

**FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA**

**PROBABILITAT I CASUALITAT EN  
EL MANTENIMENT I EN LA  
MARINA MERCANT**

Autor: Ernest Verdera i Tomas

Juliol 1990

## **6.0.-LA CAUSALITAT EN EL MANTENIMENT**

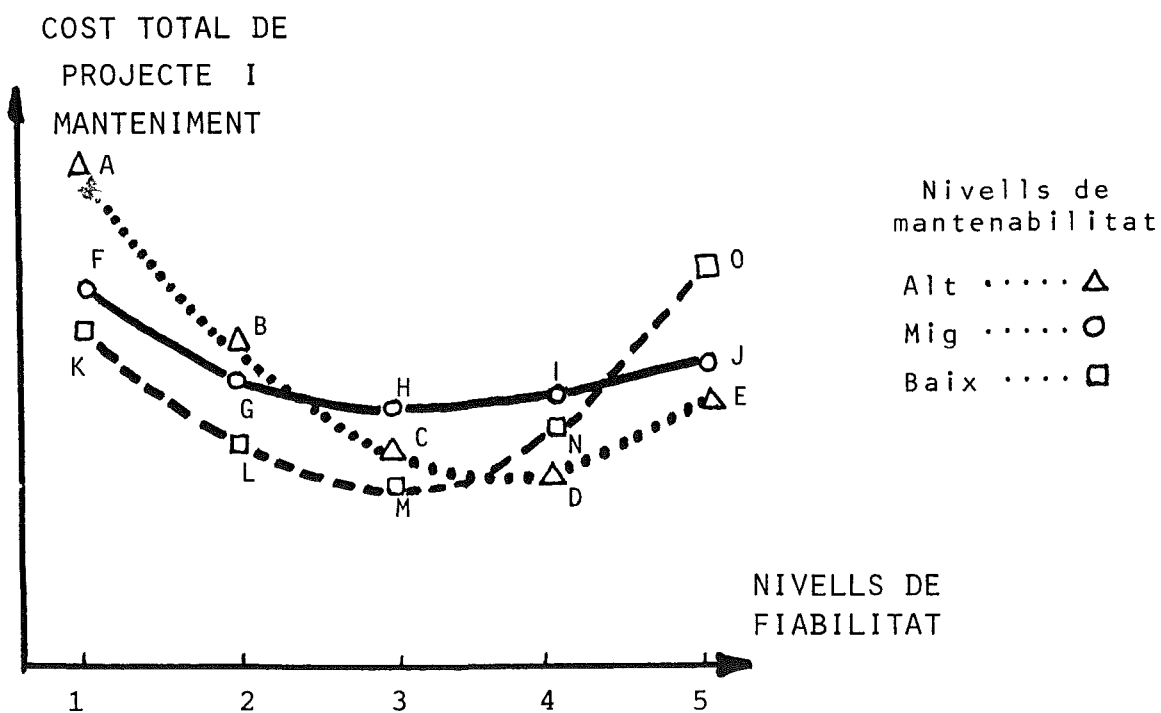
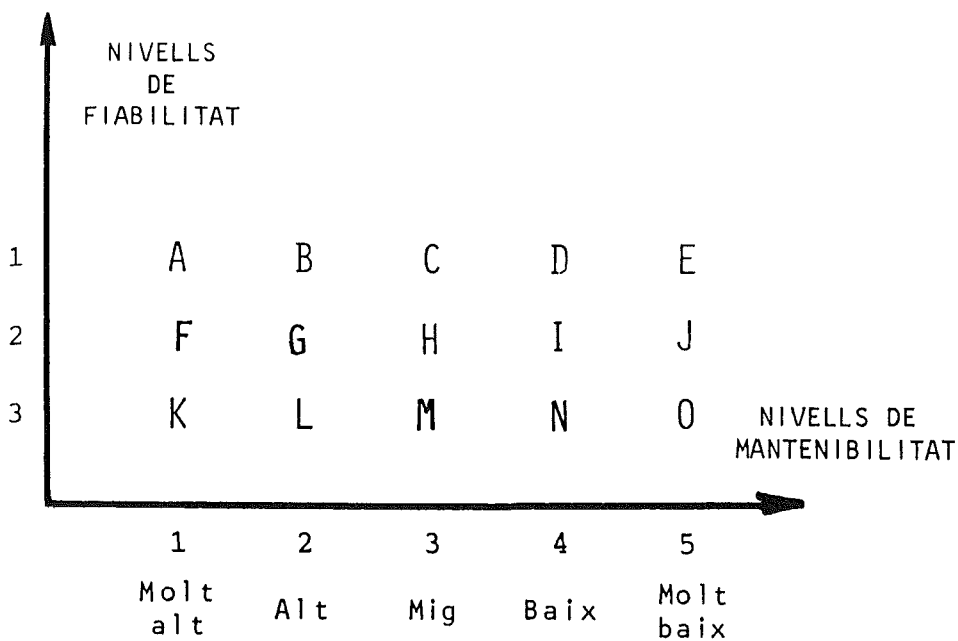
### **6.1. EL PROJECTE I LA CONSTRUCCIÓ COM A CAUSES DE LA FALLADA**

En l'enginyeria del Manteniment, és a dir, en la pràctica del Manteniment, entès com a funció industrial, prevaleixen dos grans qüestions respecte a la fallada: la correcta aplicació en cada cas, de les tècniques correctives més adequades i els criteris preventius de més eficàcia i menys costos, fig. 29, la qual cosa es fa per tal d'aconseguir un índex global de fiabilitat que sigui compatible amb la seguretat de coses i persones i amb la política econòmica de l'empresa. Es podria pensar que el problema de la causa de la fallada sigui intrascendent o bé que no interessi a l'enginyeria del Manteniment; a efectes pràctics on la successió dels esdeveniments és: corregir les conseqüències de la fallada, preveure la seva aparició i, a vegades, trobar-ne la causa. En el quadre 9 de l'enquesta, que tanca aquest treball, es troba la confirmació del que acabem d'escriure.

Per altra banda l'existència de la fallada com a fenomen determinant en l'economia de l'empresa, planteja com a qüestió de principi la conveniència de determinar-ne les causes generals per saber, almenys, si és o no inevitable en l'estat actual de la tècnica (5).

Prendrem com a exemple, el cas dels aspectes o parts mecàniques del sistema productiu. Les conclusions són aplicables a les parts elèctriques, electròniques, tèrmiques, etc., puig que els mètodes de càlcul i producció tenen semblant fonament lògic i teòric, fig. 30.

La Resistència de Materials proporciona les bases teòriques per al càlcul. En els cursos de R. de M. s'estudien els diagrames de càlcul que són comuns per a la majoria de les construccions d'enginyeria. Els diagrames de càlcul no compresos en el camp de la tècnica general, s'estudien en apartats especials de la Mecànica



Fig, 29 Cost total de projecte i manteniment a diversos nivells de mantenabilitat

## DEFECTES GENÈRICS, COM A CAUSES "GENÈTIQUES" DE FALLADES

Hi ha en la literatura tècnica nombrosos llistats de causes proposats per diferents autors, sempre incomplets necessàriament. El que segueix es limita al camp mecànic, hi ha els seus equivalents en els demés camps tècnics.

<u>DISSENY</u>	FORMES INADEQUADES MANCANÇA DE FUNCIONALITAT ESCASSA MANTENIBILITAT IMPREVISIÓ CONTRA ACCIDENTS PREDOMINI DE CRITERIS "ESTÈTICS"
<u>PROJECTE</u>	ESPECIFICACIONS INSUFICIENTS GEOMETRIA EQUIVOCADA ERRÒNIA ELECCIÓ DE MATERIALS BAIXA ESTIMACIÓ DE FATIGUES
<u>CONSTRUCCIÓ</u>	ERROR EN ELS MATERIALS EMPRATS COMPOSICIÓ QUÍMICA EQUIVOCADA TÈCNiques DE FUSIÓ INCORRECTES TRACTAMENTS TÈRMICS INADEQUATS MAQUINAT DEFECTUÓS MAL ACABAT DE SUPERFÍCIES DIMENSIONS EQUIVOCADES
<u>MUNTATGE</u>	GEOMETRÍA DE MUNTATGE EQUIVOCADA (nivellar, alinear, ajustar, etc.) DEFECTES EN UNIONS RABLADES O SOLDADES/ DEFECTES D'ACOBLEMENT (cops, senyals de maquinat, impureses, etc.)
<u>OPERACIÓ</u>	PERSONAL MAL ENTRENAT ESFORÇOS INCORRECTES (velocitats altes, arrencs deturades, etc.) INTRODUCCIÓ INADEQUADA DE MATÈRIES PRIMES COPS I DESCUIT EN ELS ÒRGANS DE COMANAMENT NETEDAT INSUFICIENT O NULA DESCUIT EN ADVERTIR FALLADES A TEMPS
<u>MANTENIMENT</u>	INSUFICIENT CONTROL DE LA LUBIFICACIÓ US DE RECANVIS INADEQUATS US D'EINES O UTILLATGES NO ADEQUATS ROSQUES MAL TRACTADES MALES TÈCNiques DE DESMUNTATGE DE COIXINETS MALES TÈCNiques DE MUNTATGE DE COIXINETS ALINEACIONS NO ENCERTADES NI COMPROVADES NIVELLACIONS ID. ID. ID. CONEIXEMENT INSUFICIENT DE LES PARTS A DESMUNTAR I VICEVERSA FALTA DE COMPROVACIÓ DE LES PARTS REPARADES PRÈVIA AL MUNTATGE

Fig. 30

aplicada. En les disciplines tècniques, els títols de les quals comença amb la paraula Resistència, Resistència d'aparells sotmesos a pressió interna, Resistència del vaixell a..., etc., s'exposa de forma concreta tant l'anàlisi dels diagrames de càlcul com l'aplicació dels coeficients de seguretat.

En el càlcul s'apliquen fórmules matemàtiques en les que s'acostuma a menystenir tals o quals termes, el que es justifica amb expressions com "suposem que", "admitint que", etc. També la teoria dels errors aplicada en aquestos casos ens explica i ens tranquil·litza sobre el valor numèric de la imprecisió resultant. Per altra banda hi ha un acord general en creure que els errors acumulats en el procés de càlcul es poden corregir "a posteriori" per l'assignació d'un valor arbitrari: el coeficient de seguretat. Hi ha doncs consciència del fet que el càlcul no és exacte.

L'atribució d'un coeficient de seguretat implica, almenys, dos compromisos per part del calculista, un és l'estimació dels errors acumulats en el procés de càlcul, i l'altre, la necessitat de crear estructures resistents adequades, el cost de les quals sigui tolerable per al mercat. En molts casos es pot comprovar quant han influït els càlculs de fiabilitat en la disminució del valor dels coeficients de seguretat.

La legislació en matèria de proves de resistència en les construccions ha estat desenvolupada, i a vegades, aplicada amb molta severitat, precisament per causa de la utilització de hipòtesis no comprovades i de mètodes de càlcul simplificatius.

Una altra causa de desconfiança, molt utilitzada en el projecte, és la inferència. Se sol inferir que una mena de construcció que va donar bon resultat per certes circumstàncies i llocs, també anirà be en altres circumstàncies semblants i en llocs també semblants.

De vegades, per abaratir el procés de càlcul i disseny s'empra l'extrapolació, i extrapolar és, en aquests casos, caure en el buit.

Tanmateix la simplificació del càlcul de tota construcció és inevitable perquè no és possible, en principi, una anàlisi que valori totes les propietats de la construcció real per causa de la seva gairebé infinita varietat.

Els estudiosos del tema solen posar en evidència els processos d'esquematzació, per exemple, esquematització de les propietats del material, esquematització de la càrrega i esquematització de la forma geomètrica.

El primer que es fa en l'elecció del diagrama de càlcul és la idealització de les propietats del material.

Es postula l'homogeneïtat; s'admet que el material omple, de manera contínua, sense buits, tot el volum inclòs en les límits geomètrics d'ell mateix.

Això contradiu l'estructura molecular del sòlid i és acceptable quan els objectes excedeixin en les seves dimensions, sensiblement, les distàncies atòmiques. En aparença això no constitueix un inconvenient, és més important la existència de micro-fissures i buits intercrystal.lins. Hem de recordar que en Mecànica es presenten problemes que es troben en el límit de l'aplicació del concepte de continuïtat, es tracta del desenvolupament de les fissures i de la resistència a la fatiga.

La continuïtat està lligada a l'homogeneïtat del material, i aquesta, en la invariabilitat de les seves propietats dins dels límits del volum considerat. Aquesta hipòtesi condueix a errors sensibles, per exemple, en el cas de les tensions locals, en la camisa d'un motor Diesel de dos temps, lent, de gran potència, que presenti en la platina d'acoblament sobre el cilindre, una mecanització en angle viu per la part interior, la zona de tensions màximes, mecàniques i tèrmiques, pot interessar només uns pocs grànuls cristal.lins del material, la qual cosa, contradient la hipòtesi de l'homogeneïtat ha donat lloc a fallades molt greus.

Quan s'entra en els problemes de càlcul, el material es considera perfectament elàstic, però el sòlid real presenta divergències, de poc valor, que esdevenen evidents en els fenòmens oscil·latoris i troben la seva expressió en la dissipació d'energia per l'anomenada fricció interna del material. Quan augmenten les deformacions, la divergència entre elasticitat ideal i real és tan important, que quan es tria el diagrama de càlcul s'atribueixen al material propietats diferents i se'l considera elasto-plàstic. La descripció de les propietats del material, en aquests diagrames, és fenomenològica i no es tenen en compte les peculiaritats dels microprocessos de la xarxa cristal·lina ni les dislocacions.

El sistema material continu es considera isòtrop, és a dir, les propietats elàstiques i plàstiques de l'element separat són independents de l'orientació angular d'ell mateix. Les propietats d'un cristall, considerat aïlladament, en una direcció determinada, són diferents de les propietats en altra direcció i depenen de la quantitat d'àtoms que es troben en aquesta direcció. La diferència de propietats en dependència de la direcció en que s'assaja és l'anisotropia. Tots els cristalls són anisòtrops. El metall real està format per molts cristalls, en cada  $\text{cm}^3$  hi ha decenes de milers de cristalls i com cada cristall té una orientació arbitrària, en qualsevulla direcció es troba aproximadament la mateixa quantitat de cristalls orientats a l'atzar. Total que, les propietats d'aquest metall policristal·lí són iguals en totes les direccions malgrat que les propietats de cada cristall depenen de la direcció. D'aquest fenòmen se'n diu pseudo-isotropia (isotropia falsa).

Així doncs, un cristall metàl·lic real té imperfeccions atòmic-cristal·lines (buits, dislocacions), estructurals (blocs i fragments) i anisotropia. També hi ha anisotropia del metall derivada dels processos de laminació, embotit, i enduriment per deformació en fred. Hi ha anisotropia estructural i anisotropia constructiva.

En el sistema de les forces interiors s'introdueixen també simplificacions típiques, per exemple, la consideració de forces concentrades que substitueixen a càrregues repartides. En cada deformació hi ha un moviment de masses que

produeix aparició de l'energia de moviment. Si les acceleracions són dèbils es pot considerar que en qualsevol moment d'aplicació de la càrrega el sistema està en equilibri. Aquest tipus de càrrega s'anomena estàtica i això és un esquema simplificador.

Quant a la forma geomètrica l'esquema simplificador és suggerit per la forma de la peça considerada que es recolza en les formes bàsiques de la barra, la bòveda, etc.

En la pràctica, l'elecció del diagrama de càlcul constitueix un problema singular, el de la versió òptima.

Es tracta d'apropar al màxim, el diagrama de càlcul a l'esquema efectiu, preparat de manera que redueixi al mínim les diferències amb la construcció real.

La qüestió no és senzilla, per resoldre-la s'han de menester intuïció i domini d'una gran varietat de mètodes d'anàlisi, més endavant aquests problemes aconseguixen gran complexitat i major precisió, veiem-ne un exemple:

En les últimes dues dècades, i per raons no prou justificades s'ha estès l'aplicació dels motors diesel de quatre temps, semi-lents, amb sobre càrrega, pels sistemes d'impulsió de determinats tipus de vaixells i és freqüent en aquest tipus de motors marins, la trencada dels eixos. En general les causes es troben en les velocitats crítiques i en les fenòmens de ressonància. Exposem ara un mètode de càlcul d'utilització molt estesa, per la determinació de les velocitats crítiques,  $W_c$ , per concentració de masses.

### Eix amb tres suports i dos volants

Admetem que l'eix té una inèrcia constant, la seva massa és menyspreable respecte a la dels dos volants  $m_1$  i  $m_2$ . Es demana de calcular les dues vibracions.



Farem un càlcul de flexió. Vegeu fig. 31

Suposem que és coneguda la matriu dels coeficients d'influència (C); el sistema diferencial de les pulsacions serà:

$$\begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} = 0$$

$$\begin{cases} y_1 + C_{11} m_1 \ddot{y}_1 + C_{12} m_2 \ddot{y}_2 = 0 \\ y_2 + C_{21} m_1 \ddot{y}_1 + C_{22} m_2 \ddot{y}_2 = 0 \end{cases}$$

Si  $\frac{1}{\omega^2} = K$ , en resulta l'equació de pulsacions:

$$\begin{vmatrix} C_{11} m_1 - K & C_{12} m_2 \\ C_{21} m_1 & C_{22} m_2 - K \end{vmatrix} = 0$$

$$K^2 - (C_{11} m_1 + C_{22} m_2) K + (C_{11} C_{22} - C_{12}^2) m_1 m_2 = 0$$

$$(C_{11} C_{22} - C_{12}^2) m_1 m_2 \omega^4 - (C_{11} m_1 + C_{22} m_2) \omega^2 + 1 = 0$$

$$\omega^2 = \frac{1}{C_{11} C_{22} - C_{12}^2} \cdot \left\{ \frac{C_{11}}{m_2} + \frac{C_{22}}{m_1} \pm \sqrt{\frac{C_{11}}{m_2} + \frac{C_{22}}{m_1} + \frac{4(C_{11} C_{22} - C_{12}^2)^2}{m_1 m_2}} \right\}$$

El que ens condueix al càlcul de coeficients d'influència, que es pot fer fàcilment pel mètode dels grups d'estat. Es treu el suport B per fer-lo isostàtic; es representen els estats unitaris amb els moments flectors  $M_1, M_2, M_0$  i els moments de màxims  $\mu_1, \mu_2, \mu_0$

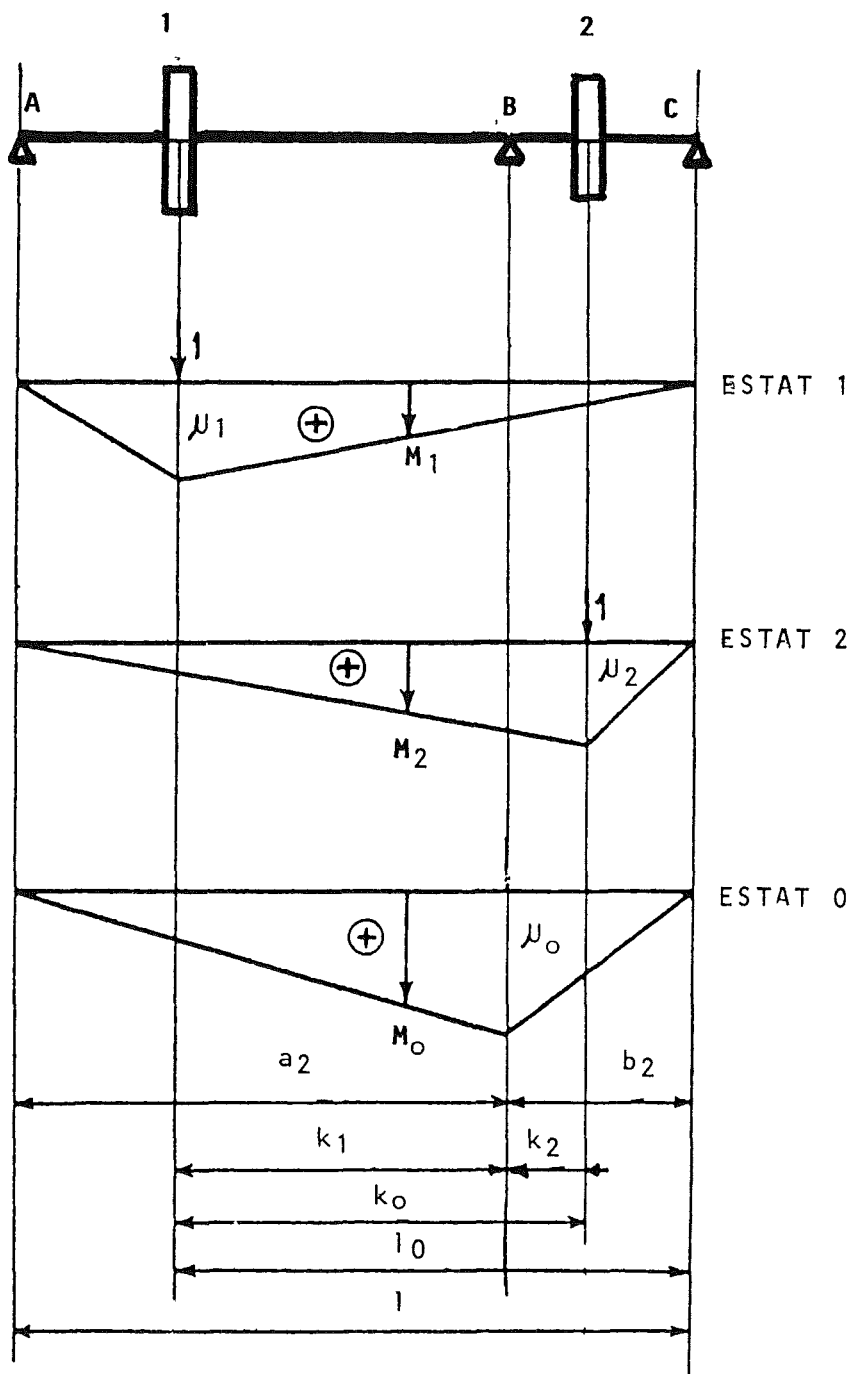


Fig. 31

En l'estat 1, si hom restableix el suport B, la reacció  $R_1$  en B estarà donada per

$$R_1 = \frac{\int M_1 M_0 dy}{\int M_0^2 dx}$$

$$R_1 = - \frac{(M_1 M_0)}{(M_0)^2}$$

El moment flector serà llavors

$$\mathcal{M}_1 = M_1 - \frac{(M_1 M_0)}{(M_0)^2} \cdot M_0$$

i el coeficient  $C_{11}$  serà donat per:

$$EIC_{11} = (\mathcal{M}_1)^2$$

$$EIC_{11} = (M_1)^2 - \frac{(M_1 M_0)^2}{(M_0)^2}$$

$$EIC_{11} = \int M^2 dx = \frac{[\int M_1 M_0 dx]^2}{\int M^2 dx}$$

igualment

$$EIC_{22} = (M_2)^2 - \frac{(M_2 M_0)^2}{(M_0)^2} \quad dx - \frac{[\int M_2 M_0 dx]^2}{\int M_0^2 dx}$$

Restablint el suport B en l'estat 2 també tindrem el moment flector:

$$\mathcal{M}_2 = M_2 - \frac{(M_2 M_0)}{(M_0)^2} \cdot M_0$$

El coeficient d'influència  $C_{12}$  és doncs donat per  $EIC_{12} = (\mathcal{M}_1)(\mathcal{M}_2)$

$$EIC_{12} = (M_1 M_2) - \frac{(M_2 M_0)}{(M_0)^2} (M_0 M_1) - \frac{(M_1 M_0)}{(M_0)^2} (M_0 M_2) + \frac{(M_1 M_0)(M_2 M_0)}{(M_0)^2}$$

$$EIC_{12} = (M_1 M_2) - \frac{(M_1 M_0)(M_2 M_0)}{(M_0)^2} = \frac{\int M_1 M_0 dx \cdot M_2 M_0 dx}{\int M_0^2 dx}$$

El càlcul ens porta, doncs, a les següents integrals de Mohr:

$$M_1 M_2 = \int M_1 M_2 \cdot dx = \frac{1}{6} \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \ell \left( 2 - \frac{k_0^2}{a_2 b_2} \right)$$

$$(M_1)^2 = \int M^2 dx = \frac{1}{3} \cdot \mu_1^2 \cdot \ell$$

$$(M_2)^2 = \int M_2^2 dx = \frac{1}{3} \cdot \mu_2^2 \cdot \ell$$

$$(M_0)^2 = \int M_0^2 dx = \frac{1}{3} \cdot \mu_0^2 \cdot \ell$$

$$(M_1 \cdot M_0) = \int M_1 M_0 dx = \frac{1}{6} \cdot \mu_1 \cdot \mu_0 \cdot \ell \left( 2 - \frac{k_1^2}{a_1 b_1} \right)$$

$$(M_2 \cdot M_0) = \int M_2 M_0 dx = \frac{1}{6} \cdot \mu_2 \cdot \mu_0 \cdot \ell \left( 2 - \frac{k_2^2}{a_2 b_2} \right)$$

El principi de càlcul es generalitza fàcilment per un eix amb  $n$  suports i  $n-1$  volants.

El problema de la determinació teòrica de les velocitats crítiques és crucial per als constructors. Generalment aquests estimen que és suficient conèixer la 1<sup>a</sup> velocitat crítica; en aquest cas els mètodes gràfics donen una precisió que es considera correcta (Stodola, Borowicz). Aquests mètodes permeten, a nivell d'avant projecte, estimar els riscos que es presenten i d'escollir la manera per la que es "passarà"  $W_{c1}$ .

Cal remarcar que el mètode de les masses concentrades dóna molt bona aproximació amb un nombre petit de masses. El mètode s'adapta bé als càlculs per ordinador i permet d'obtenir fàcilment les altres pulsacions pròpies i d'elles les velocitats crítiques, puig que decidir la velocitat de rotació consisteix en col·locar-la entre dues velocitats crítiques. Per altra banda, en determinat tipus d'aplicacions es demanen velocitats de rotació més i més altes i llavors 2 i fins 4 velocitats crítiques, han de ser superades sense dany.

És doncs important utilitzar una eina adequada per a l'anàlisi vibratori.

Naturalment hom és conscient que la determinació de les  $w_{ci}$  no és una fi en sí mateixa; cal necessàriament un bon equilibrat del sistema. Però les forces perturbadores, excitatrius de vibració, hi són, és sabut que certs efectes, mal coneguts, de conductabilitat tèrmica provoquen, de vegades, efectes vibratoris catastròfics.

L'evolució de les condicions del sistema en el temps, i també les tècniques de muntatge, són altre paràmetre que és difícil tenir en compte en el procés de càlcul.

Aquestes i altres incerteses obliguen a utilitzar mètodes de càlcul adaptatius, poc rígids. En l'estadi d'avant-projecte, el mètode de Stodola per un sistema de dos cigonyals i de Borowicz per 3, donen informacions molt útils ( $W_{c1}$ , esforços dinàmics i estàtics); però a l'estadi de projecte, el mètode de les masses concentrades és més precís i més adequat.

No obstant en les instal·lacions marines hi ha forces pertorbadores, (flexió de les bancades, oscil·lacions, i xocs deguts a l'estat de la mar, racció de l'hèlix, vibració del buc, etc.) que són altres tantes incògnites que el càlcul no pot avaluar ni considerar, i que tard o d'hora es manifesten en forma d'avaries catastròfiques que només poden ser previngudes per adequats sistemes de mesura i tractament de les variables que determinen l'estat o condició de funcionament, el que se'n diuen tècniques predictives.

## 6.2. EL DISSENY I LA MANTENIBILITAT

El disseny industrial ha caminat en l'última dècada per dos camins preferents, l'estètica i el producte compacte per estalviar volum, espai d'ocupació. Però fins i tot en els temps en què l'espai no constituïa problema i les consideracions estètiques no eren importants en la concepció de les unitats productives, hi havia un pecat imperdonable en el disseny que encara subsisteix i és la ignorància del concepte de mantenibilitat.

La mantenibilitat és l'aptitud d'un sistema, subsistema o component per a les operacions de manteniment, siguin en funcionament o a sistemes aturats.

La mantenibilitat es caracteritza per uns índexs de les següents característiques o propietats:

- Índex d'accessibilitat: valora la major o menor dificultat per portar a bona fi les mesures dels paràmetres característics mitjançant instruments fixes o manuals. També mesura la facilitat per a la inspecció i per al desmuntatge de les seves parts i la necessitat o no d'eines o medis especials.

- Índex de normalització: valora si les diferents components o parts corresponen a productes normalitzats disponibles en el mercat.

- Índex d'uniformitat: valora si els components corresponen a criteris de fiabilitat coherents entre sí i de cost proporcional a la fiabilitat.

- Índex de dificultat tecnològica: serveix per qualificar la concepció tècnica: avançada, experimentada, endarrerida.

- Índex d'obsolescència: Determina si en la vida útil del sistema, els seus components, o ell mateix, subsistiran en el mercat o si seran substituïbles per altres de concepció més avançada. Està lligat a l'anterior i vol mesurar la tendència a l'envelliment tecnològic.

Fonamentalment els criteris de mantenibilitat han de ser aplicats en el moment d'especificar les característiques d'una comanda o mentre el projecte es desenvolupa el que, entre moltes altres coses, exigeix que l'enginyeria de manteniment participi amb suficient autoritat en el control i caracterització del projecte de les unitats productives o de serveis.

### **6.3. EL MUNTATGE COM A CAUSA DE FALLADA**

La fig. 30, exposa els diversos camps del muntatge on és possible l'existència de causes de fallada. Determinades parts de les plantes industrials o de serveis són subministrades a punt de funcionar i ja provades en la seu del

constructor, però han de ser fixades en els seus fonaments i enllaçades a les xarxes elèctriques i o de fluids, aquestes operacions, simples en aparença, poden generar noves causes de fallada per vies molt diverses, mala fixació, o mala geometria d'instal.lació, connexions no adequades, introducció de partícules o cossos estranys en els treballs d'acoblament, connexions errònies, elèctriques i fluïdiques, etc.

És més complicat i complexe, el cas d'aquells sistemes productius que s'han de muntar en el lloc de producció, llavors, la possibilitat d'introduir causes de fallada és molt més elevada i perillosa. En els grans motors propulsors marins aquests es munten completament en les bancs de proves dels constructors on es posen en funcionament, es fan diversos períodes de rodatge on es resolen les fallades inicials i després es fan les proves oficials de recepció a diversos règims de velocitat i potència, i es mesuren les variables característiques, etc. Aquests motors que pesen milers de tones, són completament desmuntats i traslladats al vaixell on recomença tot el procés de muntatge i proves.

Potser es tracta del cas més complexe i més difícil de muntatge i proves de recepció, no cal dir que els valors, (sobretot de consum específic de combustible) que s'aconsegueixen en el banc de proves, mai més es reproduïxen en la vida del motor, molt allunyada d'aquest artificiós primer període de funcionament.

#### **6.4 EL FUNCIONAMENT NORMAL**

Quan un sistema productiu comença a funcionar i es deixa consegüentment en les mans i a les cures dels operaris de producció, pot succeir que es produeixin circumstàncies anòmales per causa d'una mala conducció; maniobres errades, aturades brusques, grans acceleracions, etc. És molt corrent que el personal es faci càrrec del funcionament productiu de les màquines després d'un període



d'instrucció marcadament insuficient. Per altra banda el coneixement de particularitats funcionals importants no està, en general, a l'abast d'uns operaris que tenen un altre tipus de preparació professional i bàsica del que demanen les màquines, generalment complicades.

Aquest fet genera problemes no tan sols a les màquines, les persones que hi treballen pateixen angoixes vàries, i temors importants en un àmbit d'incomprensió que és perillós per a ells i per la funció productiva. Sembla que en els moments actuals es comenci a tenir consciència d'aquest problema i de la necessitat de desenvolupar la preparació professional en general.

#### **6.5. EL MANTENIMENT POT SER CAUSA DE FALLADA**

També les accions de manteniment poden tenir efectes negatius, de vegades més difícils de detectar que el que acabem d'esmentar.

S'hauria d'acceptar que mecànics, electricistes, instrumentistes, etc. tenen el nivell professional que correspon a la seva categoria i que el mateix es pugui dir dels caps d'equip, encarregats, i tècnics en general.

Aquest reconeixement de qualitat no sempre és encertat per diverses raons. La primera d'elles és l'evolució de la tècnica que omple els centres productius d'innovacions que no sempre són encertades i que desconcerten a l'operari, no acostumat als criteris funcionals i constructius dels sistemes o components nous. Per altra banda els dibuixos de la maquinària i les instruccions per l'ús i manteniment són, en general, poc explicatius i menys encara, quan es tracta de seqüències i esquemes de desmuntatge. També es produeixen situacions en les que s'ha de treballar per intuïció puig que no hi ha representacions gràfiques, per unes o altres causes.

És ben cert que tot va millor quan es té un bon coneixement dels sistemes que s'han de mantenir. Per això, no basta l'experiència directa, sinó que cal una tasca continuada d'instrucció i ensenyament sobre el terreny acompanyada de cursos de formació genèrica sobre les innovacions tècniques i en particular, sobre tot allò que de nou arriba o ha d'arribar a l'empresa. Aquesta tasca d'instrucció i formació ha de fer-se a tots els nivells, i en cada ú, pel camí més adient.

Quan una part qualsevol del sistema productiu es desmunta per revisions, inspeccions o reparacions, entren en joc noves circumstàncies que poden pertorbar les condicions geomètriques inicials o introduir substàncies estranyes, o deformacions no visibles per cops, flexions, o altres que en el futur poden ser causa de fallada.

El control operatiu dels treballs de manteniment no és fàcil, ni previsible, en general, puig que els operaris estan dispersats pel centre productiu i és físicament impossible el control directe de totes les intervencions o de totes les fases que les componen. L'operari de manteniment per aquest motiu ha d'ésser una persona qualificada i a la vegada responsable. Aquestes dues condicions no sempre coincideixen en una sola persona.

Es pot comprendre doncs perquè el treball de manteniment pot ser causa de fallada, i a més d'això dit, i afegim que sempre és possible un error humà que provoqui equivocacions de criteri o d'acció que més tard seran causa de la fallada tècnica.

## **Bibliografía**

BUNGE, M.

Causality, 1963.

Meridian Books. New York.

COLLACOT, R.A.

Mechanical Fault Diagnosis, 1977.

Chapman and Hall. London.

FREDERICK S.H.; CAPPER, H.

Materials for Marine Machinery, 1976.

Marne Media Management Ltd. London.

KAZAHIKO, N.; Kohji, F.

Diagnosis of Combustion in Diesel Engines with Optical Fibres, 1988.

Bulletin of Marine Engineering Society in Japan. Tokyo.

VERDERA, E.

Probabilidad y causalidad en el Mantenimiento, 1988.

IVº Congreso Iberoamericano de Mantenimiento. Brasil.