

FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA

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

Autor: Ernest Verdera i Tomas

Juliol 1990

7.0. LA TEORIA CAUSAL, EXEMPLES

La recerca científica progressa fent servir certes hipòtesis metafísiques com: no hi ha propietats o fets aïllats, el present és fill del passat, res no pot defugir les influències externes. Aquestes hipòtesis han estat formulades o analitzades moltes vegades en el decurs dels últims dos mil cinc-cents anys, però encara necessiten clarificació. En aquest camp, els treballs de F. Hallwachs, T.S. Kuhn, J. Piaget, L. Rosenfeld i M. Bunge constitueixen la base actual de qualsevol raonament sobre el tema.

Particularment, han fet grans aportacions per la determinació del que s'ha d'entendre quan es diu "dos propietats o dos esdeveniments estan conjuntats", o "el present determina el futur" i "una cosa en determina una altra i, particularment, n'és la causa" . A continuació veurem de classificar aquestes idees seguint el criteri de M. Bunge (8 i 9).

7.01. SISTEMA, PROPIETATS, ESDEVENIMENTS

Puig que s'ha de parlar de relacions que són vàlides tan entre propietats dels sistemes com entre esdeveniments, convé establir des d'ara el que es vol dir amb aquests termes.

Entenem com a sistema qualsevol objecte, físic, del tipus material o de camp, que existeix en l'espai i el temps i que es comporta, en alguns aspectes, com una unitat. Un electrò, una cèl.lula, un objecte, són sistemes.

Per indicar que un individu σ és un sistema de la classe Σ s'escriurà $\sigma \in \Sigma$.

Suposarem que cada sistema estigui caracteritzat de manera exhaustiva per un nombre finit de propietats, conegudes o incògnites. Les relacions o interaccions estaran incloses entre les propietats i indicarem amb $P(\Sigma)$ el conjunt de les propietats que caracteritzen $\Sigma: (\Sigma) = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Suposarem també que cada propietat P_i pugui ser representada per una funció o per un operador F_i . Més exactament, suposarem que cada classe Σ de sistemes estigui caracteritzada per un nombre finit n , de funcions reals (o d'operadors hermitians) F_i "definites" sobre Σ . En forma simbòlica, $F_i: \Sigma \rightarrow R$, on la fletxa indica l'aplicació i R és un segment de la recta real. Suposarem també que cada una de les funcions F_i sigui fonamental, en el sentit que no pugui ser definida en funció d'altres funcions de la mateixa família, si bé pugui estar lligada a qualsevol altra. Recordem la diferència entre relacions funcionals i definicions. Amb aquesta intenció, l'amplitud i la fase d'una funció complexa seran considerades com dos funcions independents i cada component d'un tensor serà considerat com una funció de Σ . Exemple: tots els gasos perfectes, de massa i composició química donades, són, des del punt de vista macroscòpic, caracteritzats per tres funcions definides del seu conjunt Σ , el volum V , la pressió interna p i la temperatura T . Totes les altres propietats dels membres de Σ poden ser representades mitjançant funcions d'aquestes funcions, que per aquest motiu reben el nom de fonamentals.

Un estat, o condició, S d'un sistema σ o d'una classe Σ donada estarà representat per una n -pla ordenada de valors (o d'autovalors) de totes les n funcions (o operadors) fonamentals F_i que caracteritzen Σ . (En general una tal n -pla caracteritzarà tan sols l'estat d'un punt del sistema). Dos estats S i S^* d'un mateix sistema, són diversos si i tan sols si, les n -plas corresponents difereixen per almenys una coordenada. Per exemple, l'estat d'un gas perfecte de massa i composició química donades, està representat per una terna ordenada, de valors de V , p i T , calculats sobre σ , és a dir: $S \hat{=} V(\sigma), p(\sigma), T(\sigma)$, on $\hat{=}$ denota la relació semàntica "està representat per".

El conjunt de tots els valors possibles de les funcions fonamentals d'un sistema σ , constitueix l'espai dels estats $S(\sigma)$ de σ . En el cas d'un gas ideal, l'espai dels estats és el conjunt de totes les ternes de valors de les variables d'estat, és a dir, el producte cartesià dels dominis de les tres coordenades termodinàmiques. Si bé se suposa que cada estat pugui ésser representat per una n-pla de valors, no és veritat tanmateix la viceversa: no tots els punts de l'espai cartesià R^n representen possibles estats. En conseqüència, l'espai dels estats és un sub-espai de l'espai R^n .

Un esdeveniment o succés, que afecti a un sistema σ (simple o complex) és un canvi d'estat qualsevol en l'estat de σ . En altres termes, un succés e , que afecta σ pot ésser representat mitjançant un parell ordonat d'estats diversos de σ : $e \langle S_{\sigma i}, S_{\sigma f} \rangle$, on $S_{\sigma i}$ i $S_{\sigma f}$ són punts diversos de l'espai $S(\sigma)$ dels estats de σ . En conseqüència, cada succés pot ser considerat com un segment orientat en $S(\sigma)$. La transformació idèntica $S_{\sigma i} \rightarrow S_{\sigma i}$ és un no succés; en altres paraules una condició persistent no és un succés. Per tal que dos successos siguin diferents és necessari i suficient que els parells de valors que li corresponen siguin diferents en almenys una coordenada. A menys que el temps no figuri entre les funcions fonamentals que caracteritzen la classe del sistema, dos esdeveniments que afectin un individu (simple o complex) de la classe Σ seran idèntics si, i tan sols si estan representats per la mateixa parella d'estats, qualsevol sigui el temps en el qual es realitzen. El conjunt dels successos possibles que afectin σ i la col·lecció de totes les parelles ordenades dels punts de l'espai dels estats, és a dir, $E(\sigma) = S(\sigma) \times S(\sigma)$. El conjunt $E(\sigma)$ és un espai vectorial real de $2n$ dimensions.

Cada espai de successos pot ser analitzat en un cert nombre de sub-espais, cada un dels quals representen tots els possibles esdeveniments de una classe. Per exemple, els canvis de temperatura formen una classe de successos.

Tanmateix, per causa de les relacions funcionals que hi ha entre la temperatura i certes altres variables, no existeix un canvi pur de temperatura. El conjunt dels successos que afecten σ està caracteritzat per canvis en cada un dels membres d'un sub-conjunt $A(\Sigma) \subset P(\Sigma)$ del conjunt de les propietats fonamentals per ser anomenat conjunt dels successos de la classe E_A .

Així, $E_A(\Sigma)$ i $E_A(\Sigma')$ denoten dos conjunts de successos possibles de classes diverses, que afecten respectivament els sistemes Σ i Σ' .

7.02 CONJUNCIÓ DE SUCCESSOS

Analitzem en primer lloc, la idea de dos esdeveniments que es produeixen simultàniament, sigui en el mateix lloc i en el mateix temps o bé no, sigui invariablement o sigui amb freqüència constant.

Direm que, dos successos e_σ i $e'_{\sigma'}$ que afecten les coses σ i σ' (no necessàriament diferents) estan invariablement conjuntats si, i tan sols si cada vegada que es verifica e_σ també es verifica $e'_{\sigma'}$ i viceversa.

En resum:

$$(2.1) \quad \int (e_\sigma \cdot e'_{\sigma'}) = d f (\exists S_{\sigma i})_s (\exists S_{\sigma'})_s \hat{=} (S_{\sigma i}, S_{\sigma'}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (\exists S_{\sigma' i'})_s \cdot (S_{\sigma' f'})_{s'} \cdot (e'_{\sigma'} \hat{=} \langle S_{\sigma' i'}, S_{\sigma'} \rangle)$$

Evidentment, cada conjunt està conjuntat amb sí mateix i a més la relació de conjunció és reflexiva i simétrica.

Això ja és prou per demostrar que l'anàlisi de la causalitat com a conjunció constant és falsa. En efecte, la relació causal, si bé és transitiva, no és reflexiva i és antisimètrica.

Considerem ara dos classes E_A i $E_{A'}$ de successos que afectin sistemes de qualsevol tipus, per exemple, la classe dels llamps i la classe dels trons. Es dirà que aquestes classes són invariablement conjuntes, si cada membre e de E_A té almenys, un corresponent e' en $E_{A'}$ y viceversa, de tal manera que cada parell $\langle e, e' \rangle \in E_A \times E_{A'}$ estigui invariablement conjuntat.

$$J(E_A, E_{A'}) = \text{df}(\exists e \in E_A (\exists e' \in E_{A'} J(e, e')) \& (\exists e' \in E_{A'} (\exists e \in E_A J(e, e')))$$

(2.2)

$$J(e', e)$$

El principi de conjunció invariable pot ser interpretat llavors com l'afirmació de que, per cada classe de successos E_A , existeix una altra classe $E_{A'} \neq E_A$ tal, que E_A y $E_{A'}$ siguin invariablement conjuntes.

$$(2.3) \quad (A_p(\Sigma) \{ E_A(\Sigma) \neq \emptyset \Rightarrow (J_{A'})_{p(\Sigma')} [A \neq A' \& E_{A'}(\Sigma') \neq \emptyset \& J(E_A, E_{A'})] \})$$

Una idea més refinada sobre la conjunció d'esdeveniments és la conjunció estocàstica. Es pot dir que dos successos estan invariablement conjuntats si i tan sols si la seva probabilitat conjunta no és nul·la.

$$(2.4) \quad SJ(ee') = df(\exists p)_R [P_r(e \& e') = p > 0]$$

Això pot succeir tan sols quan les probabilitats individuals de e i de e' són diferents de zero. En un "univers" amb un petit nombre d'objectes independents, com per exemple un grapat de daus, tots els esdeveniments estan lligats estocàsticament. Però aquesta relació esdevindrà més feble a mesura que el nombre dels objectes augmenti. En l'univers real, la probabilitat, o més aviat la diferència entre la probabilitat real i la calculada, suposant els objectes totalment independents, mesurarà la intensitat de la connexió estocàstica.

Cas particular: si $p=1$, llavors e' es verificarà cada vegada que es verifiqui e i viceversa. En altres paraules si $p=1$, llavors $SJ=J$.

Dos classes d'esdeveniments E_A i $E_{A'}$ es dirà que estan estocàsticament conjuntats si cada membre e de E_A té almenys, un corresponent e' en $E_{A'}$, i viceversa, de manera tal que cada parell $\langle e, e' \rangle \in E_A \times E_{A'}$ estigui estocàsticament conjuntat

$$(2.5) \quad SJ(E_A, E_{A'}) = df(e)E_A (\exists e')E_{A'} SJ(e, e') \& (e')E_{A'} (\exists e)E_A SJ(e', e)$$

Quan no hi ha teories que permetin calcular la probabilitat s'utilitzen o les freqüències relatives o coeficients de correlació. Però en aquest cas, és a dir, quan hom s'ha de limitar a casos empírics sense poder analitzar el mecanisme dels esdeveniments, no es podrà afirmar que dues classes molt fortament conjuntes ho

El principi de conjunció estocàstica afirma que per cada classe de successos E_A existeix una altra classe $E_{A'} \neq E_A$, tal que E_A i $E_{A'}$ siguin automàticament conjuntes.

$$(2.6) \quad (A)_{P(\Sigma)} \{ E_A(\Sigma) \neq \emptyset \Rightarrow (\exists A')_{P(\Sigma')} [A' \neq A \& E_{A'}(\Sigma') \neq \emptyset \& S \mathcal{J}(E_A, E_{A'})] \}$$

Finalment, es dirà que dues classes de successos estan regularment conjuntes si, i tan sols si, són conjuntes invariablement o estocàstica. I el principi general de conjunció regular podrà ser enunciat així: donada una classe qualsevol de successos, existeix una altra classe de successos diversa de la primera i regularment conjunta amb ella.

Fins ara no s'ha dit res sobre la relació temporal entre successos, ni sobre la manera en què aquests són connexes.

Una conjunció que no fos regular (invariable o estocàstica) s'anomenaria accidental. Però les conjuncions merament accidentals són segurament irregulars; no tenen ni tan sols una probabilitat constant, si bé poden mostrar una freqüència relativa constant a curt termini. En qualsevol cas, la ciència teòrica s'ocupa poc del succés considerat com una totalitat, pel que serà útil passar ara a la conjunció de les propietats.

7.03. CONJUNCIÓ DE PROPIETATS

Sigui Σ un conjunt de sistemes, cada un dels quals serà tractat com una unitat, si bé pugui ser molt complexe. Siguin F_1 i F_2 dues funcions definides sobre Σ que representen respectivament, propietats P_1 i P_2 de un qualsevol $\sigma \in \Sigma$, o sigui $F_1: \Sigma \rightarrow X, F_2: \Sigma \rightarrow Y$ amb

$$(3.1) \quad F_i \hat{=} P_i \quad i = 1, 2 \quad X, Y \in R$$

Per exemple, P_1 pot ser el volum i P_2 l'agitació tèrmica d'un cos. Llavors $x \in X$ serà un valor del volum i $y \in Y$ un valor de la temperatura d'aquest cos.

Direm que les propietats P_1 i P_2 són concomitants, o simplement conjuntes, si, i tan sols si els valors x de F_1 i y de F_2 en el punt σ es troben en relació funcional. En altres paraules, P_1 i P_2 són anomenades simplement conjuntes si existeix una tercera funció G tal que per un σ fixe, però qualsevol, $y=G(x)$.

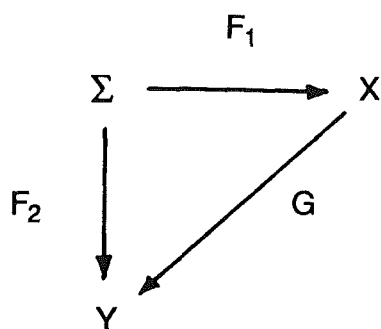
I breument, si:

$$F_1 \hat{=} P_1 \ \& \ F_2 \hat{=} P_2 \ \& \ F_1: \Sigma \rightarrow X \ \& \ F_2: \Sigma \rightarrow Y \ \& \ X, Y \in R,$$

llavors

$$(3.2) \quad C(P_1, P_2) = \text{df } (\exists G)(G: X \rightarrow Y)$$

tal que el següent diagrama:



sigui commutatiu.

Per exemple: La massa i l'energia d'un cos són simplement conjuntes. En virtut d'aquest lligam funcional, la determinació (en el sentit de coneixement) d'una d'elles ens permetrà de determinar (calcular) l'altra.

És a dir que, donat (conegut o hipotitzat) un valor $x \in X$ de F_1 , la funció G ens permetrà de calcular o determinar el valor corresponent $y = G(x)$ de P_2 . És aquest el motiu pel qual es diu correntment que P_1 determina P_2 . Però aquesta expressió és enganyosa o desviadora puig que una dependència funcional de P_2 respecte a P_1 no és suficient per concluir la preeminència de P_1 sobre P_2 . En efecte, en la major part dels casos, la funció G posseeix una inversa en un cert domini, de tal manera que en aquest domini $x = G^{-1}(y)$. Aquesta determinació és doncs purament epistemològica, és a dir consisteix en una inferència d'un fragment d'informació a un altre: no té contrapartida òntica més enllà de la conjunció.

Les coses canvien quan les propietats conjuntes pertanyen a nivells d'organització diferents, com per exemple l'atòmic i el molecular. En la major part dels casos, si P_1 pertany a un nivell d'organització inferior al de P_2 , llavors: si P_1 i P_2 són conjuntes, P_1 determina P_2 però no viceversa. En qualsevol cas, si dues propietats que pertanyen a nivells d'organització diversos són regularment

conjunctes, llavors, una determinarà l'altra en el sentit en que el determinant pot existir sense el determinat però no a viceversa.

En la majoria dels casos, la conjunció lliga més de dues propietats; en conseqüència les relacions funcionals fan intervenir més de dues variables. En tots els casos la relació funcional, en sí mateixa, podrà ser anomenada enunciat de llei a condició que estigui permanentment confirmada i pertanyi a un sistema teòric. D'altra manera es tractarà d'una hipòtesi sense fonament empíric o teòric.

Dos o més propietats poden ser conjunctes d'una altra manera, és a dir estocàsticament. Això succeirà quan un valor $x \in X$ de F_1 determini no el valor $y \in Y$ de F_2 , sinó la probabilitat que Y es trobi en un cert interval Y_1, Y_2 . Direm que les propietats representades per F_1 i F_2 són estocàsticament conjunctes si, i tan sols si els valors de F_1 estan funcionalment lligats a les probabilitats dels valors de F_2 , és a dir, si existeix una tercera funció G tal que

$$P_r (y \in [y_1, y_2]) = G(x),$$

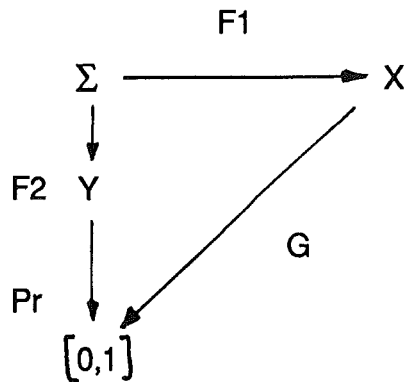
on P_r satisfà els axiomes del càlcul de probabilitats. O sigui, si:

$$F_1 \cong P_1 \& F_2 \cong P_2 \& F_1: \Sigma \rightarrow X \& F_2: \Sigma \rightarrow Y \& X, Y \subset R$$

llavors

$$(3.3) \quad SC(P_1, P_2) =_{df} (\exists G) [G: X \rightarrow P_r(Y)]$$

tal que el següent diagrama



sigui commutatiu

En general, sigui per la conjunció simple, sigui per la conjunció estocàstica de propietats, G serà una funcional més aviat que una funció. En el cas més simple, els valors de F_1 i F_2 dependran d'un sol paràmetre τ , que s'interpreta acostumadament com el temps. En aquest cas, la conjunció de propietats assumeix una de les formes

$$(3.4) \quad \left. \begin{array}{l} y(t) \\ P_r(y(t) \in Y_1, Y_2) \end{array} \right\} = G \left[X(\tau) \right]_{\tau=t_0}^{\tau=t}$$

Especialment, la dependència funcional podrà prendre la forma:

$$(3.5) \quad G[x(\tau)]_{\tau=t_0}^{\tau=t} = \int_{t_0}^t T(\tau, t) H[x(\tau)]$$

El conjunt dels valors $\{x(\tau)\}$ és la història del sistema pel que fa a la seva propietat F_1 .

Fins ara, les funcions i funcionals que intervenen en la conjunció, simple o estocàstica, representaven propietats correlacionades de un sistema de una classe dada, sistema que pot ser simple o complex però que, en qualsevol cas, és tractat en bloc, menys en el cas de propietats pertanyents a nivells d'organització diversos.

No s'ha parlat de determinació d'una propietat per part d'una altra, més tan sols de solidaritat (invariable o estocàstica) entre propietats d'un mateix sistema.

És clar que no és possible cap relació causal entre propietats o entre estats d'una mateixa cosa. En altres paraules, ens hem ocupat fins ara dels aspectes d'una mateixa cosa que estan connectats entre ells. La hipòtesi segons la qual cada aspecte d'un sistema és solidari amb almenys un altre dels seus aspectes és un principi metafísic en el que es recolza la recerca científica.

El principi de conjunció regular de les propietats afirma que cada funció ("variable") que caracteritza qualsevol sistema és conjunta amb almenys una altra funció del mateix sistema, o invariablement (conjunció simple), o en un percentatge constant de casos (estocàsticament). És a dir

$$(3.6) \quad (\sigma) \sum (i) N \left\{ F_1 \hat{=} P_i \Rightarrow (\exists j) N [(P_i, P_j) \vee SC (P_i, P_j)] \right\}$$

Si no es cregués en aquest principi metafísic ni tan sols es cercarien relacions entre les propietats. I si aquesta recerca fos estèril, no s'hauria de creure en aquest principi.

Una metafísica és científica en la mesura en que els seus principis (hipòtesis) són útils per a la recerca de la veritat mitjançant els mètodes de la ciència.

7.04 DETERMINACIÓ DEL PRESENT PER PART DEL PASSAT

Considerem les expressions (3.4) i (3.5). Si interpretem τ i t com a expressions del temps (o millor, del valor de la funció duració) i si s'afegeix la condició $t_0 \leq t$, llavors aquestes fórmules ens diuen quel valor F_2 en el temps t (o bé la probabilitat que, en el temps t , Y es trobi en un interval donat) resulta de la història del sistema entre t_0 i t pel que fa a la seva propietat P_1 . (L'acció instantània estarà representada per l'elecció

$$H x(\tau) = \delta(\tau-t) \qquad \text{en (3.5)}$$

Cada vegada que la dependència de P_2 respecte a P_1 és no anticipada o retardada, es dirà que s'ha satisfet el principi de l'acció retardada, o principi d'antecedència.

La fórmula 3.4 ens proporciona una forma general d'aquest principi a condició que τ i t s'interpretin com a temps:

$$(4.1) \quad \left. \begin{array}{l} y_t \\ P_r(y(t) \in y_1, y_2) \end{array} \right\} = \int_{\tau=-\infty}^{\tau=t} G[x(\tau)]$$

I especialment, la dependència del present respecte al passat podrà prendre la forma:

$$(4.2) \quad \left. \begin{array}{l} y_t \\ P_r(y(t) \in y_1, y_2) \end{array} \right\} = \int_{-\infty}^t d\tau T(\tau, t) H[x(\tau)]$$

La generalització d'aquesta fórmula a l'espai-temps és immediata si bé ara no ens interessa.

En la física contemporània, en particular en la teoria de la dispersió, certes formes específiques del principi de l'acció retardada són anomenades relacions o condicions de causalitat. Aquesta denominació és inadequada puig que el principi d'acció retardada afirma que tan sols certes variables són conjuntes de manera tal a prendre els seus valors respectius una darrera l'altra. El principi s'aplica no tan sols a relacions d'entrada-sortida, més també a certes parelles de funcions que representen aspectes diversos d'un mateix sistema i per tant a situacions en les que no hi ha entrada ni sortida.

Tots els sistemes físics semblen satisfer el principi d'acció retardada.

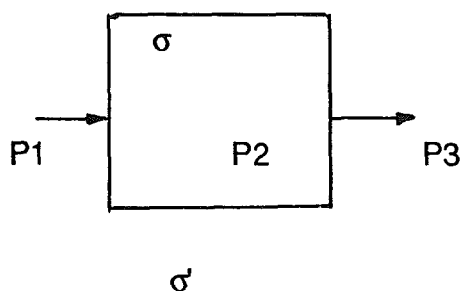
7.05. DETERMINACIÓ D'UNA COSA PER PART D'UNA ALTRA

Fins ara hem tractat dels sistemes en bloc, analitzant les propietats que s'acompanyen unes a les altres. Veurem ara els sistemes amb diversos components. Actuant les unes sobre les altres, les diverses parts d'un sistema complexa podran, en certa mesura, determinar-se recíprocament.

Suposarem que un sistema complexa pugui ser analitzat en funció de parelles de parts que siguin interactives, per exemple, un eix qualsevol i els coixinets que el suporten. Siguin σ i σ' dos dels tals subsistemes o components que pertanyin a la mateixa classe o a classes diferents. En especial, σ' pot ser el medi que envolta el sistema σ o sobre el qual es posa l'atenció. Per exemple, una màquina i el que l'envolta.

Els nostres subjectes d'estudi són doncs, el sistema individual σ del qual tractarem les parelles ordenades (σ, σ') i (σ', σ) o, en general, els conjunts $\Sigma, \Sigma \times \Sigma'$ i $\Sigma' \times \Sigma$.

Per fixar les idees imaginem σ com una caixa negra immersida en un fluid σ' :



Suposem també que cada una de les funcions (o operadors) F_1 , F_2 o F_3 representi una propietat fonamental respectivament de σ $(\sigma', \sigma): F_i \cong P_i, i=1,2,3$. En especial F_1 i F_3 podran representar la mateixa propietat, per exemple una força o una intensitat lluminosa. Si es tracta d'un sistema i del medi que l'envolta, P_1 , serà l'entrada estímulo o pertorbació de σ' sobre σ i P_2 una variable d'estat del sistema σ , i P_3 , la sortida o resposta de σ a σ' . Si el sistema σ és lliure o gairebé (cap entrada), llavors o σ' no actua sobre σ o bé no existeix. En fi simplificant l'anàlisi fins el punt (inversemblant) en el que sigui suficient considerar tan sols ternes de propietats.

Aquesta és, naturalment, una ficció amb l'objecte d'aconseguir una major claredat.

Les nostres funcions F_i ($i=1,2,3$) no són exactament les que havíem introduït en el paràgraf 3; en efecte, hi ha ara dues variables de sistema σ i σ' i el temps. Així

$x \in X$ serà el valor de l'entrada P_1 en el punt (σ, σ') mentre que $y \in Y$ serà el valor de la propietat d'estat P_2 en el punt $\langle \sigma \rangle$ i $z \in Z$ el valor de la sortida P_3 en els punts $\langle \sigma, \sigma', t \rangle$. És a dir les nostres funcions fonamentals són ara:

$$F_1: \sum' x \sum x T \rightarrow X \quad F_2: \sum x T \rightarrow Y \quad F_3: \sum x \sum' x T \rightarrow Z,$$

on

$$(5.1) \quad F_i \hat{=} P_i \quad i = 1, 2, 3 \quad X, Y, Z, T \subset R$$

on T representa ara el conjunt de les durades. Si P_1 i P_2 són conjuntes, això significa que les entrades són aplicades sobre les sortides, de manera fixa o estocàstica, mitjançant la variable d'estat P_2 .

Els casos d'interés pràctic són el següents: acció de σ' sobre σ ó de manera equivalent, dependència de P_3 respecte a P_1 i P_2 , i interdependència de P_1 , P_2 i P_3 .

Suposarem que en els dos casos sigui satisfet el principi d'acció retardada, és a dir que l'entrada, sigui anterior o almenys, simultània a la sortida. Amb aquesta hipòtesi, l'estat $F_2(\sigma, t)$ del sistema, en un instant arbitrari t , és una funció (un funcional) dels seus estats en els temps anteriors a t , i de tot el conjunt X_0CX dels valors de les entrades x en l'interval $[t_0, t]$:

$$(5.2) \quad y = F_2(\sigma, t) = S_{\tau=t_0}^{\tau=t} [F_2(\sigma, \tau), x(\sigma', \sigma, \tau), \tau]$$

Cada equació d'aquesta forma s'anomena equació d'estat del sistema σ en el medi σ' . Exemple: sistema lineal sense memòria:

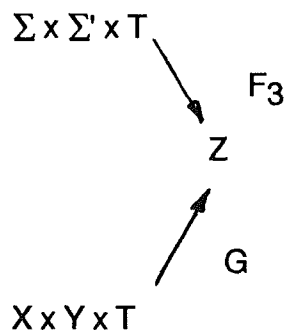
$$\frac{dy}{dt} = A(t).x(t)+B(t).y(t)$$

Si no hi ha entrades al sistema es trobarà, en cada instant, en un cert estat i els seus estats es succeiran d'acord amb l'equació d'estat. En conseqüència, l'anàlisi precedent inclou el cas dels sistemes aïllats (ausència de medi) i d'evolució espontània, acausal.

Pel que fa a les equacions d'entrada-sortida, es tenen les següents possibilitats:

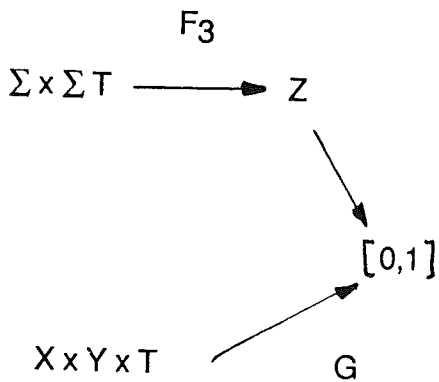
Acció simple

$$(5.3) \quad z(\sigma, \sigma', t) = \int_{z=t_0}^{z=t} G [x(\sigma', \sigma, t), y(\sigma, \tau), \tau] dt \quad t \geq t_0$$



Acció estocàstica

$$(5.4) \quad \Pr(z(\sigma, \sigma', t) \in [z_1, z_2]) = G \left[x(\sigma, \sigma', t), y(\sigma, \sigma', z) \right]_{\tau=t_0}^{\tau=t}, t \geq t_0$$

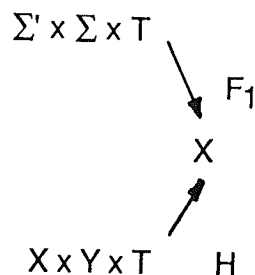
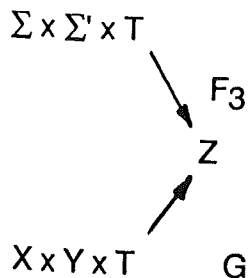


Interacció simple

$$z(\sigma, \sigma', t) = G \left[x(\sigma, \sigma', \tau), y(\sigma, \tau, z) \right]_{\tau=t_0}^{\tau=t}$$

(5.5) $t \geq t_0$

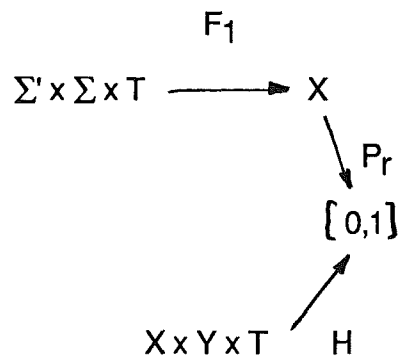
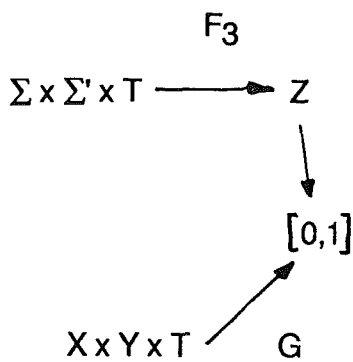
$$x(\sigma', \sigma, t) = H \left[z(\sigma, \sigma', \tau), y(\sigma, \tau, z) \right]_{\tau=t_0}^{\tau=t}$$



Interacció estocàstica

(5.6)
$$Pr(z(\sigma, \sigma', t) [z_1, z_2]) = G \left[\begin{matrix} z=t \\ x(\sigma, \sigma, \tau), y(\sigma, \tau, \tau) \\ z=t_0 \end{matrix} \right]$$

$$Pr(x(\sigma, \sigma,) X_1, X_2) = H \left[\begin{matrix} z=t \\ z(\sigma, \sigma', t), y(\sigma, \tau, \tau) \\ z=t_0 \end{matrix} \right]$$



Es notarà que en tots els casos el sistema principal, lluny de ser un canal passiu, contribueix activament als intercanvis.

7.06. TIPUS DE DETERMINACIÓ

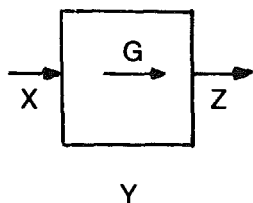
En els quatre casos precedents, els sistemes interessats estan connectats físicament i aquest és el motiu pel qual les propietats són conjunes. El viceversa, però, no és vertader: la conjunció no implica la connexió. Aquest tipus de dependència de les propietats, i en conseqüència, dels estats i dels esdeveniments és ben diferent de la solidaritat simple del paràgraf 3. Aquest tipus de dependència que va més enllà d'una relació externa, pot ser dita determinació.

Els punts comuns als quatre casos de determinació que hem vist són: per un cantó, les entrades s'apliquen sobre les sortides (connexió legal) i per l'altra, les sortides es verifiquen després de les entrades corresponents (antecedents).

Les particularitats d'aquest tipus de determinacions són les següents:

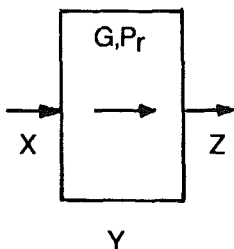
Acció simple

P_1 determina P_3 mitjançant P_2 . En conseqüència, canvis en P_1 causen canvis en P_3 .



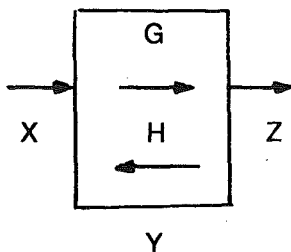
Acció estocàstica

P_1 determina per mitjà de P_2 , les probabilitats de P_3 . En conseqüència canvis de P_1 causen canvis en les probabilitats de P_2 .



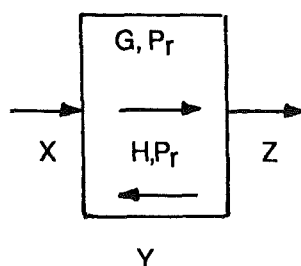
Interacció simple

P_1 i P_3 es determinen recíprocament mitjançant P_2 . En conseqüència, canvis en P_1 causen canvis en P_3 i viceversa.



Interacció estocàstica

Les probabilitats de P_1 i de P_3 es determinen recíprocament mitjançant P_2 . En conseqüència els canvis en les probabilitats de P_1 causen canvis en les probabilitats de P_2 i viceversa.



En tots aquests casos certes propietats són determinades per altres propietats de manera simple o estocàstica. (Cal dir que en aquest últim cas, les probabilitats, o més aviat les variables aleatòries, són propietats físiques i no mesures de la nostra ignorància.) Per tant cada canvi del grau de certes propietats, és a dir, un succés de qualsevol tipus produeix o efectes de la mateixa classe o, efectes d'un tipus divers del dels successos que inicien una modificació de l'estat del sistema compost sistema-medi. Les quatre relacions entrada-sortida que hem vist satisfan doncs al determinisme en el sentit estricte o neo-determinisme.

En efecte el determinisme, així afeblit, suposa tan sols:

- 1) que cada cosa i cada succés emergeixen de les condicions precedents (hipòtesi genètica)
- 2) que cada propietat està legalment conjunta a altres propietats de manera simple o estocàstica, (hipòtesi de legalitat o conjunció regular).

El nom que s'ha donat d'indeterminística per distingir una teoria que conté variables aleatòries estava justificat abans que naixés la física estadística, que té ja, més de cent anys, però ara ha esdevingut una denominació incorrecta.

L'atzar és reconegut ara com una manera objectiva de ser, i si aquesta manera de ser satisfà lleis estocàstiques i l'acció retardada (la "causalitat" dels físics contemporanis), llavors l'atzar és determinístic en sentit lat. Tan sols allò que és fora de qualsevol llei i que vé del no-res, o desapareix sense deixar senyals de cap mena mereix ésser anomenat indeterminat, perquè no és determinat ni de qualsevol altre ni de la pròpia història. Si una tal cosa existís, ella seria impenetrable a la recerca científica, que és essencialment recerca de les estructures del ser i del esdevenir, és a dir recerca de les lleis. Puig que la ciència es refusa d'acceptar l'existència d'objectes completa i definitivament refractaris al tractamen científic, ella rebutja eo ipso l'indeterminisme. La ciència és avui tan determinista com ho fou en el temps de Claude Bernard, només que ha descobert tipus de determinació que no eren coneguts abans.

7.07. LA CAUSALITAT

En tots els casos considerats fins ara, els canvis inicials determinen canvis en l'estat final d'un sistema compost. Tals esdeveniments no són simplement associats o correlacionats en el sentit del apartat 2.

En efecte, havíem suposat que cada canvi inicial produït, generat, tenia com a resultat un o varis altres canvis. Per aquest motiu aquests successos, canvis d'estat, mereixen ser anomenats causes i efectes. Per altra banda, una cosa o una propietat de una cosa no poden ser dites causes: només els canvis poden tenir una eficàcia causal.

Tanmateix, la relació entre un conjunt de causes i un conjunt d'efectes no és necessàriament causal: hi ha relacions acausals entre causa i efecte. Tan sols l'acció simple (apartats 5 i 6) pot ser considerada com a causal: els tres altres tipus de determinació són més complexes que no pas la relació causal. No es tracta ara d'una qüestió de lògica o empírica, si no de terminologia: la tradició filosòfica no anomena causal a una acció recíproca o a una relació estocàstica. Per tal que una relació entre els canvis d'una o més propietats, pugui ser anomenada causal és necessari que compleixi les condicions següents:

- C₁.** La relació ha de comprendre almenys dos sistemes diversos, el determinant i el determinat. La relació entre dues propietats del mateix sistema no és causal ni tan sols quan elles pertanyin a diversos nivells del sistema.
- C₂.** Les propietats dels successos considerats han de ser regularment conjuntes (és a dir conjuntes simplement o estocàstica). En altres paraules, les causes i els efectes han d'estar en relació legal.
- C₃.** Les accions hauran de ser retardades, és a dir, hi ha d'haver un interval de temps (positiu o nul) entre la causa i l'efecte.
- C₄.** La reacció del determinat sobre el determinant haurà de ser molt més feble de la que aquell soporta: la retroacció ha de ser menyspreable.
- C₅.** Les propietats del sistema determinat hauran de manifestar fluctuacions nul·les o menyspreables; no hi ha d'haver efectes espontanis.

A part d'aquestes condicions, les relacions causals poden prendre una d'aquestes formes:

- a) Pluralitat de les causes: un cert nombre de causes diverses poden produir alternativament, no conjuntament, un mateix efecte.
- b) Pluralitat dels efectes: una causa qualsevol pot produir, alternativament, no conjuntament, efectes diversos.
- c) Causalitat simple: correspondència biunívoca entre el conjunt de les causes i el conjunt dels efectes.

Cada un d'aquests tipus de causalitat evoca una versió d'allò que s'anomena principi de causalitat:

- a) Cada succès té almenys una causa.
- b) Cada succès té almenys un efecte.
- c) Cada succès té exactament una causa i cada causa té exactament un efecte.

Puig que la noció de probabilitat que es troba implícita en els enuncis de la causalitat múltiple és incompatible amb la necessitat expressa per la paraula "causalitat", convé limitar-se a considerar la causalitat simple. Dit d'altra manera, causalitat, en sentit estricte denota una relació física, en sentit lat, caracteritzat per les propietats C_1 i C_5 i per:

- C₆.** Les causes i els efectes han de trobar-se en correspondència biunívoca. O sigui que les aplicacions G de les entrades sobre les sortides han de ser bijectives.

7.08. EL DOMINI DE LO CAUSAL

Segons l'anàlisi precedent, la relació causal és només un entre molts altres tipus de determinació.

La idea de la causalitat, en sentit estricte, és ben anterior al naixement de la ciència moderna. La idea de conjunció sembla ser encara més antiga. La causalitat no és més que una aproximació.

Tots els sistemes reals estan sotmesos a entrades casuals, que són parcialment absorbides i no transformades fidelment en sortides també casuals. Molts sistemes presenten fluctuacions espontànies o "remors de fons" en algunes propietats. També sense excitació externa.

Tots tenen "vida" pròpia en el sentit que no han de menester excitacions externes per actuar: la idea de que res pot canviar si no és sota l'acció d'agents externs no és newtoniana sino aristotèlica.

En alguns casos hi haurà "resposta" sense estimulacions i en altres hi haurà mecanismes que absorbeixin alguns xocs procedents de l'exterior, és a dir la seva funció G aplicarà cada entrada, dins de certs límits, en el zero. En tots aquestos casos les lleis tindran un domini causal nul o menyspreable.

Però en el camp dels sistemes industrials la "vida" pròpia és més suposada que real, i les seves manifestacions pràctiques, fallades "acausals" són més producte del desconeixement de la història del sistema productiu que de fluctuacions espontànies. Com ja hem dit abans, en el sistema hi solen haver efectes ocults, d'excitacions externes que no es manifesten en el moment t , però que, amagats en ell, constitueixen una feblesa que donarà una resposta, en forma de fallada, en aquell moment de la vida del sistema en el que hi hagi conjunció propícia al canvi d'estat o fallada espontània, acausal.

S'han analitzat dos tipus de relacions físiques en sentit ampli, conjunció i determinació. La determinació pot ser del present per part del passat, d'un nivell per part d'un altre, d'una cosa per part d'una altra.

En qualsevol cas, es tracta de relacions físiques.

La causalitat se'ns apareix com una espècie molt restringida de determinisme, que no és universal.

El determinisme entès en aquest sentit és indispensable per la recerca científica i és confirmat per ella. El principi de conjunció regular o de legalitat i el principi genètic, del qual el principi d'acció retardada n'és una forma especial, no són ni il·lusions metafísiques, ni hipòtesis de laboratori, sinó pressupostos de la recerca científica.

I el principi de la causalitat, tot i essent una forma molt restringida del principi del determinisme, fa part del motor filosòfic de la recerca científica.

Cada vegada que se li confereix, dogmàticament, extensió universal, es comet un error. Però cada vegada que se l'admet en primera aproximació com a hipòtesi de treball es troba alguna cosa, potser una acausalitat que satisfagui a una forma més rica de determinació.

Essent la tècnica: aplicació de coneixements científics a la resolució de problemes pràctics, resulta que en el camp de l'enginyeria del manteniment l'única actitud positiva i creativa és l'anàlisi determinista, causal de la fallada.

I aquest és el camí que segueix la tècnica moderna, per una banda en la recerca de magnituds representatives en temps real, de l'estat del sistema, dels canvis que en elles es produeixen, i en la determinació de les causes.

L'objectiu és doncs, la determinació de la causa a partir de l'efecte. En general és impossible establir un algoritme i, precisament per això, cal desenvolupar relacions causals típiques, que puguin servir com a base per a la recerca. A la vegada, aquesta mena de relacions són el fonament que permet l'aplicació al manteniment de sistemes experts.

L'anàlisi causal ens ha de conduir a la creació de l'arbre genealògic de la fallada i consegüentment a la determinació de paràmetres d'estat i paràmetres de diagnòstic.

És evident que l'anàlisi causal presenta dificultats per l'estructura complexa, no tan sols dels sistemes, més també dels seus components.

Retornant a la qüestió principal del treball, resulta que el manteniment preventiu de base cronològica, va cercar la seva justificació teòrica en la teoria de les probabilitats, o almenys, s'ha volgut creure que era així.

El manteniment preventiu que es basa en l'estat de funcionament (el condition monitoring) es recolza en la determinació instrumental d'uns paràmetres que siguin fonamentals a manera d'una equació d'estat, i quan algun d'aquests se surt del camp de variabilitat que li ha estat assignat es posen en marxa els mecanismes de defensa siguin els que siguin, intervencions correctives, regulació de funcions, robots i intel·ligència artificial.

Però res de tot això és fàcil de realitzar sense una guia teòrica que no pot ésser la probabilista, hauria de ser causal. I per passar de la teoria a la pràctica, o per conjugar els fets reals amb la teoria per convalidar-la o corregir-la, és necessari saber com és la realitat dels sistemes dels que ens hem d'ocupar. Dit d'altra manera, no podrem aplicar cap mena de raonament lògic i creatiu als problemes de manteniment si no coneixem minuciosament els processos físics que fan possible

el funcionament correcte d'un òrgan o d'un sistema. Mitjançant aquest coneixement podrem arribar a la determinació dels paràmetres d'estat i de les causes pertorbadores, i en conseqüència a la prevenció racional de les fallades o avaries. Hem de córrer el camí des de l'efecte fins a la causa.

Els exemples que segueixen donen una idea del que hom pot trobar en aquesta tasca i de com són, certs camins per arribar fins a les causes originals.

La teoria causal dóna lloc a esquemes de pensament i d'acció que disciplinin les accions correctives i obrin camins per als mètodes de recerca i construcció lògica d'arbres de fallada.

7.09. ELS COIXINETS D'ANTIFRICCIÓ

Analitzem, per exemple, el cas d'un dels components més antics i més actuals dels sistemes mecànics, el coixinet de fricció amb lubricació hidrodinàmica. En el funcionament d'aquests coixinets hi participen, quan menys, quatre magnituds, superfície interna del coixinet, superfície de l'eix, lubricant i accions i condicions de treball i ambientals.

Superfície interna del coixinet (revestiment o dolla de metall d'antifricció)

Material

1. composició
2. resistència a les càrregues
3. ductibilitat
4. resistència a les fatigues
5. resistència a l'enferritjament
6. adaptabilitat
7. captabilitat (capacitat d'absorció de partícules estranyes)
8. resistència a la corrosió

Geometria

1. Dimensions
2. Acabament superficial
3. Forma
4. Alineament

Lubricant

1. coeficient de viscositat
2. estabilitat
3. compatibilitat
4. untuositat
5. adhesivitat
6. gruix de pel·lícula
7. additius

Accions i condicions ambientals

Aplicades

1. cicle de càrrega
2. velocitat linial
3. temperatura
4. joc
5. humitat
6. carcassa de suport
 - a) material
 - b) dimensions
 - c) alineació
 - d) deformacions
 - e) subjecció
7. refrigeració
8. contaminació (pols, etc.)
9. vibracions
10. potencial elèctric

Resultants

1. gruixos mínims pel·lícula d'oli
2. calor generat per la fricció
3. treball absorbit
4. temperatura del coixinet
5. temperatura del lubricant entrada-sortida.

Això ens dona 34 variables (la llista pot ser més llarga) cada una de les quals està sotmesa a alteracions en el curs del funcionament normal, i moltes d'elles subjectes a l'evolució de la tècnica pel que, allò que fou considerat com a bó en un cert moment, per exemple en el projecte, ja no ho és poc més tard. Vegem-ne un cas: en el camp dels motors Diesel marins, de dos temps, lents i de gran potència, l'aplicació de la sobrecàrrega, va causar fallades importants en els coixinets de l'eix, dels cigonyals i de la creuera que varen tardar en manifestar-se.

Per causa de l'augment de les tensions, generat per les altres pressions màximes del cicle tèrmic en els motors amb sobrecàrrega, per altra banda perfectament tolerables des del punt de vista de la resistència mecànica, va sorgir un fenomen fins llavors desconegut en el metall d'antifricció que produí en el revestiment o en les dolles, un canvi d'estructura molecular pel qual la superfície s'endurí de manera important i esdevingué fràgil, amb el temps, es va esmicolar i

les engrunes dures, no varen ser absorbides per la superfície endurida el que ratllà el coll del cigonyal i els eixos, amb calentaments locals, fusió del coixinet i enferritjament successiu i fallada catastròfica. Es va saber l'efecte final, però la successió de fets que conduïren a les fallades no va ser coneguda fins molt temps després. Es feren i provaren noves al·leacions i així es va posar remei a les fallades. No obstant els tècnics de manteniment dels vaixells en varen patir les conseqüències i les empreses navilières el cost dels danys. Es tractava d'un cas més d'inferència en el projecte i d'extrapolació en el càlcul.

Altra causa de fallades catastròfiques es va produir en els lubricants que, per raons desconegudes, perdien les seves propietats amb consegüent calentament i fusió dels coixinets amb fallada catastròfica. Primer es va haver de demostrar que la causa estava en el lubricant que fins llavors havia anat bé i anava bé en altres vaixells similars. Admès, amb dificultat per part dels subministradors, que l'oli es degradava varen cercar-ne la causa.

Una bona part dels problemes referents als lubricants tenen quelcom que veure amb els bacteris que es multipliquen en condicions ambientals de calor, neutres o alcalins.

Els bacteris més nombrosos són els pseudomones, també hi ha fongs en poca quantitat i tan sols en pocs casos, el bacteri dominant és l'aspergillus fumigatus, que és un organisme filamentós. Necessiten d'una "dieta" equilibrada, almenys respecte del carboni, nitrògen i fòsfor, i d'aquests elements n'hi ha sempre en els additius dels olis per a motor. L'acció d'aquests microbis en la degradació de l'oli i en els processos de corrosió es pot comprendre en la lectura dels punts següents:

1. Els productes del seu creixement poden ser corrosius, per exemple, àcids orgànics, amoníac i sulfurs d'hidrògen.

2. Disminueixen la tensió superficial i per tant estableixen l'aigua en les dispersions de l'oli.
3. Ataquen algunes molècules en l'oli de base de manera preferent i així modifiquen la viscositat i composició química de l'oli lubricant.
4. També poden atacar els additius de l'oli i disminuir la seva efectivitat.
5. Les concentracions locals dels microbis esgoten l'oxigen dels punts afectats i per aquesta causa es produeix un "picat", d'origen anòdic, electroquímic, degut al gradient d'oxigen.
6. L'existència física de masses de cèlules microscòpiques obstrueix els filtres i disminueix la secció de pas de túnels i orificis de lubricació.

En la dècada dels 70, i poc abans i després, es va notar un creixement sensible de les fallades en els sistemes de lubricació dels motors marins, a nivell internacional, i s'establí més tard que les causes es podien agrupar en set arguments principals:

1. Les lleis de protecció del medi ambient varen obligar a la utilització d'inhibidors no tòxics, en substitució dels cromats que, concentrats adequadament eren microbicides.

Els altres tipus d'additius que els substituïren foren i són, un bon suport per al desenvolupament de la població microbiana i per tant poden contaminar, i contaminen, el lubricant, quan inevitablement, es produeixen pèrdues d'aigua. Això és molt evident en els èmbols dels grans motors refrigerats per aigua.

2. També s'han imposat els olis lubricants amb additius diversos, la composició dels quals constitueix una "dieta" completa per als microorganismes procedents dels sistemes de refrigeració.
3. Per altra banda el component bàsic dels lubricants, l'oli que fou un derivat naftènic del petroli ha estat substituït per olis de la sèrie parafínica, que són menys resistents a l'atac microbià.
4. No és massa freqüent la pràctica de netejar els tancs d'oli. Si es mantenen nets com cal, poden fer funcions d'esterilitzadors.
5. També s'esdevé que s'utilitzen purificadors de l'oli de dimensions massa petites pel que no poden eliminar els microbis de manera efectiva; i és freqüent que es montin en posicions en les que no és possible accedir a les bosses d'infecció microbiana.
6. Les baixes temperatures de funcionament de les màquines lentes, comporten baixa producció de vapors el que augmenta la sensibilitat del lubricant a l'atac microbià.
7. És molt corrent que la presència i creixement d'una població de bacteris, sobre tot dels que generen sulfurs, passi desapercebuda durant molt de temps.

Tots aquests canvis i circumstàncies s'han produït de manera natural i justificada tècnicament, però a la fi han estat una bomba de rellotgeria que en esclatar va produir molts danys.

Les causes de la fallada, viatgen per senders molt estranys però sempre identificables.

En el cas de la contaminació microbiana la solució relativa ha estat la neteja freqüent dels tancs d'oli i l'anàlisi sistemàtica del lubricant ensems a la lluita per corregir les causes de contaminació. Tot plegat més feina de manteniment i més despeses per manteniment, imputables a l'evolució de la tècnica que no sempre pot pronosticar-ne les conseqüències negatives.

7.10. ELS SERVOMOTORS DEL TIMÓ

Tots els vaixells, com tots els sistemes productius específics, fan servir elements o sistemes iguals, per exemple, tots els vaixells disposen d'un sistema impulsor i d'un sistema de govern, el timó. El timó és un mecanisme relativament simple, en canvi, el que no és simple, sino complexe és el sistema que serveix per moure'l i per transmetre les instruccions de moviment adients al rumb i canvis de rumb. Aquest sistema s'anomena el servomotor del timó que ha evolucionat des de sistemes de transmissió elementals i senzills fins als actuals sistemes hidràulics (oleodinàmics) capaços de generar i transmetre l'esforç necessari per al moviment. En el Conveni Internacional per a la Seguretat de la Vida en la Mar de 1948 (SOLAS) (15) els mecanismes de moviment del timó no varen ésser inclosos; es consideraven molt fiables; per primera vegada varen ser considerats en el SOLAS de 1960 i les prescripcions que els afectaven no varen ser modificades en el SOLAS 70.

Pero en el SOLAS en 1978 varen ser incloses normes detallades i l'exigència de duplicar el sistema de control i comanament a distància sense, però canvis fonamentals en la concepció tècnica.

El desastre del petrolier, AMOCO-CADIZ, va obligar a decidir per via d'urgència normes internacionals desenvolupades per l'IMCO, per tota mena de vaixells amb especial referència als grans petrolers. Aquestes noves normes varen concentrar l'atenció en la importància de mantenir la integritat d'almenys una part

pressió el sistema pugui mantenir-se fàcilment en servei. Les noves normes consideren la conveniència de disposar d'un circuit de reserva que sigui connectat automàticament quan l'altre falli, almenys en els nous petroliers de més de 100.000 tones.

També es recomana una anàlisi de fallada rigorós de tot el sistema, no menys en el de regulació i control que en el de potència.

S'han fet importants estudis de fiabilitat, vegeu figs. 35-36-37 i també esquemes per als arbres de fallada segons les fig. 38-39 i 40 que són, conjuntament, un bon exemple de com s'ha de plantejar i resoldre la qüestió dels arbres de la fallada.

En les reunions de l'IMO (abans IMCO) International Maritime Organization (ONU) diverses nacions varen aportar dades valuoses per la delimitació dels problemes de fallada en els timons i servomotors del timó, que varen ser la base per a les normes, de compliment obligat, per al projecte i construcció de timons i servomotors. Aquestes dades poden servir, al mateix temps, com a exemple de com els problemes de manteniment han de sortir de l'àmbit de l'empresa singular, on ara estan reclosos, per a ser coneguts, discutits i valorats en institucions adequades amb la finalitat de millorar, ordenar i disciplinar, tant el projecte i construcció com el manteniment.

Un dels països, fig. 31, va presentar dades relatives als seus vaixells pel període 1970-79 que cobrien un període d'operació de 11.994 anys/vaixell, i opinava que el període durant el qual el servomotor del timó podia funcionar sense produir danys greus al vaixell era de 21 anys, opinió no convalidada pels fets, a nivell més general.

CAUSES DE FALLADES EN ELS SERVOMOTORS DE TIMÓ

Tipus de defecte	Nombre
<u>TAULA I</u> (Dades de un país sobre 11.994 hores/vaixell,de navegació)	
Ratllat de les superfícies per contaminació de l'oli	52
Defectes de muntatge.Parts fluixes o amb joc excessiu	176
Falls de coixinets.....	96
Goteix o pèrdues de fluids.....	82
Falls en les bombes	123
Falls en parts no essencials	34
Desgast en parts de vàlvules.	7
Total per 1.526 servomotors	570
<u>TAULA II</u> Resum de falls en 71 servomotors,40 vaixells	
	Nombre %
Falls purament mecànics	3 4
Falls elèctrics (bbes,motors,circuits,etc.)	5 7
Control a distància	14 20
Sistema hidràulic (pistons,cil.,bbes.,tubs,etc.)....	49 69
<u>TAULA III</u> Causes dels precedents 49 fallades	
	Nombre
Pèrdues d'oli	9
Pèrdues d'oli per l'eix de les bombes.....	12
Ratllats i friccions entre les parts de la bomba ...	7
Coixinets de les bombes	5
Acoblament del còs de bomba i amb el motor	5
Vàlvules de retenció	4
Control del grup de bombeix	2
Bomba incorrectament muntada	2
Vàlvules d'entrada o sortida	2
Filtres d'oli bruts	1
	48
<u>TAULA IV</u> Falls en servomotors, dades d'un país a partir de vaixells de més de 500 TPM.	
	Nombre
Falls totals de servomotors	24
Causes no identificades(en les proves,correctes)	18
Aire en el sistema hidràulic	8
Fall d'energia, total o parcial,.....	24
Falls en pistons i cilindres incluits obturadors d'oli	6
Falls de components del sistema de control	44
Oli fred	1
Falls en tubs (enllaços,platines,etc.)	9
Falls de motors o transmissions mecàniques	18
Falls indicador anular de posició del timó	2
	173

Fig.31

Fig.32

Fig.33

Fig.34

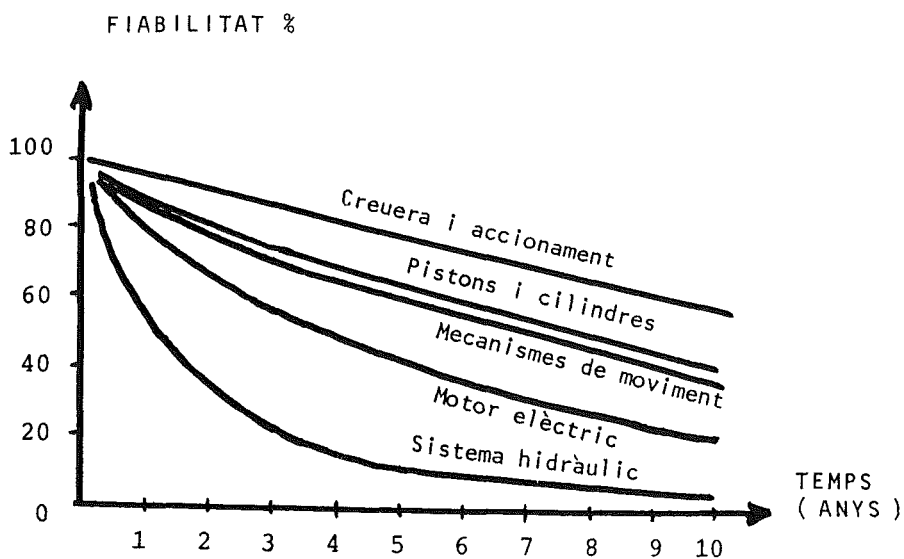


Fig. 35

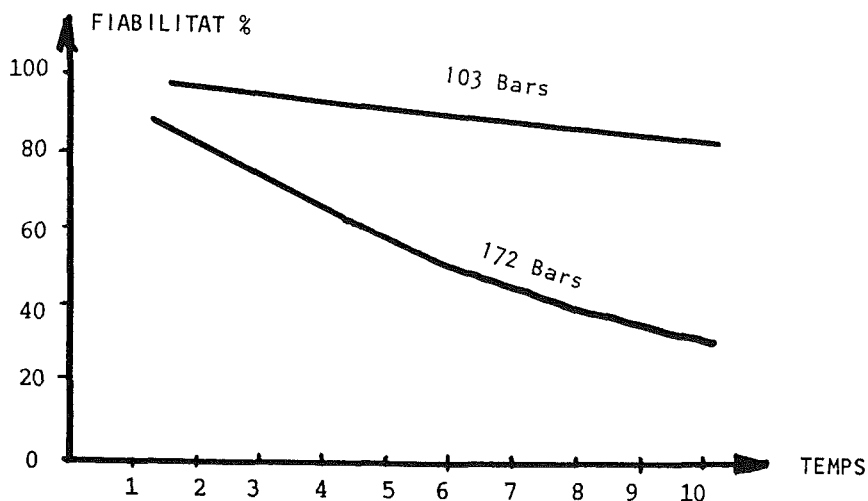


Fig. 36

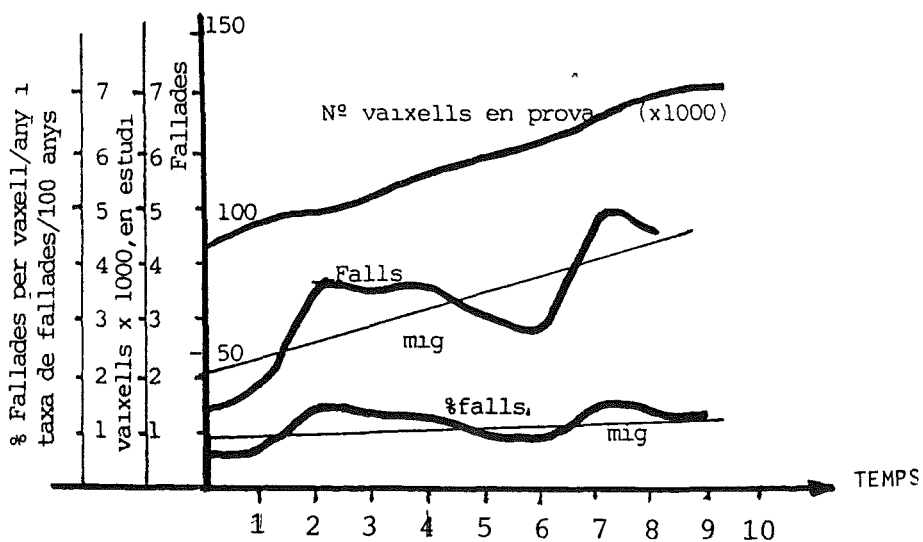


Fig. 37

Un altre estudi detallat, fig. 32 es refereix a 20 categories d'equipaments limitat a aproximadament 110 vaixells en un període de 30 mesos. El treball comprova 81 fallades, el que correspon a una fallada per vaixell cada 3 anys.

En 71% d'aquestes fallades es va recollir informació detallada en 40 vaixells que varen ser agrupats en quatre categories, fig. 32.

De les 49 fallades en els sistemes hidràulics es va trobar que 9 (18%) podien haver tingut conseqüències serioses degut a que es van produir en sistemes que disposaven només d'un sol circuit hidràulic. Els esmentats 9 casos es componen de: dos casos de pèrdua total de l'oli, quatre de pèrdua parcial de l'oli i tres casos de pèrdua significativa de l'oli. Les causes de les altres 40 fallades (algunes de les quals varen produir pèrdua de maniobrabilitat del vaixell) estan representats en la fig. 33.

Un altre país va presentar dades relatives als servomotors del timó en el període del 1972 fins al 1977, referits als vaixells propis i d'altres banderes, de 500 TPM en amunt. Les dades estan en la taula de la fig. 34; en aquest estudi aproximadament el 90% de les fallades en el servomotor del timó varen produir encallament del vaixell o col·lisió.

Les qüestions significatives eren: a) si els incidents varen derivar en pèrdua total de la capacitat del servomotor, b) si foren causats per fallada en el servomotor o en el timó i en les seves connexions i recolzament, i c).quin és el seu valor total respecte als altres tipus de fallades que deixen el vaixell al caprici de la mar?.

Diverses dades referides als vaixells per transport de gas, productes químics o petroli, a partir de 10.000 TPM cap amunt (basades en casos en els que predominen els petroliers que varen rebre assistència des de terra, segons les llistes d'accidents del Lloyds Register) en el període de 1976 fins al 1980 incluit es poden resumir així:

Fallades en els servomotors del timó	13
Fallades en el timó	17
Totes les altres fallades, per altres causes..	141

Una anàlisi que comprèn des de 1968 a 1980, inclòs, demostra que hi varen haver 31 fallades entre servomotors i timons, és a dir el 13% de totes les fallades. Un percentatge semblant, 11%, es produeix en els petrolers de més de 10.000 TPM.

Les anteriors dades sobre servomotors i timons són força coherents amb els valors estimats en els diversos països pel TMEF que són en hores: servomotors 7.200, timons i connexions 13.600, i per comparar, motors principals 7.800, àncores i molinet 1.000, compressors 1.300. Una anàlisi entre altres països amb bases diferents, permet establir uns valors relatius de la disponibilitat dels diversos sistemes entre els següents límits: servomotors del timó 94,71% fins al 99,63; motors principals entre 88,75 i el 99,14; calderes principals entre el 93,81 i el 98,74; molinets entre el 23,46 i el 94,75; compressors entre el 67,56 i el 99,88%.

Aquestes dades han estat recollides amb la finalitat de considerar la fiabilitat dels servomotors des d'una perspectiva correcta.

Com és corrent amb totes les dades, cal esbrinar acuradament, abans de treure'n conclusions, quin és el valor que cal atribuir al mètode de recollida i tractament de totes elles. És opinió de l'autor que moltes fallades que s'han resolt en la fallida total del servomotor del timó, amb la incertesa derivada per la seguretat del vaixell, no han estat declarades pels dirigents del vaixell, especialment si s'han produït en alta mar. Els informes sobre fallades en el servomotor del timó no sempre diferencien entre el tipus de fallada (per exemple, entre timó, unitats de potència, vàlvules o circuits hidràulics) ni entre el tipus de servomotor, les diferents formes de disseny.

Respecte a les diferències de disseny resulta significatiu comparar diversos models tenint en compte el nombre de servomotors d'un mateix tipus que estan en servei, els països on s'utilitzen, i també, de vegades, el constructor.

Des que els servomotors del timó d'acció hidràulica, disposen d'unitats de potència i els corresponents tubs, etc. no es pot dir que les fallades que es produeixen en aquests sistemes siguin imputables al disseny dels servomotors. La figura 35 mostra clarament com en 3 ó 4 anys de funcionament hi ha un ràpid deteriorament del sistema hidràulic. Les dades disponibles cobreixen un període de temps suficientment llarg i es corresponen indiscriminadament als dos sistemes existents de baixa i alta pressió en l'oli.

També hi ha informació suficient per comparar ambdós mètodes, fig. 36. Aquesta informació demostra que la fiabilitat del sistema hidràulic que funciona a 172 bar de pressió (incloent-hi bombes, vàlvules i tubs) és, després de 8.000 hores de funcionament, aproximadament igual a la fiabilitat del mètode a 103 bar, després de 64.000 hores de funcionament. L'anàlisi de MARAD USA PB 293066 diu:

	Vida mitjana mostra anys	Desviació típica anys	95% nivell de confiança	
			límit alt	límit baix
Braços de creuera	17,95	7,7	21,20	14,7
Tren de seguiment	10,25	8,92	14,01	6,48
Motor elèctric	5,31	5,95	7,81	2,80
Sistema hidràulic	2,00	1,56	2,66	1,35

En la fig. 36 no es diferencia entre les fallades de les bombes i les del circuit hidràulic. Algun estudi sobre el tema revela que més de les tres quartes parts de les fallades del circuit hidràulic no són degudes als components hidràulics. Les

bombes hidràuliques dels dos tipus emprats, de pistons radials o de pistons axials, són intrínsecament fiables en condicions de servei apropiades. Quan s'han produït fallades en les bombes dels circuits a alta pressió, el major factor causal ha estat la contaminació del sistema hidràulic.

Limitació dels moviments del timó

La fallada en el circuit hidràulic singular, té com a conseqüència que el timó quedi lliure de moure's sota la impulsió de les ones, en aquest cas no és possible ni reparar l'element fallit ni recarregar l'oli en el sistema; tan la creuera, com els braços i els pistons són accionats pels moviments del timó, que poden ser molt violents i produir la pràctica destrucció del sistema de moviment que continua connectat mecànicament amb el timó.

Això planteja, o ha plantejat, la qüestió de si és possible trobar alguna manera de bloquejar o frenar el moviment del timó per tal de fer possible la reparació i evitar els danys esmentats. En alguns dissenys antics, quan el servomotor del timó era una maquineta de vapor, situada a popa, sota coberta i en vaixells relativament petits, comparats amb els actuals, hi havia un sistema de fre o d'immobilització del timó que permetia reparar o bé connectar el quadrat que menava el braç del timó a un altre sistema de transmissió mecànica accionat a mà mitjançant una gran roda de timó i quadernals o amb les maquinetes de vapor de popa per a la maniobra. És clar que els esforços necessaris per moure el timó llavors, no són comparables amb els que avui han de menester els gran vaixells.

Però en les circumstàncies actuals no s'ha vist prou clara la realització d'un sistema de fre per al timó; es tracta d'una tasca que presenta moltes dificultats i incerteses, més encara si pensem en les limitacions de temps per al frenat que imposa el fet que en pocs instants el servomotor serà destruït per l'acció de la mar, per exemple, en condicions semblants a les que hi havia en l'accident de l'AMOCO CÀDIZ.

És a dir que si el fre no pot ser aplicat amb extrema rapidesa, el servomotor esdevé ràpidament irreparable.

No es té notícia que hi hagi hagut cap opinió favorable a aquest sistema entre les corporacions professionals dels enginyers marítims del conjunt de la Marina Mercant.

Tots els delegats a l'IMO varen preferir la recerca de solucions que garantissin la continuïtat de funcionament del servomotor, respecte a altres que permetien reparar-lo per mitjà de l'alternativa d'haver de frenar el timó.

Els acords que es varen aconseguir obriren el pas cap a la redacció de normes específiques per als petroliers de més de 100.000 TPM, Regles 29.16... També es varen redactar normes per als petroliers de menys de 100.000 TPM i per als vaixells no petroliers.

Anàlisi de les fallades

És corrent que el servomotor del timó de molts vaixells estigui format per un conjunt de components construïts per diferents fabricants. També és normal que hi hagi poca o cap comunicació directa entre els diversos fabricants, com a màxim la comunicació s'estableix per mitjà del constructor que fa la comanda del sistema.

És doncs difícil de veure com es pot fer l'anàlisi de la manera de fallir dels servomotors si no és mitjançant els enginyers marítims en els vaixells o a les drassanes, limitadament. Si ens trobem amb un servomotor que ha funcionat correctament durant molts anys, és raonable pensar que algú hagi realitzat alguna forma d'anàlisi de fallada prèviament a la instal·lació?. No ho és si pensem en els temps passats.

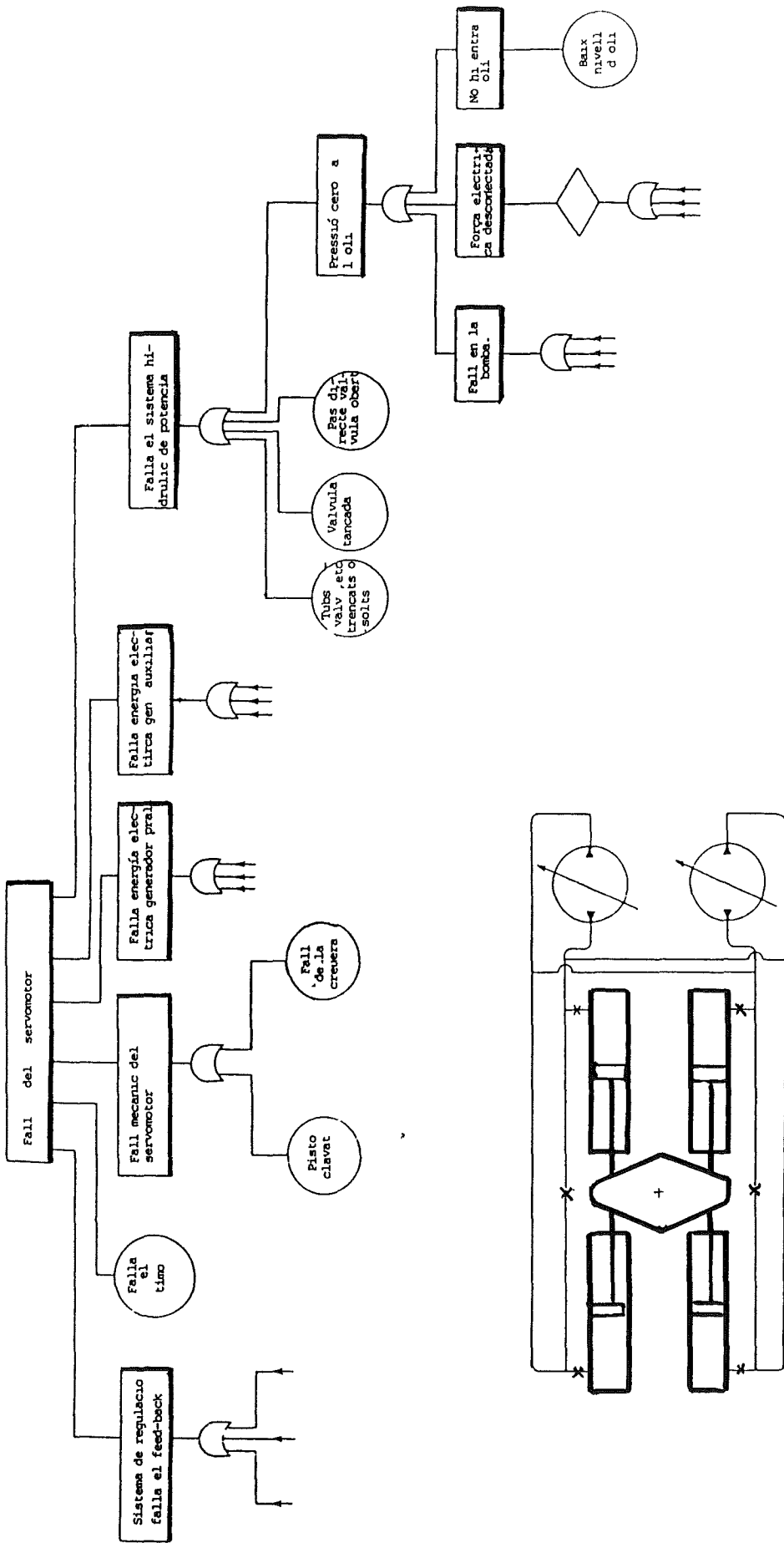
Avui dia, estan a l'abast de l'enginyer marítim diverses tècniques per estudiar la fiabilitat del sistema, una d'aquestes tècniques, l'arbre de fallades, ha estat molt utilitzada per a la comparació dels servomotors convencionals de quatre cilindres i dels del mateix tipus dissenyats d'acord amb les noves regles de l'IMO i definits per sistemes d'accionament, de potència, separats i independents.

En les figures 38 i 39 es representen unes anàlisis, incompletes, concebudes als efectes d'aquesta comparació, i en ella es pot veure que el nombre de modes de fallir que predomina entre les portes OR es redueix de 6 a 2.

Aquests milloraments són conseqüència d'haver proveït una font alternativa d'energia elèctrica, de la duplicació dels sistemes de potència i per haver separat el servomotor en dos meitats, una a babord i l'altra a estribord.

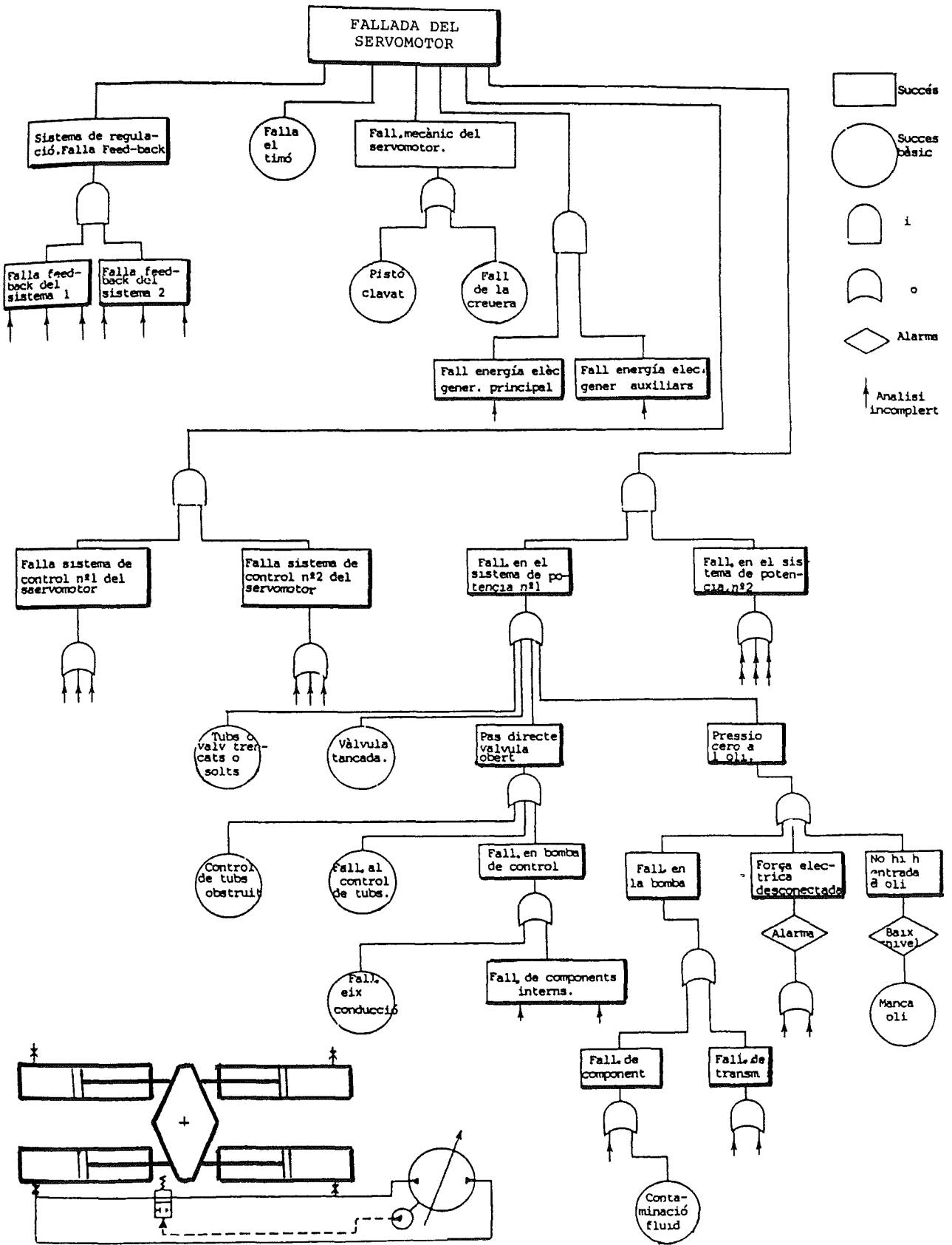
Aquesta separació permet, a la vegada una altra de semblant entre els sistemes de control i regulació. La situació comú dins del compartiment de servomotors dels dos sistemes de control permet d'evitar que cada ú hagi de tenir el seu propi sistema de feed-back.

En la fig. 37 les curves han estat dibuixades d'acord amb les dades del Lloyd's Register of Shipping. Indiquen en primera lectura que després del desastre de l'AMOCO CÀDIZ, els servomotors varen ser prou fiables. També llegint els informes sobre els últims 10 anys es comprova que hi hagueren 2.173 encallaments o col·lisions, dels quals 25 dugueren a la pèrdua total dels vaixells. Entre aquests, 9 foren deguts a les fallades en els servomotors del timó des del 16 de març de 1978, data de l'embarcament de l'AMOCO CÀDIZ. Tanmateix aquestes estadístiques necessiten molt de temps i molta més informació de la disponible, per revisar-les. Les notícies provenen de molts i molts informes que es varen fer després de l'accident del AM.-CÀDIZ i les fallades foren presentades com de nivell baix, inferior al catastròfic.



Esquema hidràulic

Fig. 38 Arbre lògic de possibles fallades d'un servomotor del timó convencional de quatre pistons.



Esquema hidràulic

Fig. 39 Àrbre lògic de possibles fallades d'un servotimó de quatre pistons, amb sistemes de potència i acció separats.

Per aquesta via molta gent ha estat induïda a pensar que les fallades de màquines principals o dels grups generadors d'electricitat eren molt més elevades. Fins i tot hi va haver qui sospitava que l'accident de l'AMOCO-CÀDIZ va ésser degut a fallada de la màquina principal i fins i tot es va establir alguna discussió sobre la major fiabilitat de sistemes d'impulsió dels grans vaixells amb dues màquines principals i dues hèlixs.

La fig. 35, indica que en el temps transcorregut fins a la primera inspecció reglamentada per les societats de classificació, L.R.S., la fiabilitat del sistema hidràulic s'ha degradat fins el 8%. Això sembla més aviat espantós, a menys que això pressuposi un valor de fiabilitat en un període en el que no hi hagi hagut vigilància de funcionament, ni inspeccions rutinàries, ni cap mena d'accions de manteniment.

La figura 40 mostra un arbre de fallada, qualitatiu, és a dir, concebut sense recórrer a bases probabilístiques i es refereix a servomotors del timó del tipus que portava l'AMOCO-CÀDIZ. En aquesta mena d'anàlisi és més ràpid, i intel·ligent anar directament cap a les parts del sistema on no hi ha duplicació d'elements, per exemple la xarxa de tubs comuna, i considerar també les causes que també tenen conseqüències comunes com és la contaminació. Aquest tipus de tècniques no eren utilitzades en el 1978, en general, però algunes empreses començaven ja llavors a emprar-les a ritme creixent.

Per cloure aquest exemple, en la figura 40 I i II, es mostren els esforços que suporta un servomotor del timó en un vaixell de 450.000 tones, petrolier, en bones i males condicions de la mar. La pressió que actua sobre els pistons dels cilindres és proporcional a l'esforç necessari per a mantenir el rumb establert i les oscil·lacions de pressió en el temps evidèncien la rapidesa en la variació de la força perturbadora que intenta apartar el vaixell del rumb. Això ajuda a comprendre perquè hi ha hagut tant d'enrenou al voltant dels servomotors del timó i perquè

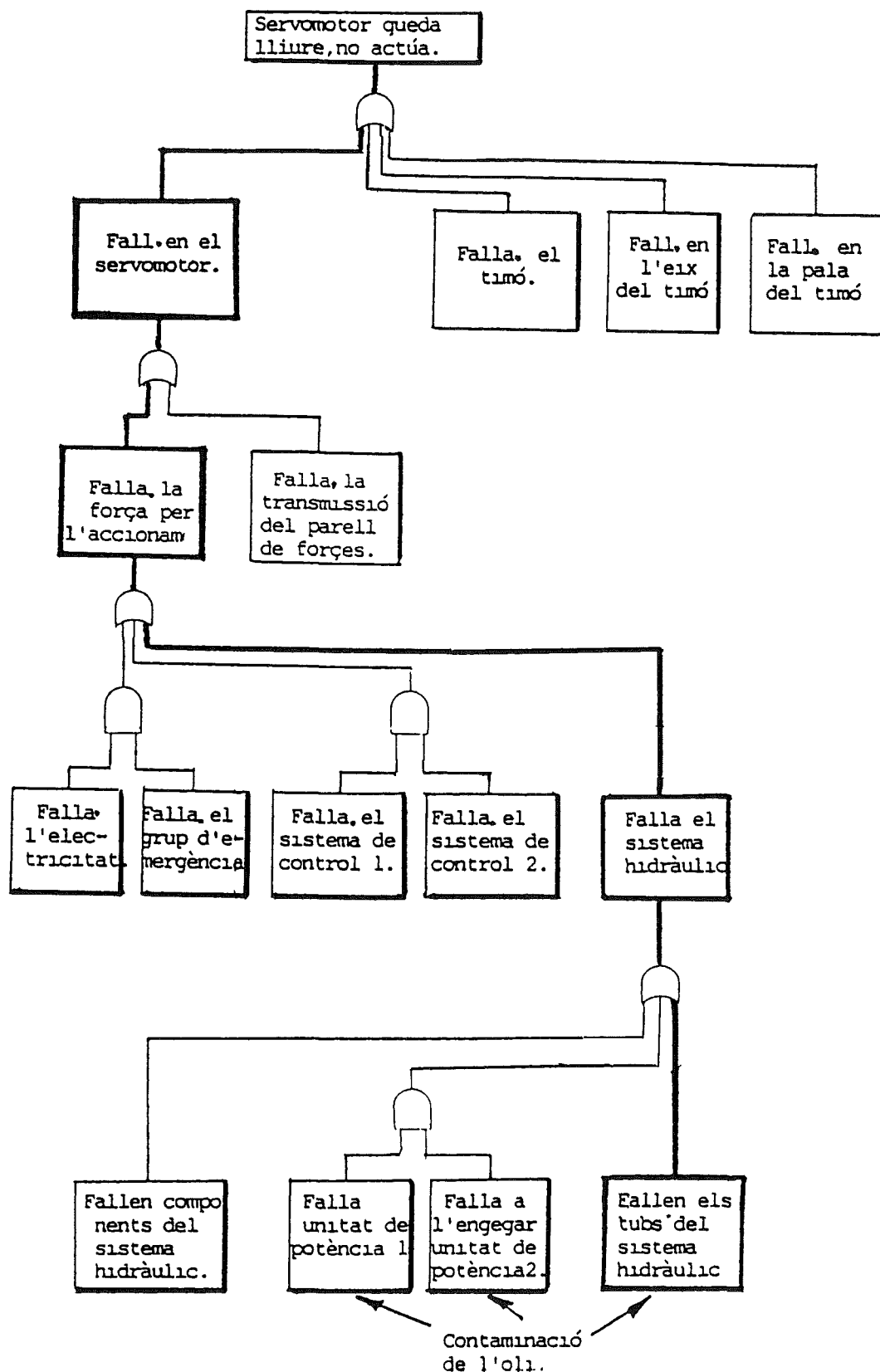


Fig. 40 Seguint de l'arbre d'una fallada

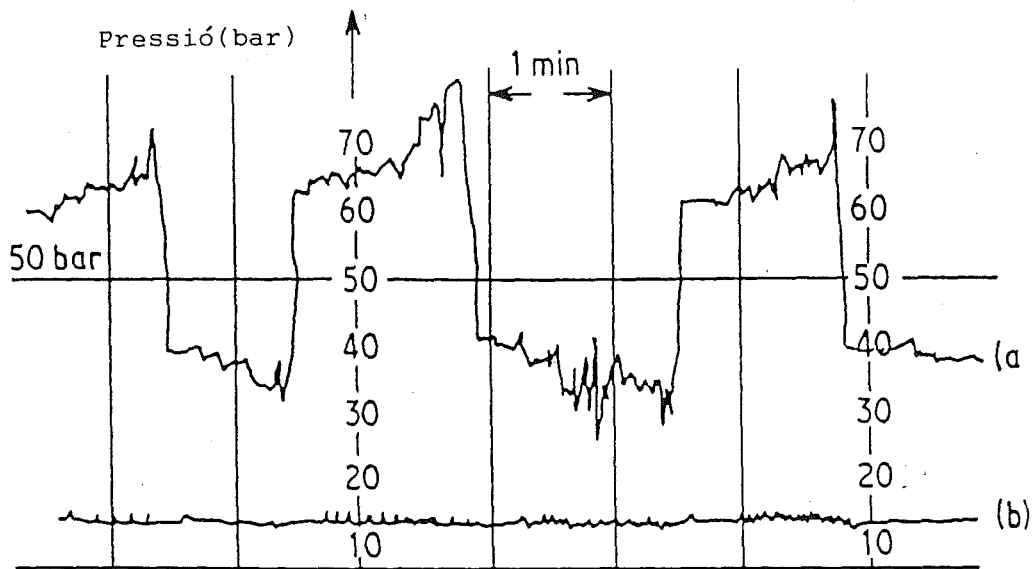


Fig. 40-I Curva de pressions en el servo
a) Babor a proa i estribor popa
b) Babor popa i estribor proa
Petrolier de 540.000 TPM.
Mar en calma. Velocitat const.

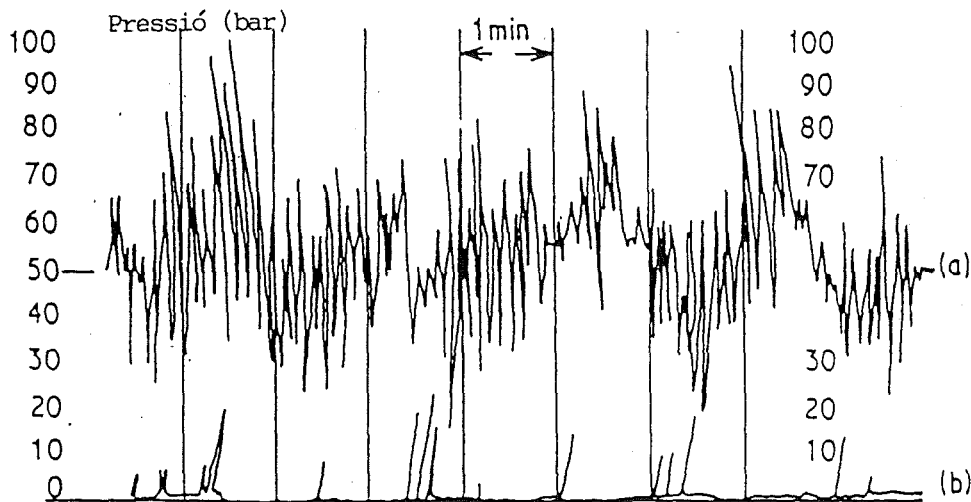


Fig. 40-II Curva de pressions en el servo
a) Babor proa i estribor popa
b) Babor popa i estribor proa
Petrolier de 540.000 TRM.
Mar força 10. Velocitat const.

s'han hagut d'establir normes molt estrictes quant a les característiques de la construcció i del funcionament. A remarcar que les normes han estat fonamentalment establertes pels usuaris i societats classificadores i s'ha aconseguit disciplinar el camp de l'oferta dels sistemes d'accionament del timó. Naturalment, si bé molt disminuït, subsisteix el perill de fallada, el risc de fallada; una bona acció de manteniment pot aconseguir que les travessies, de port a port, es portin a terme sense fallada. Aquí és important adonar-se del fet que la unitat de temps que importa en la Marina Mercant no és la cronològica, hora, setmana, any, sinó la travessia, és llavors quan no ha de produir-se la fallada.

7.11. TURBINES A VAPOR

La fig. 41 ens mostra les paletes de la turbina de baixa pressió d'un vaixell en les quals la protecció d'estel.lita es va desprendre. En un cas va ser conseqüència d'una important sobre-velocitat. En els altres tres casos la causa fou considerada un recalentament produït mentre la màquina feia marxa enrera durant massa temps.



Va succeir que a l'interior de la paleta, la cara activa, la part final de les peces d'estel.lita va agafar un cert joc, que produí la separació entre la superfície de la paleta i la del revestiment, per soldadura, d'estel.lita, i això va ser degut a la diferència entre els coeficients de dilatació entre ambdós metalls (15).

En les maniobres normals del vaixell, la temperatura del vapor a la sortida de la turbina de baixa pressió (BP) no hauria de tenir valors tan alts que produïssin el dany esmentat, però hi ha casos en els que els oficials de coberta demanen durant massa temps, la potència màxima en la marxa enrera, i això fa que s'aconsegueixin les altes temperatures que donen lloc a la fallada descrita.



Fig. 41

Les fatigues cícliques són relativament innocues sempre que es treballi a les temperatures del projecte, però poden ser danyoses si s'arriba a temperatures que es troben per damunt del límit de resistència del material, com va ser el cas de la turbina de què parlem que treballà en condicions de servei anormals. Des del punt de vista de l'usuari no es comprèn massa bé que el sistema pugui treballar en marxa enrera fins al punt de provocar fallada catastròfica. Hom es pregunta si no es pot determinar el moment en el que s'hagi de triar entre la col.lisió del vaixell i la trencada de la turbina.

En un altre cas, fig. 42, es varen produir trencaments transversals en la meitat de la llargada de les paletes de la turbina de B.P., setena fila, secció d'entrada. Les paletes varen ser construïdes d'acer al crom (13%) amb escut de protecció d'estel.lita en l'aresta d'atac. Els trencaments es varen trobar en la zona de transició en l'aresta d'entrada, entre la protecció d'estel.lita i la paleta.

Les superfícies de trencament mostraven senyals concoïdals, ondulacions esglaonades; aquestes formes de trencament s'associen normalment a les fallades per fatiga.

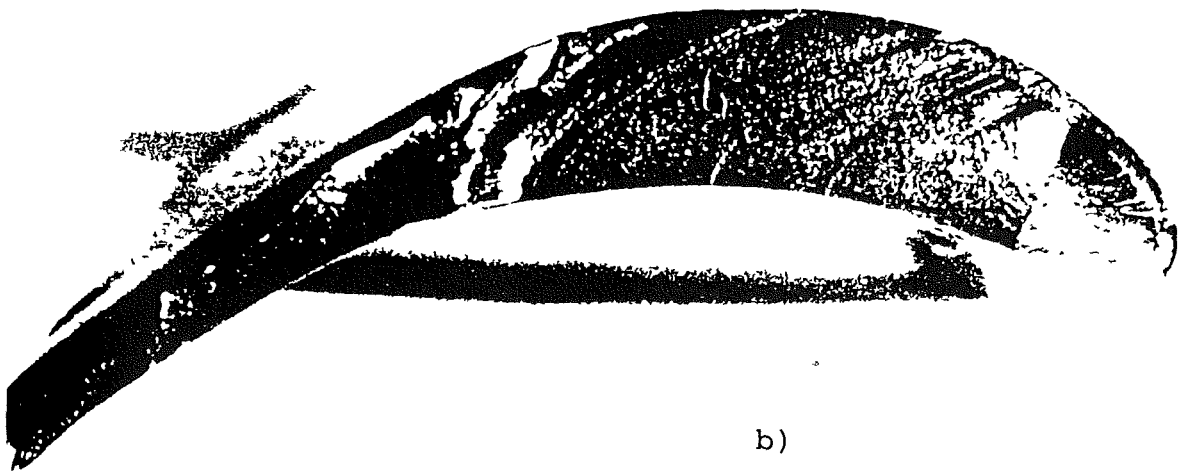


L'origen dels trencaments es trobà en la unió per soldadura en l'aresta d'atac, entre l'acer de la paleta i la protecció o escut d'estel.lita. La base de l'aresta era clarament visible en la soldadura, fig. 42 b). La inspecció amb líquids penetrants i la microscòpica, fetes en una paleta de la mateixa secció i fila, no danyada, demostraren que no hi havia penetració entre l'aresta del metall d'aportació i la superfície de la paleta, fig. 42 a).

La microestructura del metall d'aportació en la soldadura, paleta i aresta era normal. Es feren anàlisis de vibracions en màquines semblants en condicions d'excitació estàtica i mostraren que el modo principal de vibració en voladís es mantenia dins de les previsions del projecte.



a)



b)

Fig. 42

És probable que les fatigues induïdes per les vibracions, fossin augmentades per l'efecte de la concentració d'esforços produït per la manca d'unió homogènia entre l'escut d'estel.lita i l'acer de la paleta la qual cosa donaria lloc a esforços que superarien el límit resistent del material de la paleta.

Paletes: pèrdua de la llanta d'unió

En dos ocasions en tres mesos, l'enginyer cap va fer obrir la turbina de BP per inspeccionar el rotor per causa de vibracions que fóren degudes a la desaparició de la llanta d'unió de l'extrem superior de les paletes de l'últim salt de pressió, fig. 43, a).

Després del primer incident, les corones de paletes afectades, foren substituïdes per altres de recanvi. En el curs d'una acurada inspecció, després de la segona fallada es fa descobrir que en la construcció de les llantes, els orificis per l'allotjament dels pivots de fixació de les paletes, havien estat acabats amb arestes vives en la part baixa, fig 43,b) la qual cosa va donar lloc a concentració d'esforços en els pivots de les paletes en el procés de rablonat dels pivots a les llantes de fixació de les paletes.

7.12. BULÓ DE LA CREUERA, CONCENTRACIÓ DE FATIGUES

En el curs d'una inspecció periòdica, preventiva, en les creueres dels cilindres 4 i 6 es varen trobar els bulons esquerdats, tal com es veu en la fig. 44 a).

Com a elemental precaució es varen revisar les demés creueres del motor i en totes elles es va trobar el buló esquerdat, de la mateixa manera.

Aquestes esquerdes es formaren en una zona de concentració de fatiga generada pel fet que els forats de fixació dels bulons eren acabats en aresta viva,

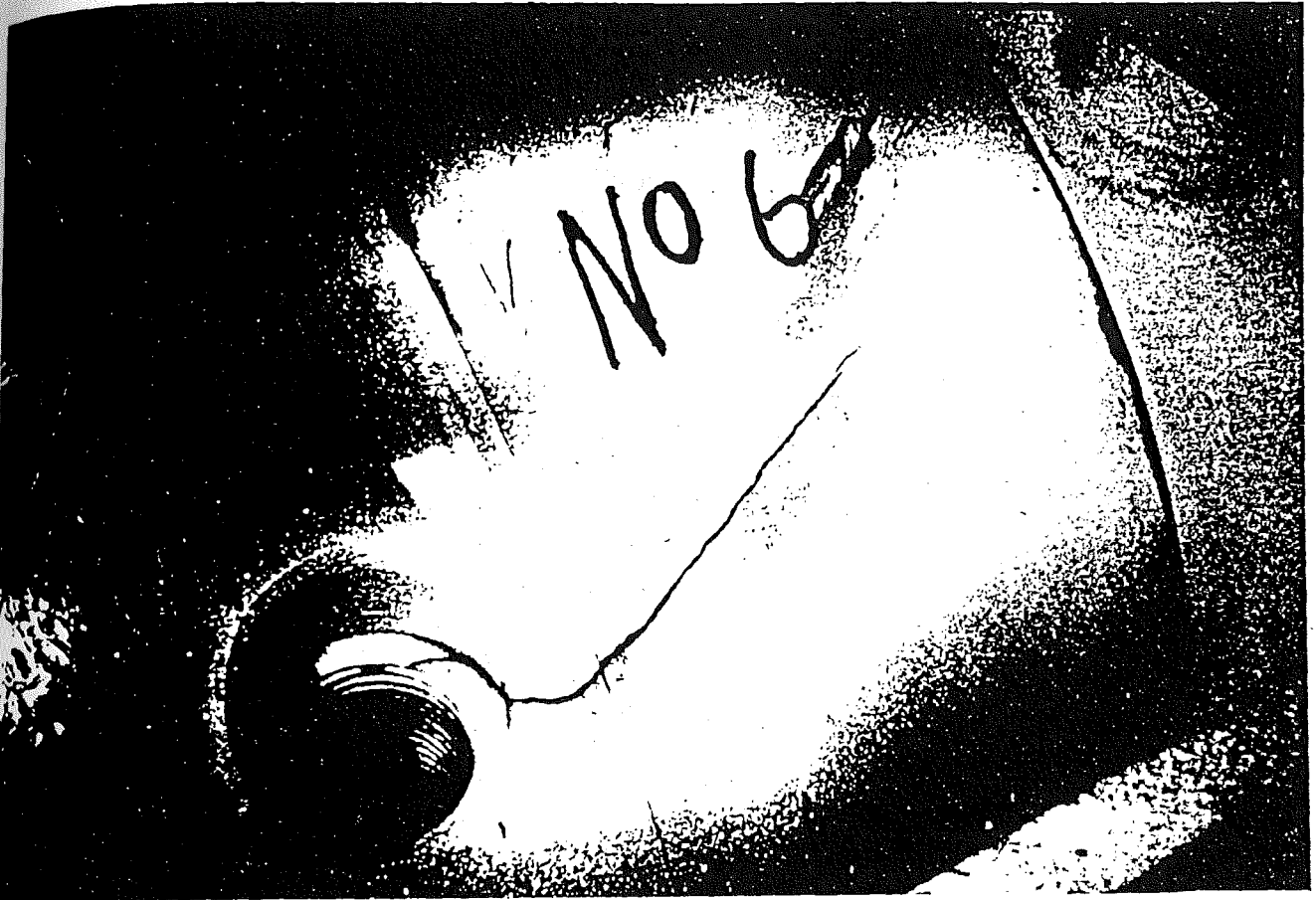


a)

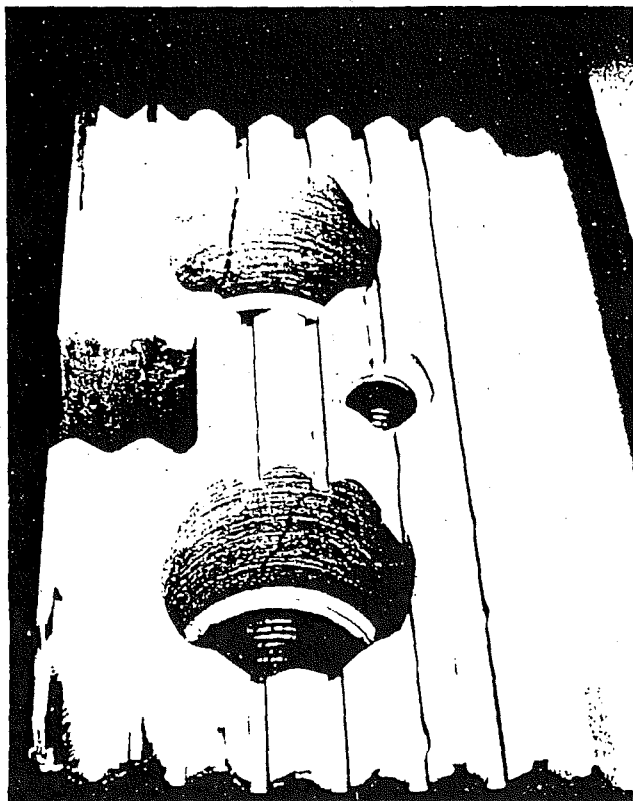


b)

Fig. 43



a)



b)

Fig. 44

l'eina emprada per fer-les no preveia la curvatura del forat en la superfície. No es va poder esbrinar si el defecte fou degut a un error en els dibuixos constructius o en la mecanització escollida pel constructor. Queda clar que el perill dels angles vius, en components sotmesos a forces importants, no va ser prou tingut en compte.

7.13. BANCADA, MOTORS DIESEL SEMI-LENTS, CONCENTRACIÓ D'ESFORÇOS.

Es tracta d'un tipus de motor semi-lent en els que varen produir-se vàries trencades en el basament de fosa gris. La superfície d'aquesta bancada presenta una mena de dentat per tal de fixar millor la carcassa dels coixinets, tal com es veu en la fig. 44, b). Va ser necessari substituir moltes bancades, el que va motivar un canvi en el projecte inicial i la fosa gris es va canviar per fosa nodular, a partir de llavors. Un cert nombre de les bancades originals varen treballar per alguns anys sense que s'hi produïssin defectes i algunes fóren modificades per tal de disminuir les fatigues en el dentat. La fosa gris té propietats mecàniques reconegudes per treballar a compressió; és barata i relativament fàcil de fondre. Tanmateix la seva estructura metal·lúrgica consisteix en formacions tridimensionals d'escates de grafit la matriu dels quals és essencialment acer. Les escates poden obrar com a concentracions de fatiga i el metall esdevé molt poc dúctil. És de remarcar que no hi ha diferència virtual entre fractures per sobreesforços, impactes o fatigues. En canvi, en la fosa nodular el grafit es presenta en forma esferoide o de rosetes en la matriu de l'acer. La fosa nodular és també relativament barata, fàcil de fondre i pot tenir propietats de ductibilitat comparable als acers estructurals.

7.14. MOTORS DIESEL LENTS DE GRAN POTÈNCIA, FALLADES EN CAMISES DE CILINDRES.

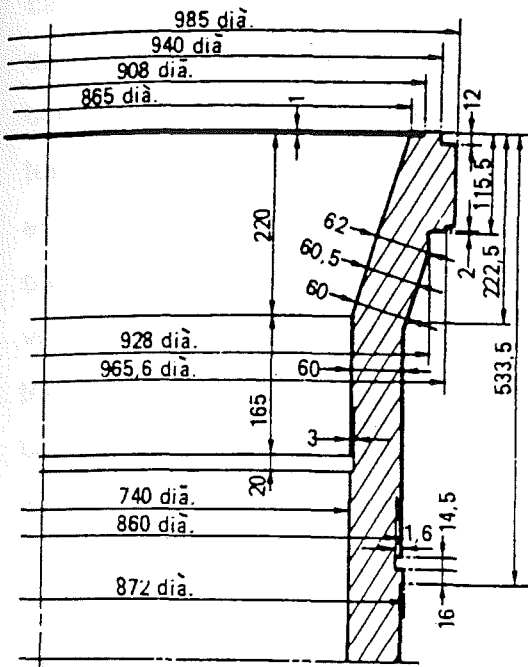
En el curs de la revisió periòdica d'un motor marí de gran potència, lent, a dos temps, es va trobar una esquerda en la part alta de la camisa; es va desmontar la camisa del cilindre i va ser sotmesa a control no destructiu, líquids penetrants; la fotografia de la fig. 45, c) ens mostra el resultat, com l'esquerda travessava la paret fins a l'exterior.

Es va considerar que fóra prudent revisar tots els cilindres del motor i es trobaren totes en les mateixes condicions, esquerdades.

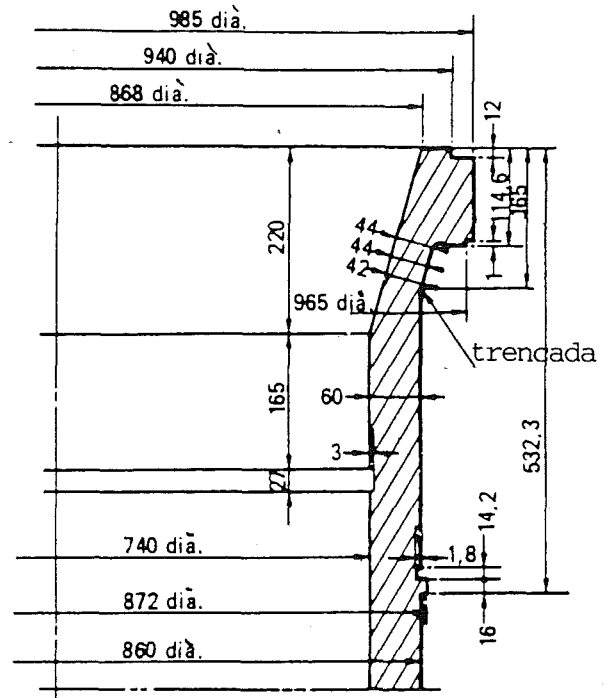
La fig. 45, b) representa la secció de les camises esquerdades i les seves dimensions han de comparar-se amb les de la camisa de recanvi.

Les camises dels cilindres es construeixen normalment en fosa gris; en aquest material, excepte en ocasions excepcionals, les fractures per impactes, tracció, o fatigues per càrregues excessives, presenten la mateixa forma de trencada. A més aquest material té una ductilitat relativament baixa i per això la possibilitat de trencar-se augmenta si el gruix de la paret es disminueix per voler rebaixar el pes.

És curiós el fet que les camises de recanvi tinguessin un gruix superior, fig. 45, a) a les originals, la qual cosa va resoldre el problema. Encara és més remarcable aquest fet posat que durant anys, els grans constructors han menat intenses campanyes per prevenir els usuaris contra la compra de peces de recanvi no originals per la seva poca fiabilitat. Aquest fet de les camises sembla demostrar que no sempre el recanvi "pirata" sigui pitjor que l'original, i de passada també ens il·lumina sobre les conseqüències de projectes on l'estalvi de pes porta a l'afebliment de les característiques resistents de components tant importants com la



a) camisa de recanvi



b) camisa original



c) Part exterior de la camisa tractada amb líquids penetrants.

fig.45

camisa, i més la seva part alta, que forma part de la cambra de combustió i ha de suportar les més altes pressions i temperatures del cicle tèrmic. Hi ha un altre component de la fatiga tèrmica en la cambra de combustió que no és tan sols la temperatura màxima del cicle i és el fet que la renovació de la càrrega energètica, essent un motor lent de dos temps, es produeix a cada volta, o sigui que, poc després de la combustió entra en el cilindre una càrrega nova d'aire comburent que ve de l'exterior del motor i es troba a temperatures molt baixes respecte de les temperatures màximes de combustió; és a dir, hi ha un xoc tèrmic continu d'altres i baixes temperatures sobre la cara interior de la camisa mentre que l'exterior treballa a un règim de temperatura constant.

La dilatació del material de camisa és superior en les capes superficials interiors que en les exteriors i en les superiors que en les inferiors. Si el projecte no considera degudament aquestes circumstàncies o en prevaleixen d'altres corresponents a una equivocada concepció "econòmica" del projecte, la probabilitat de fallada augmenta, tal com ja hem vist.

7.15. ESTAT ACTUAL DELS SINISTRES EN LA MARINA MERCANT MUNDIAL

Els casos analitzats no constitueixen excepcions, tan sols serveixen per demostrar la conveniència de l'anàlisi causal de les fallades, i també, la possibilitat que en els llocs menys sospitats de les instal·lacions marines o industrials, apareixin fallades greus que es podrien haver estalviat.

L'existència continuada d'aquesta mena de fallades, exigeix que es posi la més gran cura en evitar descuits, poca atenció i poca previsió en les diverses fases del procés que condueix fins al funcionament dels sistemes industrials, que a més, en el cas de la marina poden portar fins a conseqüències catastròfiques difícils o impossibles de remediare.

El quadre estadístic de la fig. 46, reflexa les pèrdues de vaixells, a nivell mundial, hagudes entre 1974 i 1989.

Hi va haver un fort augment dels accidents marítims en 1989: 156 vaixells amb 1.078.177 tones brutes de pèrdua total, i en termes de tonelatge un augment del 40% respecte a l'any anterior i un augment del 6% en el nombre de vaixells. D'aquests vaixells perduts, 54 ho varen ser pel mal temps (qui sap quantes fallades varen determinar la impossibilitat de capejar la mar), 20 es varen perdre per incendis o explosions (com i per què es varen produir?). Un total de 20 vaixells es varen enfonsar i foren abandonats, 18 varen varar, mentre 19 eren víctimes de col.lisions. Panamà amb 26 vaixells perduts, 143.004 t.b., continua mantenint el dubtós privilegi de tenir el més gran nombre de vaixells perduts. Tanmateix el segon, en ordre, Chipre, amb 13 vaixells perduts totalitza 342.123 tones brutes i aconsegueix la xifra prodigiosa del 32% del tonelatge perdut el 1989, inclosos tres dels quatre vaixells més grans dels que es varen perdre.

Un dels reptes més significatius de cara a la indústria dels vaixells és l'envelliment de la flota mercant mundial. Dels 156 vaixells perduts el 1989, 102 tenien 15 anys o més de vida. S'estima que en l'any 1992 el 42% de la flota mundial, comercial, tindrà més de 15 anys de vida. En el curs de la dècada passada la proporció de vaixells de més de 10 anys va oscil.lar entre el 62% i el 36%.

Durant els anys 80 la caiguda en la indústria del transport marítim, amb programes de manteniment mínims i les noves construccions amb nivells mínims d'exigència varen contribuir al problema de l'existència d'una flota amb vaixells de mínima fiabilitat.

També l'entrenament de les tripulacions va ser escurçat dràsticament durant la recessió, en el transport marítim el que va generalitzar una disminució de

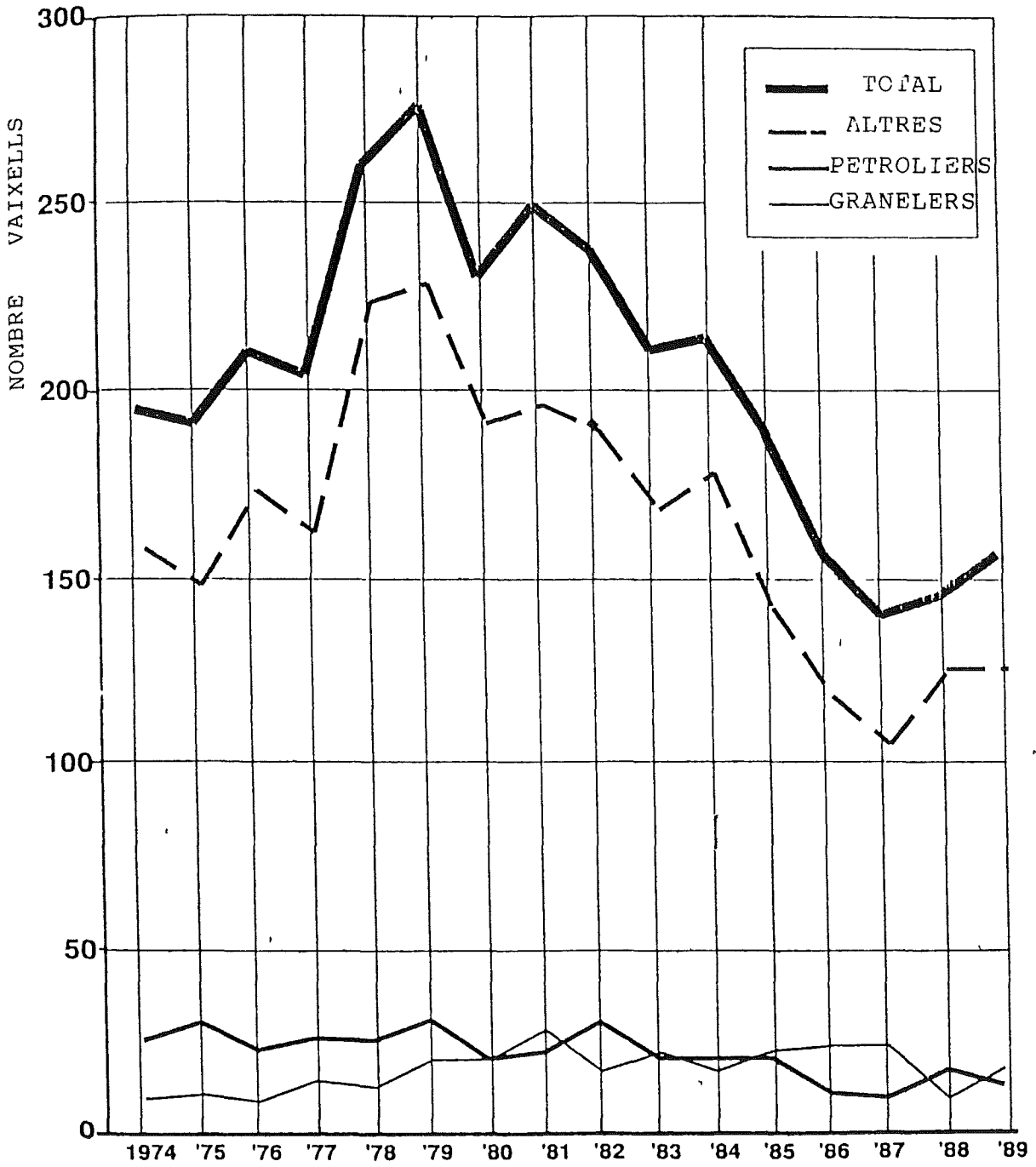


Fig. 46 . Nombre de vaixelles perduts entre 1.974 i 1.989.

l'oficialitat i de la mà d'obra ben qualificats. En certs països es dona la circumstància de disposar de tècnics ben qualificats junt amb vaixells de baixa qualitat i tripulants molt mal qualificats.

A l'estat espanyol, per exemple, no hi ha centres de formació professional per a la Marina Mercant.

Fins ací hem plantejat l'estat actual de la funció Manteniment des del punt de vista de les teories que s'apliquen o s'haurien d'aplicar i s'han descrit com a mostra, alguns exemples de fallades i de les seves causes.

Però, quin és l'estat real de la qüestió en la indústria espanyola? L'enquesta que s'analitza en el proper capítol dona resposta suficient a la pregunta i hauria de ser causa de reflexió tant en el mon industrial com en l'acadèmic.

Bibliografia

BUNGE, M.

Causality, 1963.

Meridian Books. New York.

BUNGE, M.; HALWACHS, F.; KUHN, T.S.; PIAGET, J.; ROSENFELD, L.

Le teorie della causalità, 1974.

Einaudi. Torino.

BULLETIN OF MARINE ENGINEERING SOCIETY IN JAPAN, 1988-1989

The ship Building Research Center in Japan. Tokyo.

KAZNO, H.; KENJI, A.

Oil film characteristics of stern tube bearing in consideration of shaft deflection.

Bulletin of Marine Engineering Society in Japan. 1989. Tokyo.

TRANSACTIONS IMARE

Vol. 94, Paper 23, Vol. 97, Paper 9, 1982/85.

Marine Management (Holdings) Ltd. London.

PEREZ DEL RIO, J.

Tratado General de Máquinas Marinas, 1965.

Edit. Planeta. Barcelona.