien succeït així com es va qüestionar algunes de les puntuacions.

Mitjançant aquest criteri de selectivitat es pot deduir que té molta més importància, o dit d'una altra forma, es valora d'una forma molt més crítica aquella fallada que provoca una aturada important del procés amb el conseqüent rebuig de producte, que no pas aquella que té una freqüència quasi diària o és indetectable si no genera aquesta aturada. A mesura que la repetibilitat augmenta agreuja aquesta gravetat de la fallada i si la detecció no és monitoritzada o no existeix, també pondera l'efecte de forma més negativa.

Per altra banda en aquesta selectivitat la Detectabilitat pren el mateix pes que la Freqüència. Aquest fet rau en que el grup de treball té inicialment la concepció que en cas que es produeixi una aturada de procés i aquesta fallada no sigui detectable aquest fet agreuja el temps resolució de la reparació i per tant augmenta encara més la seva gravetat i el rebuig de producte. Però una vegada es detallen les fallades i els seus efectes s'observa que aquesta premissa no es compleix en aquesta mesura. Tot i que es valora modificar aquesta valoració finalment no es modifica. De totes maneres aquest fet permet, que durant l'anàlisi els assistents millorin l'aprenentatge de la seva instal·lació i provoca que per exemple es descartin algunes inversions de monitorització que no eren del tot necessàries proposades per manteniment.

**ANÀLISI DE LES FALLADES FUNCIONALS**

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	E	F	G	CRIT INICIAL	SDQ	CRIT FINAL
<b>A- SISTEMA DE CALEFACCIÓ – 6</b>									
F1	Escalfar l'aigua que posteriorment escalfarà els banys	AFF1.1	No escalfa res la caldera	3	1	8	24	6	144
		AFF1.2	No escalfa suficientment la caldera	3	1	6	18	6	108
		AFF1.3	Excés d'escalfor de la caldera	3	1	2	6	6	36
F2	Contenir aquesta aigua dins de la caldera i dins del circuit	AFF2.1	Fugues a la caldera	3	1	1	3	6	18
		AFF2.2	Fugues en el circuit	3	1	2	6	6	36
		AFF2.3	Fugues en els serpentins	3	1	6	18	6	108
F3	Aïllar tèrmicament el fluid	AFF3.1	Hi ha Pèrdues tèrmiques	4	1	1	4	6	24
		AFF4.1	No escalfen res les cubiliots	1,5	1	8	12	6	72
F4	Intercanviar la temperatura amb els cubiliots	AFF4.2	No escalfen suficientment les cubiliots	1,5	1	2	3	6	18
		AFF4.3	Excés d'escalfor de les cubiliots	1,5	1	2	3	6	18
		AFF5.1	No indica correctament la temperatura del fluid	1,5	1	1	1,5	6	9
<b>B- SISTEMA D'ASPIRACIÓ (VAPORS CRÒMICS) -10</b>									
F1	Aspirar els vapors cròmics	BFF1.1	No aspira res els vapors cròmics	1,5	1	8	12	10	120
		BFF1.2	No aspira suficientment els vapors cròmics	1,5	1	8	12	10	120
F2	Filtrar aquest vapors	BFF2.1	No filtra res els vapors cròmics	1,5	1	8	12	10	120
		BFF2.2	No filtra suficientment els vapors cròmics	1,5	1	8	12	10	120
F3	Contenir el residu de la filtració	BFF3.1	Fuga el residu de la filtració	3	1	8	24	10	240
		BFF4.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	3	1	8	24	10	240
F4	No contaminar l'ambient	BFF4.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	3	1	8	24	10	240
		BFF4.2	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	1,5	1	8	12	10	120
<b>C- SISTEMA DE D'ASPIRACIÓ (RESTA DE VAPORS) -10</b>									
F1	Aspirar la resta de vapors	CHF1.1	No aspira res la resta de vapors	3	1	8	24	10	240
		CHF1.2	No aspira suficientment la resta de vapors	3	1	8	24	10	240
F2	Impedir que els vapors passin al Taller	CHF2.1	Els vapors passen al taller en la seva totalitat	3	1	8	24	10	240
		CHF2.2	Els vapors passen al taller parcialment	3	1	8	24	10	240

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	E	F	G	CRIT INICIAL	SDQ	CRIT FINAL
<b>E- DEPURADORA – 10</b>									
F1	Tractar els líquid residuals	EFF1.1	No es tracten res els líquids	1	2	8	16	10	160
		EFF1.2	No es tracten adequadament els líquids	1	2	8	16	10	160
F2	Diluir els àcids	EFF2.1	No es dilueixen res els àcids	3	2	8	48	10	480
		EFF2.2	No es dilueixen adequadament els àcids	3	2	8	48	10	480
F3	Contenir els àcids	EFF3.1	Arrebossen els àcids sense tractar	3	2	8	48	10	480
		EFF3.2	Fugues al dipòsit d'àcids sense tractar	3	2	8	48	10	480
F4	Contenir els àcids tractats	EFF4.1	Arrebossen els àcids tractats	3	2	8	48	10	480
		EFF4.2	Fugues al dipòsit d'àcids tractats	3	2	8	48	10	480
F5	No contaminar el medi ambient	EFF5.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	3	2	8	48	10	480
		EFF5.2	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	3	2	8	48	10	480
<b>F- LÍNIA DE GALVANITZAT – 9</b>									
F1	Tractar superficialment les peces proporcionant l'acabat desitjat	FFF1.1	No tracta superficialment les peces per proporcionar l'acabat desitjat	1	3	8	24	9	216
		FFF1.2	Tracta malament superficialment les peces no proporcionant l'acabat desitjat	3	3	6	54	9	486
F2	Generar corrent continua de galvanitzat	FFF2.1	No genera res de corrent continua de galvanitzat	1	1	8	8	9	72
		FFF2.2	No genera suficient de corrent continua de galvanitzat	1	1	6	6	9	54
F3	Transportar les peces	FFF2.3	Genera excessiva corrent continua de galvanitzat	1	1	6	6	9	54
		FFF3.1	No transporta les peces	1	3	8	24	9	216
F4	Contenir àcids i alcalins actius	FFF3.2	No transporta al lloc adequat les peces	1	1	8	8	9	72
		FFF4.1	Arrebossen àcids i alcalins actius	1	1	2	2	9	18
F5	Contenir el líquid del bany	FFF4.2	Pèrdua d'àcids i alcalins actius	1	1	8	8	9	72
		FFF5.1	Arrebossa el líquid del bany	3	1	2	6	9	54
F5	Contenir el líquid del bany	FFF5.2	Pèrdua de líquid del bany	3	1	8	24	9	216
		<b>G-COLUMNES D'AIGUA DESTIL·LADA - 5</b>							
F1	Generar aigua destil·lada	GFF1.1	No genera res d'aigua destil·lada	1,5	1	2	3	5	15
		GFF1.2	Genera aigua destil·lada amb un excés d'impureses	1,5	1	2	3	5	15
F2	Contenir aigua destil·lada	GFF2.1	Pèrdues o fuga d'aigua destil·lada	3	1	2	6	5	30
		GFF3.1	No regenera res les columnes de resina aniónica	1,5	1	2	3	5	15
F3	Regenerar les columnes de resina aniónica	GFF3.2	No regenera totalment les columnes de resina aniónica	1,5	1	2	3	5	15
		GFF4.1	No regenera res les columnes de resina catiónica	1,5	1	2	3	5	15
F4	Regenerar les columnes de resina catiónica	GFF4.2	No regenera totalment les columnes de resina catiónica	1,5	1	2	3	5	15
		GFF5.2	No regenera totalment les columnes de resina catiónica	1,5	1	2	3	5	15

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	E	F	G	CRIT INICIAL	SDQ	CRIT FINAL
<b>H- EQUIPS DE FILTRACIÓ DELS BANYS DE NÍQUEL – 5</b>									
F1	Filtrar el fluid dels banys	HEF1.1	No filtra res el fluid dels banys	4	1	6	24	5	120
		HEF1.2	No filtra adequadament el fluid dels banys	4	1	6	24	5	120
F2	Transportar el fluid del bany	HEF2.1	No transporta el fluid del bany	4	1	6	24	5	120
F3	Contenir el fluid del bany	HEF3.1	Fuga el fluid dels banys	3	1	2	6	5	30
<b>J- QUADRES ELÈCTRICS – 7</b>									
F1	Mantenir/Suportar el control de l'automatització	JEF1.1	No funciona res de l'automatització	1	1	8	8	7	56
		JEF1.2	Funciona malament l'automatització	1,5	4	8	48	7	336
F2	Actuar com a Interfície Home-Màquina pel seu control	JEF2.1	No obeeixen totalment els controls	1,5	1	8	12	7	84
		JEF2.2	No obeeixen parcialment els controls	1	1	8	8	7	56
F3	Transportar l'energia elèctrica als elements de camp	JEF3.1	Falla l'aportació d'energia elèctrica als elements de camp	1	2	8	16	7	112
F4	Avisar de problemes a la línia i a la depuradora	JEF4.1	No avisa dels problemes de la línia i de la depuradora	4	1	8	32	7	224
		JEF5.1	No indica els paràmetres de procés	3	1	8	24	7	168
F5	Indicar els paràmetres de procés	JEF5.2	Indica erròniament els paràmetres de procés	4	1	8	32	7	224

Taula 20. Anàlisi de las Fallades Funcionals i Quantificació de la seva Criticitat

Una vegada detallades totes les Fallades Funcionals i valorats els seus efectes, s'elabora una classificació de la criticitat de les fallades (taula 21) per analitzar les que són més rellevants, de manera que es puguin conèixer els efectes en els quals s'hauran d'invertir més esforços de manteniment per evitar-los (tant durant l'estudi RCM com posteriorment a partir d'intervencions de manteniment més efectives i per tant més costoses).

Cal recordar altra vegada que algunes d'aquests fallades ja han succeït (surten a través de l'anàlisi dels històrics d'avaries de la instal·lació) i es coneixen els seus efectes (cost, recursos consumits, etc) en canvi d'altres són fruit d'estimar la seva ocurrència i el seu perjudici.

El resultat d'aquesta classificació és el següent:

FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL
FFF1.2	Tracta malament superficialment les peces no proporcionant l'acabat desitjat	486
EFF2.1	No es dilueixen res els àcids	480
EFF2.2	No es dilueixen adequadament els àcids	480
EFF3.1	Arrebossen els àcids sense tractar	480
EFF3.2	Fugues en el dipòsit d' àcids sense tractar	480
EFF4.1	Arrebossen els àcids tractats	480
EFF4.2	Fugues en el dipòsit d'àcids tractats	480
EFF5.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	480
EFF5.2	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	480
JFF1.2	Funciona malament l'automatització	336
BFF3.1	Fuga el residu de la filtració	240
BFF4.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	240
CFF1.1	No aspira res la resta de vapors	240
CFF1.2	No aspira suficientment la resta de vapors	240
CFF2.1	Els vapors passen al taller en la seva totalitat	240
CFF2.2	Els vapors passen al taller parcialment	240
JFF4.1	No avisa dels problemes de la línia i de la depuradora	224
JFF5.2	Indica erròniament els paràmetres de procés	224
FFF1.1	No tracta superficialment les peces per proporcionar l'acabat desitjat	216
FFF3.1	No transporta les peces	216
FFF3.1	No transporta les peces	216
FFF5.2	Pèrdua de líquid del bany	216
JFF5.1	No indica els paràmetres de procés	168
EFF1.1	No es tracten res els líquids	160
EFF1.2	No es tracten adequadament els líquids	160
AFF1.1	No escalfa res la caldera	144
BFF1.1	No aspira res els vapors cròmics	120
BFF1.2	No aspira suficientment els vapors cròmics	120
BFF2.1	No filtra res els vapors cròmics	120
BFF2.2	No filtra suficientment els vapors cròmics	120
BFF4.2	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	120

HFF1.1	No filtra res el fluid dels banys	120
HFF1.2	No filtra adequadament el fluid dels banys	120
HFF2.1	No transporta el fluid del bany	120
JFF3.1	Falla l'aportació d'energia elèctrica als elements de camp	112
AFF1.2	No escalfa suficientment la caldera	108
AFF2.3	Fugues en els serpentins	108
JFF2.1	No obeeixen totalment els controls	84
AFF4.1	No escalfen res les cubilots	72
FFF2.1	No genera res de corrent continua de galvanitzat	72
FFF3.2	No transporta al lloc adequat les peces	72
FFF4.2	Pèrdua d'àcids i alcalins actius	72
JFF1.1	No funciona res de l'automatització	56
JFF2.2	No obeeixen parcialment els controls	56
FFF2.2	No genera suficient de corrent continua de galvanitzat	54
FFF2.2	No genera suficient de corrent continua de galvanitzat	54
FFF2.3	Genera excessiva corrent continua de galvanitzat	54
FFF2.3	Genera excessiva corrent continua de galvanitzat	54
FFF5.1	Arrebossa el líquid del bany	54
AFF1.3	Excés d'escalfor de la caldera	36
AFF2.2	Fuga el circuit	36
GFF2.1	Pèrdues o fuga d'aigua destil·lada	30
HFF3.1	Fuga el fluid dels banys	30
AFF3.1	Hi ha Pèrdues tèrmiques	24
AFF2.1	Fuga la caldera	18
AFF4.2	No escalfen suficientment les cubilots	18
AFF4.3	Excés d'escalfor de les cubilots	18
FFF4.1	Arrebossen àcids i alcalins actius	18
GFF1.1	No genera res d'aigua destil·lada	15
GFF1.1	No genera res d'aigua destil·lada	15
GFF1.2	Genera aigua destil·lada amb un excés d'impureses	15
GFF3.1	No regenera res les columnes de resina aniònica	15
GFF3.2	No regenera totalment les columnes de resina aniònica	15
GFF4.1	No regenera res les columnes de resina catiònica	15
GFF4.2	No regenera totalment les columnes de resina catiònica	15
AFF5.1	No indica correctament la temperatura del fluid	9

Taula 21. Classificació de les Fallades Funcionals en funció de la criticitat

A partir de la classificació anterior el Grup GMP observa que la fallada més rellevant és a la línia de Galvanitzat, concretament quan derivat d'un mal tractament superficial les peces produïdes no compleixen amb la qualitat esperada. Aquesta fallada només pot ser detectada per a l'operari de producció, i tot i que no produeix una aturada de la producció molt significativa, és molt freqüent la seva ocurrència (succeeix entre dues i tres vegades al mes). Aquesta incidència/avaria coneguda (a través dels històrics de manteniment) produeix unes pèrdues molt significatives per a la companyia degut bàsicament a la seva gravetat i repetibilitat i quan s'analitzin en detall les causes s'observarà que no és una fallada derivada



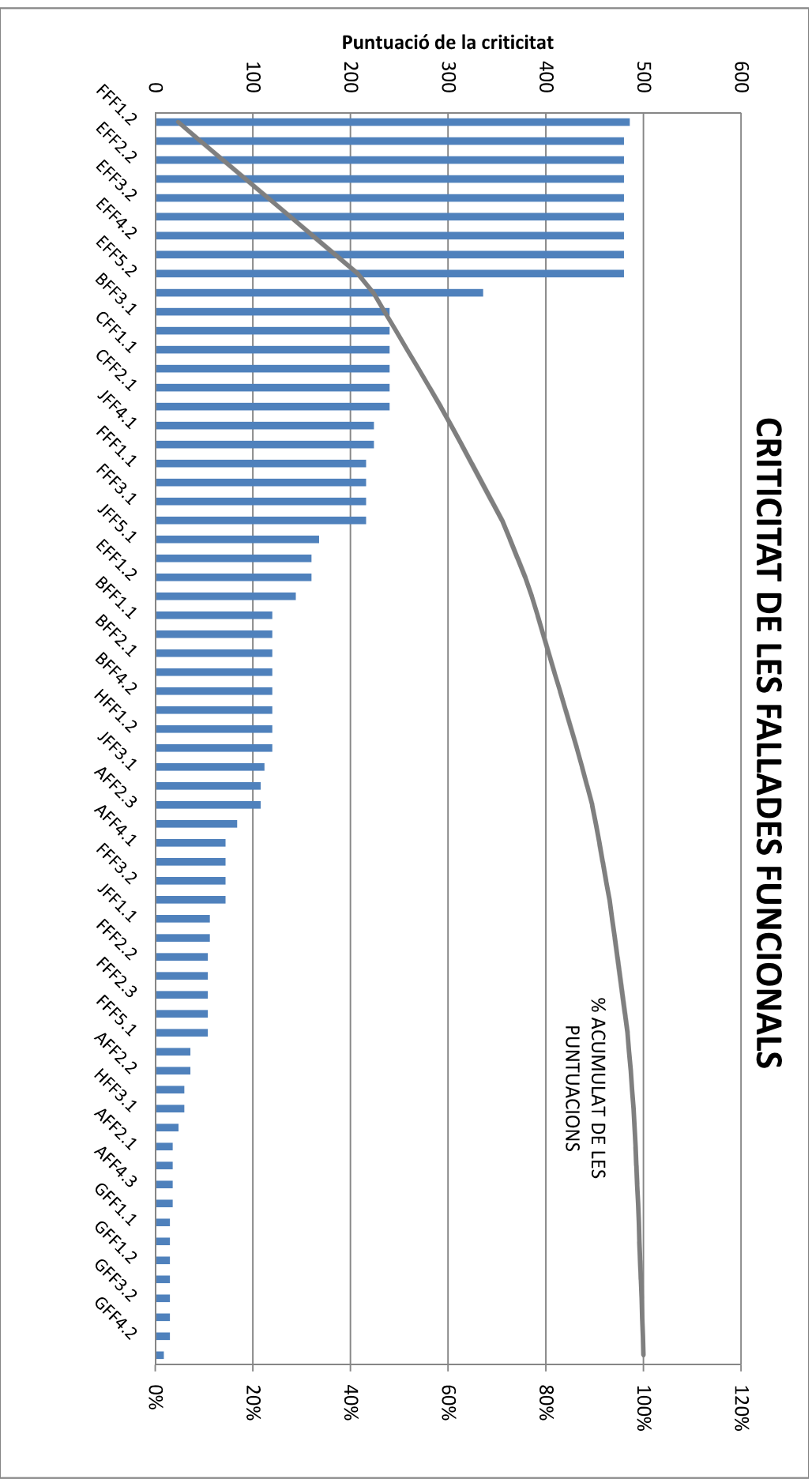
d'una manca de manteniment sinó d'una incidència en la qualitat dels àcids utilitzats en el procés.

Per altra banda, les avaries o fallades amb elevada criticitat posteriors a la de la línia galvànica tenen molt a veure amb la seguretat mediambiental del sistema, bàsicament derivada de la manca de funcionalitat de la depuració "E" alhora de diluir i contenir els àcids. Aquesta avaria no ha succeït durant els anys d'utilització de la instal·lació però no es pot passar per alt ja que en cas que es portés a terme es generarien uns perjudicis molt grans per a l'empresa, tant pel medi ambient com per les multes que les entitats reguladores reclamarien per vessaments.

També prenen molta rellevància les fallades en l'automatització o regulació de la instal·lació, les quals són conegudes i tenen una freqüència molt elevada en l'actualitat, generant unes pèrdues de procés importants.

En resum destacar que el grup de treball prossegueix i analitzar la totalitat de les fallades segons aquesta classificació perquè algunes es poden correlacionar amb costos i repercussions conegudes i es pot avaluar la fiabilitat dels criteris de selectivitat, és a dir, la fiabilitat de l'estudi. D'altres efectes són més estimats i no han succeït però també caldrà analitzar-los amb detall per tal d'evitar que es portin a terme ja que alguns tenen una criticitat alta.

Una bona manera de poder avaluar visualment les conseqüències de les fallades funcionals és utilitzar el diagrama de Pareto (Gràfica 1) a través d'una representació gràfica de les fallades i la seves puntuacions de criticitat. Mitjançant aquest procediment es pot copsar que una quantitat petita de les incidències representen la major part de les possibles repercussions del conjunt, sigui quina sigui la seva naturalesa. A través d'aquesta metodologia (aplicable en molts d'altres àmbits d'anàlisi) es pot correlacionar l'efecte econòmic que es coneix de les incidències o avaries registrades en l'històric d'avaries, amb els criteris de la criticitat estimats en l'estudi RCM i d'aquesta manera també es pot valorar la fiabilitat del mateix.



Gràfica 1. Diagrama de Pareto de les Fallades Funcionals del Sistema estudiant

#### 4.7 ANÀLISI DELS MODES DE FALLADA, LES SEVES CAUSES I LES TASQUES PREVENTIVES PROPOSADES.

A partir de la informació anterior els dos grups de treball també analitzen i detallen els modes de fallada de cada fallada funcional. Seguidament i un cop analitzades les causes (el segon nivell) es prenen les decisions oportunes per l'elecció de les tasques de manteniment més oportunes per evitar la criticitat, essent aquesta etapa el pas definitiu abans de dissenyar el nou Pla de Manteniment. Els modes de fallada i les causes establertes en aquest treball, així com les tasques de manteniment proposades per a cada causa són les que es detallen en la taula següent (taula 22).

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
<b>A- SISTEMA DE CALEFACCIÓ – 6</b>									
F1	Escalfar l'aigua que posteriorment escalfarà els banys	AFF1.1	No escalfa res la caldera	144	AMF1.1.1	No escalfa res la caldera estant la caldera parada	Cremador avariats	MP	Revisió periòdica subcontractada al proveïdor
		AFF1.2	No escalfa suficientment la caldera	108	AMF1.2.1	No escalfa suficientment la caldera estant la caldera en marxa	Mala combustió del cremador	MP	Revisió periòdica subcontractada al proveïdor
		AFF1.3	Excés d'escalfor de la caldera	36	AMF1.3.1	Excés d'escalfor de la caldera aparentant normalitat	Control de temperatura avariats	FR	Revisió periòdica subcontractada al proveïdor
F2	Contentar aquesta aigua dins de la caldera i dins del circuit	AFF2.1	Fuga la caldera	18	AMF2.1.1	Fuga la caldera però continua treballant	Fatiga tèrmica	FD	Revisió setmanal "on condition"
		AFF2.2	Fuga el circuit	36	AMF2.2.1	Fuga el circuit però es pot continuar treballant	Corrosió / desgast	FD	Revisió setmanal "on condition" de porositat
		AFF2.3	Fugues en els serpentins	108	AMF2.3.1	Mesclant-se el líquid del circuit amb els àcids de les cubilots	Corrosió	FD	Revisió setmanal "on condition" de porositat / Substitució d'elements sotmesos al desgast / Canvi del líquid circulants cada 3 mesos.
									Canvi periòdic dels elements sotmesos a corrosió / Canvi del líquid circulants cada 3 mesos.

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
F3	Aïllar Tèrmicament el fluid	AFF3.1	Hi ha Pèrdues tèrmiques	24	AMF3.1.1	Hi ha Pèrdues tèrmiques, sense causar problemes tan sols la pèrdua de rendiment energètic	Deteriorament dels aïllaments	FD	Revisió anual i reparació dels defectes.
F4	Intercanviar la temperatura amb les cubjots	AFF4.1	No escaiflen res les cubjots	72	AMF4.1.1	No escaiflen res les cubjots estant les bombes parades	Bombes d'impulsió avariades	UG	Practicar la redundància alternativa cada setmana abans d'arrancar les bombes
		AFF4.2	No escaiflen suficientment les cubjots	18	AMF4.2.1	No escaiflen suficientment les cubjots estant les bombes arrancades	Serpentins obstruïts o embussats	YA	Cada 6 mesos neteja interior dels serpentins
		AFF4.3	Excés d'escaifor de les cubjots	18	AMF4.3.1	Excés d'escaifor de les cubjots	Control de temperatura avariats	FR	Revisió periòdica subcontractada al proveïdor
F5	Indicar la temperatura del fluid	AFF5.1	No indica correctament la temperatura del fluid	9	AMF5.1.1	No indica la temperatura correctament, funcionant correctament la resta del subsistema	Avaria indicador de temperatura	FR	Manteniment correctiu
					AMF5.1.2	No indica la temperatura correctament, perdent el control de la temperatura	Sensor de temperatura avariats	FR	Compra de recanvis de Sensors de temperatura / Manteniment correctiu
<b>B- SISTEMA D'ASPIRACIÓ (VAPORS CRÒMICS) -10</b>									
F1	Aspirar els vapors cròmics	BFF1.1	No aspira res els vapors cròmics	120	BMF1.1.1	No aspira res els vapors cròmics estant la turbina parada	Fallada del motor	ML	Neteja i control de la ventilació i temperatura de treball. En cas d'observar vibracions, netejar la turbina
		BFF1.2	No aspira suficientment els vapors cròmics	120	BMF1.2.1	No aspira res els vapors cròmics estant la turbina en marxa	Indeterminada	DI	Petició d'informe al proveïdor / Creació d'un grup de treball específica / Revisió general anual provisional i neteja tècnica
		BFF2.1	No filtra res els vapors cròmics	120	BMF2.1.1	No filtra res els vapors cròmics aparentant normalitat	Indeterminada	DI	Ídem que en el cas anterior
F2	Filtrar aquest vapors	BFF2.2	No filtra suficientment els vapors cròmics	120	BMF2.2.1	No filtra suficientment els vapors cròmics aparentant normalitat	Malla-Filtre obstruïda	ML	Neteja cada 15 dies de la malla-filtre

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada								
F3	Contenir el residu de la filtració	BFF3.1	Fuga el residu de la filtració	240	BMF3.1.1	Fuga el residu de la filtració estan el subsistema funcionant correctament	Indeterminada	DI	Revisió general anual								
F4	No contaminar l'ambient	BFF4.1	Possible risc de contaminar greument l'ambient	240	BMF4.1.1	Fallada punts anteriors	Fallada punts anteriors		Creació de grup de treball HAZOP / Aplicar tasques punts anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia								
		BFF4.2	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	120	BMF4.2.1	Fallada punts anteriors	Fallada punts anteriors		Creació de grup de treball HAZOP / Aplicar tasques punts anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia								
<b>C- SISTEMA DE D'ASPIRACIÓ (RESTA DE VAPORS) -10</b>																	
F1	Aspirar la resta de vapors	CFF1.1	No aspira res la resta de vapors	240	CMF1.1.1	No aspira res de la resta de vapors, estant el motor de la turbina en marxa	Ruptura de les corretges	MP	Revisió quinzenal de l'estat de les corretges i substitució en funció de l'estat								
					CMF1.1.2	No aspira res de la resta de vapors, estant el motor de la turbina parat	Fallada del motor	ML	Neteja i control de la ventilació i temperatura de treball. En cas d'observar vibracions, netejar la turbina / Control de la temperatura cada 15 dies dels rodaments estant en marxa i substitució en cas d'observar anomalies / Control setmanal del funcionament de l'extracció dels vapors del recinte								
F2	Impedir que els vapors passin al Taller	CFF2.2	Els vapors passen al taller parcialment	240	CMF2.2.1	Els vapors passen parcialment al taller aparentant normalitat de funcionament	Fallada punts anteriors		Aplicar tasques anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia								
										CFF1.2	No aspira suficientment la resta de vapors	240	CMF1.2.1	No aspira suficientment els vapors, aparentant normalitat de funcionament	Indeterminada	DI	Revisió general anual i neteja tècnica
										CFF2.1	Els vapors passen al taller en la seva totalitat	240	CMF2.1.1	Els vapors passen al taller aparentant normalitat de funcionament	Fallada punts anteriors		Aplicar tasques anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
<b>E-DEPURADORA - 10</b>									
<b>F1</b>	Tractar els líquid residuals	<b>EFF1.1</b>	No es tracten res els líquids	<b>160</b>	<b>EMF1.1.1</b>	No es tracten res els líquids, aparentant normalitat	Fallada dels agitadors	MP	Neteja dels motors / Molt important l'anàlisi de vibracions donat que l'eix de l'agitador és molt llarg.
		<b>EFF1.2</b>	No es tracten adequadament els líquids	<b>160</b>	<b>EMF1.2.1</b>	No es tracten adequadament els líquids, aparentant normalitat	Fallada dels agitadors	MP	Neteja dels motors / Molt important l'anàlisi de vibracions donat que l'eix de l'agitador és molt llarg.
<b>F2</b>	Diluir els àcids	<b>EFF2.1</b>	No es dilueixen res els àcids	<b>480</b>	<b>EMF2.1.1</b>	No es dilueixen res els àcids, aparentant normalitat	Fallada dels agitadors	MP	Neteja dels motors / Molt important l'anàlisi de vibracions donat que l'eix de l'agitador és molt llarg.
		<b>EFF2.2</b>	No es dilueixen adequadament els àcids	<b>480</b>	<b>EMF2.2.1</b>	No es dilueixen adequadament els àcids, aparentant normalitat	Fallada dels agitadors	MP	Neteja dels motors / Molt important el control de vibracions donat que l'eix de l'agitador és molt llarg
<b>F3</b>	Contenir els àcids	<b>EFF3.1</b>	Arrebossen els àcids sense tractar	<b>480</b>	<b>EMF3.1.1</b>	Arrebossen els àcids sense tractar sense respondre el control automàtic ni manual	Bomba de buidat no respon	UG	Comprovació setmanal de les dues bombes redundants
		<b>EFF3.2</b>	Fugues en el dipòsit d'àcids sense tractar	<b>480</b>	<b>EMF3.2.1</b>	Fugues d'àcids sense tractar estant la depuradora produint	Conduccions en mal estat	MP	Revisió mensual de l'estat de les conduccions en producció, per detectar les fugues a camp.
<b>F4</b>	Contenir els àcids tractats	<b>EFF4.1</b>	Arrebossen els àcids tractats	<b>480</b>	<b>EMF4.1.1</b>	Arrebossen els àcids tractats i no respon el control automàtic ni manual	Bomba de buit no respon	UG	Comprovació setmanal de les dues bombes redundants
		<b>EFF4.2</b>	Fuguen els àcids tractats	<b>480</b>	<b>EMF4.2.1</b>	Arrebossen els àcids tractats estant produint la depuradora	Conduccions en mal estat	MP	Revisió mensual de l'estat de les conduccions en producció, per detectar les fugues a camp.
<b>F5</b>	No contaminar el medi ambient	<b>EFF5.1</b>	Possible risc de contaminar greument l'ambient	<b>480</b>	<b>EMF5.1.1</b>	Fallada punts anteriors	Fallada punts anteriors		Creació de grup de treball HAZOP / Aplicar tasques punts anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia
		<b>EFF5.2</b>	Possible risc de contaminar lleument l'ambient	<b>480</b>	<b>EMF5.2.1</b>	Fallada punts anteriors	Fallada punts anteriors		Creació de grup de treball HAZOP / Aplicar tasques punts anteriors i reavaluar anualment l'eficàcia

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
<b>F- LÍNIA DE GALVANITZAT - 9</b>									
<b>F1</b>	Tractar superficialment les peces proporcionant l'acabat desitjat	<b>FFF1.1</b>	No tracta superficialment les peces per proporcionar l'acabat desitjat	<b>216</b>	<b>FMF1.1.1</b>	No tracta superficialment les peces per proporcionar l'acabat desitjat sense haver-se iniciat la maniobra	Sensors de camp o cablejats de camp avariats / Mala resposta del circuit pneumàtic	FR	Revisió setmanal dels sensors de camp, cablejat i neteja de les fotocèl·lules / Reomplir quinzenalment d'oli les dues unitats de manteniment i comprovar que la purga d'aigua funciona
		<b>FFF2.1</b>	No genera res de corrent continua de galvanitzat	<b>72</b>	<b>FMF2.1.1</b>	No genera res de corrent continua de galvanitzat parant-se la màquina i senyalitzant alarma	Rectificadors avariats	FR	Manteniment correctiu i neteja anual interna de l'etapa de potència dels rectificadors.
		<b>FFF2.2</b>	No genera suficient de corrent continua de galvanitzat	<b>54</b>	<b>FMF2.2.1</b>	No genera suficient de corrent continua de galvanitzat, amb la regulació de consigna adequada.	Mal contacte de les cunyes / Electrònica analògica de control avariada	FR	Manteniment correctiu / Manteniment Condicional controlant la temperatura de treball de les cunyes i revisió periòdica visual del seu estat físic
<b>F2</b>	Generar corrent continua de galvanitzat	<b>FFF2.3</b>	Genera excessiva corrent continua de galvanitzat	<b>54</b>	<b>FMF2.3.1</b>	Genera excessiva corrent continua de galvanitzat, amb la regulació de consigna adequada	Electrònica analògica de control avariada	FR	Manteniment correctiu. Avaluar recanvis

F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
F3	Transportar les peces	FFF3.1	No transporta les peces	216	FMF3.1.1	No transporta les peces, dispartant-se les proteccions magneto tèrmiques	Moto reductors dels carros en mal estat	MI	Manteniment on condicion controlant les temperatures de treball dels motors i dels reductors / Redisseny dels sensors de temperatura dels motors
		FFF3.2	No transporta al lloc adequat les peces		FMF3.2.1	No transporta al lloc adequat les peces, causant caos a la maniobra	Mal disseny del programa	MG	Assaig en buit dels nous programes en cada modificació
F4	Contenir àcids i alcalins actius	FFF4.1	Arrebossa àcids i alcalins actius	18	FMF4.1.1	Arrebossa àcids i alcalins actius sense aturar el procés	Fallada del sensor de nivell	FR	Manteniment correctiu / Verificar i calibrar recanvis / Estudiar instal·lar redundància en la lectura
		FFF4.2	Pèrdua d'àcids i alcalins actius		FMF4.2.1	Pèrdua d'àcids i alcalins actius sense aturar el procés	Fissures en els cubiliots	MP	Revisió visual periòdica
F5	Contenir el líquid del bany	FFF5.1	Arrebossa el líquid del bany	54	FMF5.1.1	Arrebossa el líquid del bany sense aturar el procés	Fallada del sensor de nivell	FR	Manteniment correctiu / Verificar i calibrar recanvis / Estudiar instal·lar redundància en la lectura
		FFF5.2	Pèrdua de líquid del bany		FMF5.2.1	Pèrdua de líquid del bany aturant-se el procés	Fissures en els cubiliots	MP	Revisió visual periòdica
<b>G-COLUMNES D'AIGUA DESTIL·LADA - 5</b>									
F1	Generar aigua destil·lada	GFF1.1	No genera res d'aigua destil·lada	15	GMF1.1.1	No genera res d'aigua destil·lada amb la bomba en funcionament	Bomba deteriorada per un defecte d'equilibrat	FE	Manteniment correctiu / Estudi de redundància o un conjunt estàndard preparat de recanvi
					GMF1.1.2	No genera res d'aigua destil·lada amb la bomba parada	Motor de la bomba avariada	MP	Manteniment correctiu / Estudi de redundància o un conjunt estàndard preparat de recanvi / Manteniment preventiu de neteja semestral del motor bomba i comprovació de la ventilació del motor
		GFF1.2	Genera aigua destil·lada amb un excés d'impureses	15	GMF1.2.1	Genera aigua destil·lada amb un excés d'impureses	Regeneració de les resines defectuosa	DI	Comunicar possible fallada al dept. Procés per determinar les pautes de treball.



F	Funció	FF	FF - Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
F2	Contenir aigua destil·lada	GFF2.1	Pèrdues o fuga d'aigua destil·lada	30	GMF2.1.1	Pèrdues o fuga d'aigua destil·lada	Indeterminada	DI	Manteniment correctiu provisional i en cas que es produïxi l'avaria reavaluar
F3	Regenerar les columnes de resina aniónica	GFF3.1	No regenera res les columnes de resina aniónica	15	GMF3.1.1	No regenera res les columnes de resina aniónica, amb el motor-bomba en perfecte estat	Falta de pressió d'aigua a la xarxa	EG	Les tasques pertanyen a un equip extern d'aquesta línia
		GFF3.2	No regenera totalment les columnes de resina aniónica	15	GMF3.2.1	No regenera totalment les columnes de resina aniónica, amb el motor-bomba en perfecte estat	Falta de pressió d'aigua a la xarxa	EG	Les tasques pertanyen a un equip extern d'aquesta línia
F4	Regenerar les columnes de resina catiónica	GFF4.1	No regenera res les columnes de resina catiónica	15	GMF4.1.1	No regenera res les columnes de resina catiónica	Falta de pressió d'aigua a la xarxa	EG	Les tasques pertanyen a un equip extern d'aquesta línia
		GFF4.2	No regenera totalment les columnes de resina catiónica	15	GMF4.2.1	No regenera totalment les columnes de resina catiónica	Falta de pressió d'aigua a la xarxa	EG	Les tasques pertanyen a un equip extern d'aquesta línia
<b>H- EQUIPS DE FILTRACIÓ DELS BANYS DE NIQUEL - 5</b>									
F1	Filtrar el fluid dels banys	HFF1.1	No filtra res el fluid dels banys	120	HMF1.1.1	No filtra res el fluid dels banys amb el motor bomba en marxa	Bomba avariada / Redundància avariada	MP	Manteniment preventiu (ja que existeix un motor bomba redundat)
		HFF1.2	No filtra adequadament el fluid dels banys	120	HMF1.2.1	No filtra adequadament el fluid dels banys amb el motor bomba en marxa	Filtre de carbó brut	UG	Substitució periòdica del paper de filtre de carbó
F2	Transportar el fluid del bany	HFF2.1	No transporta el fluid del bany	120	HMF2.1.1	No transporta el fluid del bany amb el motor-bomba parada	Motor avariat	MP	Manteniment preventiu (ja que existeix un motor bomba magnètica redundat)
F3	Contenir el fluid del bany	HFF3.1	Fuga el fluid dels banys	30	HMF3.1.1	Fuga el fluid dels banys funcionant aparentment amb normalitat	Deteriorament de les conduccions	MP	Revisió semestral de les conduccions

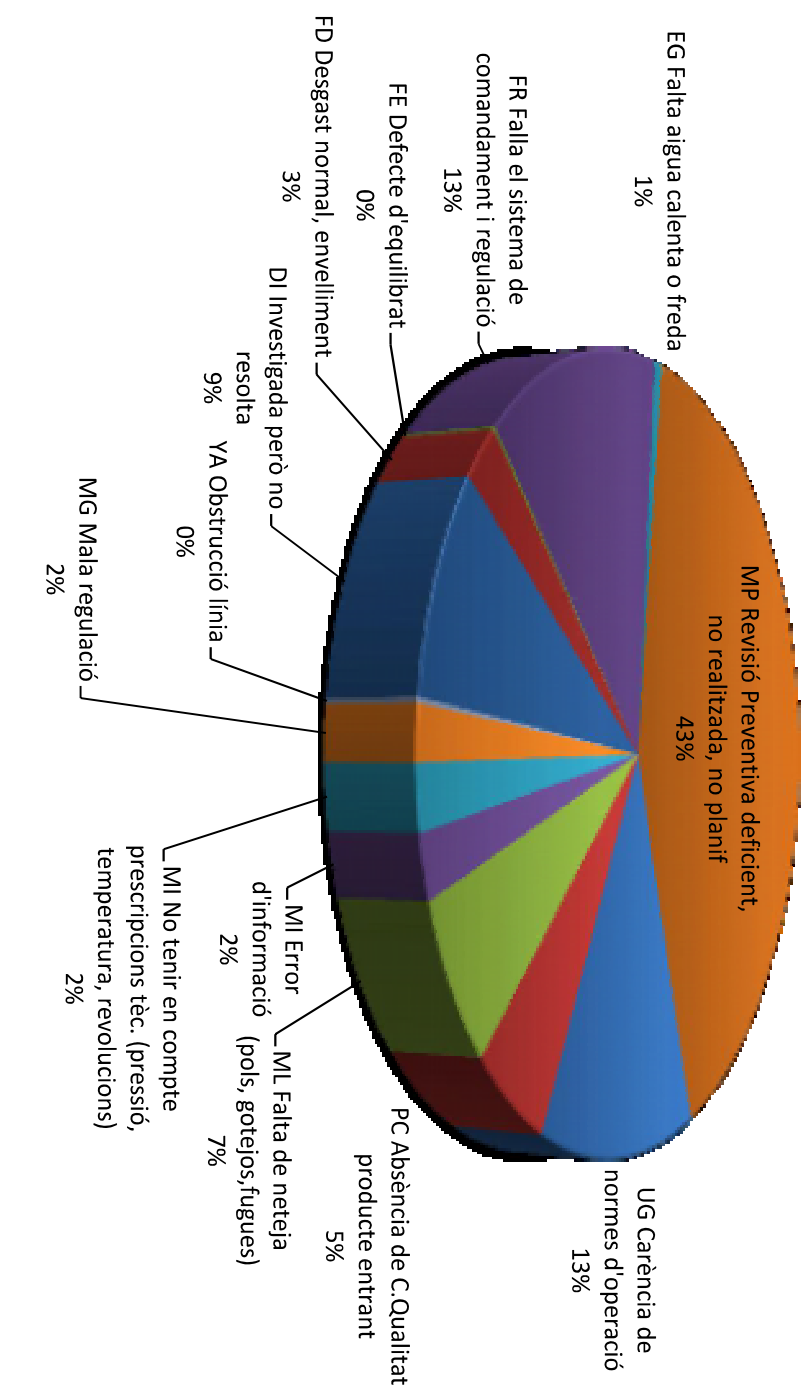
F	Funció	FF	FF- Fallada funcional	CRIT FINAL	MF	Mode de FF	Causa 1 FF	Codi CFF	Tasca de Manteniment proposada
<b>J- QUADRES ELÈCTRICS - 7</b>									
F1	Mantenir/Supportar el control de l'automatització	JFF1.1	No funcioneres de l'automatització	56	JFM1.1.1	No funciona res de l'automatització estant en marxa el procés	Programa inexistent en els PLC's	MIG	Canvi periòdic de les bateries dels PLC's
		JFF1.2	Funciona malament l'automatització	336	JFM1.2.1	Funciona malament l'automatització i el procés s'atura	Relés d'interface deteriorats	MP	Substitució periòdica segons inspecció visual anual
F2	Actuar com a Interface Home-Màquina pel seu control	JFF2.1	No obeeixen totalment els controls	84	JFM2.1.1	No obeeixen totalment els controls, estant tot sota tensió	PLCs o PC's bloquejats per excedir la temperatura en l'interior del quadre	MP	Substitució dels filtres de l'aire acondicionat del quadre i mesura de la temperatura interior regularment
		JFF2.2	No obeeixen parcialment els controls	56	JFM2.2.1	No obeeixen parcialment els controls	Relés d'interface deteriorats	MP	Substitució periòdica segons inspecció visual anual
F3	Transportar l'energia elèctrica als elements de camp	JFF3.1	Falla l'aportació d'energia elèctrica als elements de camp	112	JFM3.1.1	Falla l'aportació d'energia elèctrica als elements de camp	Mal contacte de les bornes de potència i contactors	MP	Revisió amb termografia anualment i reapretar les connexions defectuoses
F4	Avisar de problemes a la línia i la depuradora	JFF4.1	No avisa dels problemes de la línia i de la depuradora	224	JFM4.1.1	No avisa dels problemes de la línia i de la depuradora i s'atura el procés	Diagnòstic d'avaries/senyalització incomplet	FR	Ampliació de les alarmes en el diagnòstic automàtic
F5	Indicar els paràmetres de procés	JFF5.1	No indica els paràmetres de procés	168	JFM5.1.1	No indica els paràmetres de procés	Falla la comunicació PLC-PC	FR	Manteniment correctiu / Canvi sistemàtic cada 3 anys dels servidors
		JFF5.2	Indica erròniament els paràmetres de procés	224	JFM5.2.1	Indica erròniament els paràmetres de procés	Transmissors avariats	FR	Comprovació i canviatge periòdica anual (subcontratació per efectuar els controls de qualitat segons normativa)

Taula 22. Modes de Fallada, Causes que la provoquen i Mesura Preventiva implementada

Per completar l'estudi s'agrupen les causes principals proposades a partir del model de registre dels històrics d'avaries –Codi CFF-(pàgina 29) a partir de les seves puntuacions de criticitat per observar el seu comportament. Amb aquest mètode es poden observar quines són les causes de les fallades que provoquen els efectes més significatius o perjudicials al sistema i aquest anàlisi ajuda a prendre decisions importants com són l'elaboració de procediments específics per a operació o manteniment, formacions, canvis en l'organigrama, i el reforç en algunes pràctiques de manteniment (gràfica 2).

## CAUSES PRINCIPALS DE LES FALLADES DEL SISTEMA

### - ANÀLISI GRUPAL DELS VALORS DE CRITICITAT DE LES CAUSES-



Gràfica 2. Principals causes de les Fallades del sistema estudiat

## 4.8 ELABORACIÓ DEL PLA ANUAL DE MANTENIMENT

Finalment els grups d'estudi han elaborat un document on s'inclouen els Modes de Fallades, les seves Causes i les intervencions de manteniment per tal d'evitar-les. És hora de recopilar tota aquesta informació per acabar elaborant el nou Pla de manteniment (taula 23).

Primerament s'agrupen totes les tasques de Manteniment de la presa de decisions i s'assignen novament unes freqüències en les intervencions per tal d'optimitzar-ne els temps i els recursos. Per tant, d'aquest anàlisi se'n deriven també els recursos humans de manteniment, els materials i els costos econòmics definitius. També s'estableixen els agents concrets que executaran aquestes tasques, els equips de manteniment correctiu i preventiu, les empreses externes a subcontractar, les noves tasques i les funcions que a partir del nou període haurà de portar a terme el departament de producció, entre d'altres.

En paral·lel a l'elaboració del Pla d'aquest estudi en concret, es creen una sèrie de grups de treball nous d'anàlisi conjuntament amb altres departaments com el de producció, seguretat, compres, qualitat, alguns proveïdors específics i empreses assessores externes, per tal de resoldre i acotar algunes causes que el grup de treball específic de RCM no ha sigut capaç d'identificar. És el cas per exemple per tal de resoldre una incidència que es produeix en la qualitat dels àcids pel tractament superficial. Un altre exemple són els grups de treball de Seguretat que es creen i estudiaran les accions per evitar una fallada en el sistema de depuració.

Val a dir que és possible que en alguns d'aquest casos l'equip humà d'estudi RCM potser no és capaç d'identificar les causes i per tant tampoc les mesures preventives, però aquest fet no pot aturar l'estudi i es prossegueix amb l'anàlisi de les causes posteriors, deixant per a nous grups de treball més preparats l'anàlisi específic d'aquestes avaries desconegudes. Per altra banda en d'altres ocasions les fallades no són imputables al Manteniment, però caldrà evitar-les de la mateixa forma fent intervenir al departament responsable de la seva prevenció. De totes maneres és important destacar que gràcies a la metodologia RCM totes aquestes fallades han pogut ésser descobertes i posades a la llum i el resultat d'aquests nous anàlisis potser no estaran inclosos en el nou Pla de Manteniment, però sí en d'altres Plans de l'empresa (Qualitat, Producció, Compres, etc.).

A continuació s'exposa el Pla de Manteniment anual resultant de l'estudi RCM.

### PLA DE MANTENIMENT RESULTANT DE L'ESTUDI

Sistema	Intervenció	Responsable Execució	Periodicitat
Calefacció	Revisió General de les Calderes y Cremadors	Proveïdor	Anual
Calefacció	Revisió visual i reparació dels aïllaments tèrmics del circuit de calefacció	Dpt. Mecànic	Anual
Aspiració V.C+ RV	Neteja tècnica total dels dos sistemes d'aspiració de vapors	Contractista	Anual
Aspiració RV	Lubricació la totalitat dels rodaments del sistema d'aspiració de la resta de vapors	Empresa especialitzada	Anual
Calefacció	Neteja interior dels serpentins del sistema de calefacció	Contractista	Anual
S.Elèctrica	Substitució de les bateries dels PLC's	Dpt. Instrumentació- Electricitat	Anual
Aspiració VC	Neteja segons un procediment del motor-turbina del sistema d'aspiració de vapors cròmics	Producció	Semestral

Aspiració RC	Neteja segons procediment de treball del motor-turbina del sistema d'aspiració de la resta de vapors	Producció	Semestral
Depuradora	Neteja segons procediment de treball dels motors dels agitadors de la depuradora	Producció	Semestral
Depuradora	Reparació dels motors que presentin vibracions	Taller Mecànic	Semestral
Calefacció	Canvi del líquid circulant del sistema de calefacció	Dpt. Mecànic	Trimestral
Aspiració VC	Observar possibles vibracions (Anàlisi de Vibracions) del motor-turbina del sistema d'aspiració de vapors cròmics que ens indiquin que la turbina necessita un reforç de neteja interior	Dpt. Mecànic	Trimestral
Aspiració RC	Anàlisi de vibracions del motor-turbina del sistema d'aspiració de la resta de vapors	Dpt. Mecànic	Trimestral
S.Elèctrica	Substitució dels relés interfaces visiblement deteriorats	Dpt. Instrumentació- Electricitat	Trimestral
Galvanitzat	Lubricació general de la línia de galvanitzat	Dpt. Mecànic	Trimestral
Aspiració RC	Revisió mensual de l'estat de les corretges del sistema d'aspiració (resta de vapors)	Dpt. Mecànic	Mensual
Depuradora	Revisió en funcionament de possibles fugues en les conduccions de la instal·lació depuradora	Dpt. Mecànic	Mensual
Infraestructura	Revisió visual del cablejat de camp de la línia de galvanitzat i neteja de les fotocèl·lules	Dpt. Instrumentació- Electricitat	Mensual
Galvanitzat	Manteniment "on condition" controlant la temperatura de treball de les cunyes i el seu estat físic (a través de termografies)	Especialista – Termografia	Mensual
Galvanitzat	Manteniment "on condition" controlant la temperatura dels moto-reductors dels carros (de la línia de galvanitzat)	Especialista – Termografia	Mensual
S.Elèctrica	Revisió de temperatures de treball de les bornes de potència del quadre elèctric principal	Especialista – Termografia	Mensual
Aspiració V.C	Neteja de la malla-filtre	Contractista	Quinzenal
Aspiració VC+ RC	Control de temperatura de treball de la totalitat de motors dels sistemes d'aspiració	Dpt. Instrumentació- Electricitat	Quinzenal
Aspiració RV	Comprovació del funcionament de ventilació forçada del recinte dels sistemes d'extracció de vapors	Producció	Quinzenal
Depuradora	Comprovació del funcionament de les bombes de buit de la depuradora	Dpt.Mecànic	Quinzenal
Calefacció	Revisió visual del circuit de calefacció	Producció	Setmanal
Calefacció	Practicar l'alternativitat de les bombes d'impulsió	Producció	Setmanal
Galvanitzat	Revisió de les unitats de manteniment pneumàtic (reomplert de l'oli i buidat del dipòsit de purga)	Contractista	Setmanal
Galvanitzat	Repintat de les zones picades	Contractista	Setmanal

Taula 23. Pla de Manteniment després de l'estudi RCM

Cal afegir també que a partir dels resultats anteriors i de l'assignació d'aquestes freqüències de manteniment i dels recursos, no tan sols s'elaborarà un nou programa de Manteniment sinó que també se'n derivarà un nou organigrama (afegint o restant recursos d'una àrea, introduint empreses externes especialitzades, subcontractant les activitats que no tinguin un valor afegit per a l'empresa, etc.), i per tant es modifica i es millora la concepció inicial del Manteniment en l'empresa, establint un nou mecanisme d'actuació i una nova manera d'enfocar la gestió.

Com s'ha comentat en varis apartats d'aquest treball l'objectiu de la metodologia RCM no només és la d'elaborar un nou Pla de Manteniment sinó que també se'n deriven altres plans procedimentals i formatius, pel que el grup de l'estudi a partir de la informació recopilada posteriorment defineix els Procediments operatius pel departament de Manteniment, el de Producció i les Formacions específiques que creu que són idònies per evitar fallades. En aquest sentit és especialment d'ajuda la representació gràfica que agrupa els valors criticitat amb les causes principals del sistema (gràfica 2) ja que en aquesta gràfica es pot observar que existeix un problema significatiu de manca de Manteniment Preventiu al

sistema, el qual s'ha resolt amb les tasques del nou Pla de manteniment però que també cal millorar a través de procediments i de gammes operatives, les quals toca redactar.

Es crearan doncs després del Pla una sèrie d'Ordres de Treball amb les seqüències escrites de les operacions de manteniment a realitzar. D'aquesta forma els executors d'aquestes tasques gaudiran de protocols d'actuació estàndards per tal d'executar la intervenció adequadament.

També s'observa que la segona causa principal en aquesta gràfica d'agrupació de causes en funció de la criticitat és la "Carència de normes d'operació", és a dir, a causa d'un mal ús els usuaris del sistema pot ser que provoquin unes fallades que perjudiquin molt el procés. Per tant, el grup de treball també redacta una sèrie de normes operatives i les trasllada al departament de Producció per tal de que formi al seu personal i estableixi una freqüència de proves d'arrancada i de redundància d'algunes bombes instal·lades.

Per últim i a partir de la tercera causa de les fallades referent a les deficiències en l'automatització i la regulació del sistema, el grup GMP també s'estudia d'implementar algunes modificacions en el Sistema de Control Distribuït (DCS), així com invertir en la formació del personal elèctric i instrumentista per tal de millorar en aquest camp.

Finalment i un cop definit aquest nou Pla de Manteniment, el pla de Formació, les normes d'operació i de manteniment així com les inversions en les modificacions o redisseny del sistema, el grup d'estudi prepara el Pressupost resultant i el compara amb el Pressupost inicial del Pla antic.

En aquest estudi el Pressupost modificat resultant del nou Pla representa un increment del 6,7% respecte el Pressupost inicial del Pla de Manteniment antic, pel qual la justificació econòmica ha de venir acompanyada amb un estudi per a la Direcció de l'empresa, que quantifiqui la millora de la fiabilitat i la productivitat que se'n derivi, justificant la disminució de les pèrdues productives, la millora de la utilització productiva i/o la millora dels indicadors de la fiabilitat i la disponibilitat de la instal·lació, entre d'altres.

Aquestes dades anteriors no han pogut estar incloses en el present estudi ja que l'empresa en qüestió no n'ha volgut cedir la informació, però a partir de converses posteriors amb algunes de les persones d'aquesta empresa durant el procés d'elaboració d'aquest treball final de carrera, aquestes persones han transmès que després d'analitzar els costos reals anuals del període 2013 es va observar que el Pressupost del Pla inicial patia una desviació en augment del 25,8% si es tenien en compte les pèrdues de procés derivades de les fallades imprevistes que patia la instal·lació que inicialment no havien estat incloses en el pressupost. Per tant, i de cara a la Direcció de l'empresa, la seva validació i implantació es trobava més que justificada perquè realment reduïa els costos de manteniment (sobretot el cost de fallada) i augmentava els indicadors de fiabilitat i disponibilitat de la instal·lació.

#### 4.9 RETORN DE L'EXPERIÈNCIA (RDE).

En primera instància i degut a la manca de resultats de manteniment del present projecte, per una banda perquè encara no es disposen de resultats definitius ja que encara no ha finalitzat l'exercici 2014 i per l'altra perquè l'autor del treball no té accés a la informació de l'empresa que ha implantat l'estudi, comentar que els punts que s'exposen a continuació són una exposició genèrica de quin és el procés de millora contínua o el que anomenem Retorn de l'experiència del procés RCM.

Com a primer punt important s'ha de destacar que en aquest cas pràctic d'aplicació RCM es va tenir en consideració una base de dades d'històric d'avaries d'un període de 2 anys de funcionament (l'experiència acumulada real en aquesta línia) així com una previsió de les fallades que es podrien produir a mig termini. Degut al poc temps de funcionament de la instal·lació podria ser que algunes de les fallades exposades no s'arribessin a produir així com d'altres que no havien estat analitzades poguessin ocórrer sense haver estat prèviament detectades.

Per tant després d'haver elaborat el nou Pla i les accions formatives d'aquest estudi serà aconsellable que l'empresa analitzi de forma intensa els resultats de les tasques de manteniment aportades i modificar i redefinir el Pla de Manteniment establint noves freqüències en les intervencions, tan en el cas que no s'hagi produït la fallada en les quals es podran augmentar el temps de forma prudent, com en els casos que hagi aparegut la fallada amb antelació en la qual caldria augmentar la freqüència.

També s'hauran d'analitzar amb deteniment aquelles fallades noves que no s'han detectat en l'estudi, ponderar la seva criticitat, analitzar les seves causes i aplicar les mesures oportunes com si haguessin aparegut en l'estudi inicial. Ara però l'envergadura de fallades no serà tan significativa. Posteriorment a aquestes noves fallades també s'hauran d'aplicar les polítiques formatives i procedimentals per tal de complementar la seva prevenció.

Qualsevol sistema en termes de manteniment s'ha d'analitzar periòdicament (per exemple de forma anual) per tal de conèixer la tendència en el seu comportament, del seu estat de salut. En el cas d'emprar sistemes informàtics com GMAO's aquest anàlisi es simplifica ja que es generen els informes i la informació oportuna de forma bastant directe, sense haver d'aprofundir un nou estudi avaria per avaria.

El procés d'anàlisi RCM és una tècnica que sempre es troba en constant millora i revaluació, i cal tenir sempre present l'edat dels equips, la informació emprada (els registres, la fiabilitat de la base de dades), i establir unes periodicitats d'anàlisi per extreure les interpretacions i les decisions encertades de forma contínua. És bo utilitzar una plantilla com la que s'exposa en el capítol 3.4 on s'analitzin una vegada a l'any les avaries i les freqüències de les intervencions de manteniment preventiu.

Aquest mètode de "Manteniment Basat en la Fiabilitat" també podríem anomenar-lo de forma genèrica "Manteniment Basat en la Selectivitat" ja que utilitza matrius que hom pot definir en funció de les necessitats o peculiaritats de la seva indústria, amb l'objectiu de ponderar i valorar quantitativament els efectes que poden representar les seves fallades. Una

vegada que s'han puntuat i ordenat aquestes dades, els responsables de Manteniment poden actuar de dues maneres diferents o inclús simultàniament.

- Si disposen d'un Pressupost Fix destinat al Manteniment (sol ser l'escenari usual en l'actualitat de la majoria d'empreses) s'ajustarà aquest pressupost a les accions més significatives segons el criteri de selectivitat i l'anàlisi RCM.
- Si per contra la Direcció de la companyia marca uns valors de Disponibilitat-Fiabilitat requerida per a una línia, s'efectuarà una estimació de l'import de manteniment (recursos, consumibles, materials, immobilitzat-recanvis) donant lloc a un filtratge final i deduint les accions pertinents per a poder complir amb aquest objectius.

Lògicament per tal d'assolir els objectius de manera més o menys exacte a partir dels escenaris anteriors serà necessari d'esperar un cert temps (mínim un any) per tal d'observar els resultats i pronosticar el futur, un futur que inicialment es feia difícil de preveure però que a partir d'aquesta metodologia pot ésser més fàcil de definir.



## CONCLUSIONS DEL TREBALL.

En aquest treball s'ha intentat aportar una sèrie de tècniques o mètodes generals que pretenen millorar la Gestió del Manteniment, així com també d'altres contribucions més específiques alhora d'implementar la Tècnica RCM. Per tant, les conclusions que es deriven del present document són relatives a aquests dos camps i que es detallen a continuació.

### LA GESTIÓ INTEGRAL DEL MANTENIMENT

Sense haver de tornar a entrar en detall del què consisteix i del què representa poder assolir un òptim Manteniment en l'àmbit empresarial avui en dia, i més en les circumstàncies de crisi econòmica que ens envolten, sí que cal remarcar un aspecte molt important que a vegades els tècnics oblidem per estalviar temps i esforços alhora de resoldre qualsevol problemàtica quotidiana a la que ens enfrontem: per a poder prendre decisions cal analitzar, per analitzar cal prèviament haver mesurat, i per obtenir aquesta mesura haurà calgut registrar una sèrie de dades.

La presa de dades de forma correcta i ordenada i l'estadística en el camp del Manteniment és molt important. És una tasca organitzativa obligatòria, complexa, que requereix de molta disciplina, però amb la metodologia adequada no és tan costosa com hom es pensa. És per aquest motiu que en aquest treball s'han proposat models de registre d'averies, utilitzant metodologies de gestió com el "*Lean Manufacturing*", "*Ishikawa*", "*Diagrames de causa-efecte*" o aspectes del "*TPM*". Algunes empreses a partir de plantilles similars i una formació adequada dirigida als seus operaris han aconseguit amb molt d'èxit poder alimentar adequadament d'informació al seu Sistema GMAO a mesura que s'està mantenint la Planta i fruit d'aquesta bona praxis, seguida d'una certa periodicitat d'anàlisi de l'estat de la instal·lació per part dels responsables de gestió, han assolit processos i inèrcies de millora contínua, per tant benefici, de riquesa, de valor afegit empresarial. D'altres empreses en canvi, tan sols tenen la capacitat de poder explicar en què consisteixen aquestes metodologies però a la pràctica no han aconseguit resultats significativament profitosos.

En el camp de l'anàlisi i el tractament de les dades de manteniment tampoc no cal ser un gran estadístic o matemàtic. A través d'elaborar i representar gràfiques d'estil *Pareto* de forma senzilla es poden obtenir resultats interessants, essent l'essencial la recollida correcta de la informació. Un exemple d'això es pot observar en les gràfiques elaborades i els resultats que se'n poden obtenir del cas pràctic del treball.

Per altra banda, conèixer i aplicar les diverses tipologies de manteniment apart del purament correctiu, suposa anticipar-se a l'avaría i per tan augmentar la capacitat productiva de la instal·lació per adaptar-la millor a les necessitats estratègiques de l'empresa. El camp de la lubricació, efectuar unes bones rutes de revisions o inspeccions anotant les dades imprescindibles, un automatització adequada o simplement una monitorització d'algunes variables, així com programar correctament certes intervencions de manteniment preventiu i predictiu poden desembocar en grans passos endavant i millorar la salut del sistema. També és vital un anàlisi periòdic, una implantació en funció dels recursos que hom disposi, i una

reassignació de la programació d'activitats, qüestionant les freqüències, la naturalesa de les intervencions, etc.

La gestió i l'optimització econòmica del Manteniment, al final el resultat anual que la Direcció percep normalment com un cost per a l'empresa, és sovint l'assignatura pendent dels tècnics que viuen immersos dins de la complexitat tecnològica a la seva Indústria. Per aquest motiu el treball ha volgut tractar alguns aspectes de la gestió econòmica, així com també incorporar millores i tècniques senzilles per a l'optimització del cost del manteniment. D'aquesta manera finalment s'ha cregut interessant englobar amb el nom de Gestió Integral del Manteniment tots els conceptes de gestió com un conjunt únic total, segurament perquè també manca en l'empresa una concepció integral del que representa en sí la unió de molts esforços d'especialitat diversa (producció, compres, administració, manteniment, logística, màrqueting, direcció, etc) ja que al final no té sentit tractar de dividir aquestes especialitats sense definir uns objectius comuns i un sentiment de treball d'equip, un puzzle on cada peça tingui el protagonisme per tal d'assolir l'èxit i on a dia d'avui és fonamental la qualificació i la formació de les persones.

### **LA METODOLOGIA RCM**

La metodologia RCM sorgeix de la necessitat de millora i de l'evolució del manteniment en els sectors industrials pioners (el militar, l'aeronàutic i l'energètic), per tal d'augmentar per supervivència la fiabilitat, disponibilitat i la seguretat dels elements que componen aquests respectius sistemes. En segon terme per optimitzar l'impacte econòmic que suposa el manteniment sistemàtic d'elements per arribar als indicadors anteriors. Per aquest motiu no fóra vàlid extrapolar en la mateixa mesura aquest mètode a indústries més convencionals que no tinguin necessitats similars ni el fet d'assolir aquestes millores si no generen un justificat valor afegit. En alguns casos no es podrà establir aquesta tècnica amb el mateix rigor. Aquest és el primer aspecte important que cal copsar, ja que aquest mètode és laboriós i costós i per algunes empreses no serà pràctic ni profitós. És important doncs conèixer la necessitat de l'empresa, els seus objectius i els marges de millora, així com què és el que pot aportar RCM, i cercar l'equilibri entre la inversió a realitzar i el resultat esperat per tal d'aconseguir sempre la millor eficiència possible.

Normalment RCM serà apte per aquelles empreses mitjanes de procés continu o de gran fabricació de forma constant (generalment per tal d'amortitzar els costos fixos de la inversió d'immobilitzat) les quals només s'aturen de forma programada per a realitzar el manteniment imprescindible i en les quals una aturada per culpa d'una fallada suposa un perjudici econòmic significatiu. D'altres empreses més petites o amb règims productius no tan especials, poden adaptar-se millor a les circumstàncies de la fallada i per tant, si no és degut a la gran pèrdua econòmica no els és justificable aplicar aquest tipus de metodologies.

El segon punt a destacar és que no tothom pot implantar RCM, sinó que cal un lideratge expert en la matèria així com alimentar l'estudi d'uns recursos mínims (econòmics, personals i de temps). Per altra banda també s'ha descobert la rellevància que té un adequat nivell de profunditat d'anàlisi de les fallades i de les seves causes, per no simplificar o

profunditzar en excés l'anàlisi, i aquest anirà lligat a les necessitats de millora de fiabilitat i disponibilitat i del tipus d'empresa que s'estudiï. Per exemple, en el cas de les empreses Aeronàutiques o Nuclears, no es poden conformar en un nivell de profunditat 1 o 2 com en el cas pràctic d'aquest treball, però per a les empreses convencionals no és necessari de profunditzar més que el segon nivell, entenent que potser no seran descobertes totes les possibles fallades o totes les seves respectives causes, però tampoc no resultaria econòmicament viable el fet d'arribar en aquest detall. A més en alguns casos evitar la fallada tampoc seria rendible i el més lògic és minimitzar els efectes o elaborar plans de contingència per tal d'acotar-los i planificar-los.

Afegir també que ampliar l'àmbit d'aplicació de RCM a la totalitat del Sistema amb un nivell de profunditat correcte és el mètode més idoni per tal d'aconseguir resultats globals i no parcials emprant anàlisis molt profunds només en alguns subsistemes. D'aquesta manera no es perdran segons quins efectes que poguessin passar desapercebuts però que fossin crítics.

Alhora d'aplicar RCM en aquest treball, s'ha aconseguit aportar una metodologia de selectivitat de la criticitat dels efectes de les fallades a partir d'una sèrie de criteris d'anàlisi: Seguretat, Disponibilitat o Productivitat, Fiabilitat o freqüència de la fallada, Detectabilitat de la fallada i Mantenibilitat del sistema. Aquesta metodologia pot ésser exportable en d'altres camps d'anàlisi per tal d'avaluar i quantificar els efectes d'un succés per posteriorment classificar-los i seguidament emprendre accions reactives o preventives per evitar-los.

Amb aquest treball també hem pogut copsar que a partir d'aquesta tècnica el resultat final no és tan sols l'elaboració d'un nou Pla de Manteniment, sinó que del procés d'anàlisi de les tasques de manteniment preventives també en sorgeix un nou Pla de Formació i Procedimental el qual permet instruir a les persones implicades i ampliar els seus coneixements de la instal·lació a mesura que s'avança en l'estudi, i aquest fet és substancialment important avui en dia ja que la formació i qualificació del personal en moltes empreses té mancances importants.

Per últim afegir que a partir de la millora formativa disminueix la dependència que molts tècnics del manteniment tenen amb els fabricants, i s'adapten els recursos materials, humans i econòmics del pressupost de manteniment en allò que realment és necessari pel sistema, optimitzant i redirigint els diners en allò que és important pel benefici productiu.

## BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA GENÈRICA:

- BOUCLY, Francis (1998). *Gestión del Mantenimiento*. Madrid. Ed: AENOR.
- MONCHY, F. (1990). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial*. Barcelona. Ed: MASSON.
- ELOLA NAVARRO, Luis *et al.* (1997). *Gestión Integral del Mantenimiento*. Barcelona. Ed: MARCOMBO.
- NAKAJIMA, Seiichi (1986). *La Maintenance Productive Totale*. París. Ed: AFNOR.
- SUZUKI, Tokutaro (1995). *TPM en Industrias de Procesos*. Madrid. Ed: TGP-HOSHIN
- GONZÁLEZ, Fdez I.J (2003). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. Madrid. Ed: FC Editorial.
- CREUS, Solé Antonio (2011). *Instrumentación Industrial*. Barcelona. Ed: MARCOMBO.
- ROCA, Cusidó Alfred (1997). *Control de Procesos*. Barcelona. Ed: Edicions UPC.
- MÁRQUEZ, Crespo Adolfo (2004). *Ingeniería de Mantenimiento. Técnicas y Métodos de aplicación en la fase Operativa de los equipos*. Madrid. Ed: AENOR.

### ARTICLES I REVISTES ESPECÍFIQUES:

- El Mantenimiento en España. Encuesta sobre la situación en las empresas españolas. AEM. Barcelona (2013)
- AMENDOLA, Luis (2014). "Claves para el entendimiento e Implementación ISO 5500". <http://www.pmmlearning.com/index.php/component/content/article/182>
- GARCÍA, Garrido Santiago (2014). "Plan de Mantenimiento Basado en RCM". <http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Plan+de+mantenimiento+basado+en+RCM+-+Inicio>
- TRUJILLO C, Gerardo (26/08/2002). "El Mantenimiento Proactivo como herramienta para extender la vida de sus equipos" <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/lubproact.asp>
- PAURO, Ricardo (2012). "Indicadores de Mantenimiento: que se debe medir y por qué". <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/828/3/CAPITULO%203.pdf>

### ORGANITZACIONS I PÀGINES WEB D'INTERÈS:

- Asociación Española de Mantenimiento [www.aem.es](http://www.aem.es)
- European Federation of National Maintenance Societies [www.aem.es](http://www.aem.es)
- Society for Maintenance and Reliability Professionals (EEUU) [www.smrp.org](http://www.smrp.org)