



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: Detecció, anàlisi i estudi de partícules provocades pel desgast en olis lubricant usats com a eina de manteniment de motors de combustió interna.

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Joaquim Fontdecaba i Farrés

Director/Tutor: Lino Montoro i Moreno

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de fluids

Convocatòria (mes/any): 09/08

ÍNDEX

1 - INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents.....	1
1.1.1 Antecedents dins de la història....	2
1.1.2 Antecedents de caràcter local	6
1.2 Objecte.....	8
1.3 - Especificacions i abast.....	8
1.4- Metodologia emprada.....	8

2 – REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA..... 11

2.1 Olis lubricants.....	12
2.1.1 Definició.....	12
2.1.2 Classificació.....	13
2.1.3 Additius.....	21
2.1.4 Diagnòstic d'avaries per anàlisi de degradació i contaminació de l'oli.	41
2.1.5 Lubricació en motors de combustió interna de 4 temps.....	56
2.2 El desgast mecànic.....	74

2.2.1 Introducció.....	74
2.2.2 Classes de desgast.....	74
2.2.3 Desgast en motors de combustió.....	96
2.2.4 Degradació del lubricant.....	101
2.3 Tècniques de diagnosi.....	107
2.3.1 Introducció.....	107
2.3.2 Ferrografia analítica.....	107
2.3.3 La ferrometria o ferrografia de mesura directa.....	111
2.3.4 Microscopi òptic.....	113
2.3.5 Microscopi electrònic.....	118
2.3.6 Microanàlisi de raigs X.....	124
2.3.7 Tractament tèrmic de les partícules.....	126
2.3.8 Origen dels metalls.....	130
2.4 Anàlisi de partícules.....	132
2.4.1 Partícules de desgast normal (Rubbing wear).....	132
2.4.2 Partícules a causa del tall (Cutting).....	133
2.4.3 Partícules de lliscament.....	134
2.4.4 Partícules de fatiga.....	136

2.4.5 Pols ambiental.....	138
2.4.6 Òxids de ferro.....	139
2.4.7 Fibres.....	140
2.4.8 Polímers de fricció.....	141
2.4.9 Additius.....	142
2.5 El manteniment.....	144
2.5.1 Introducció.....	144
2.5.2 Classificació de manteniment.....	146
2.5.3 Operacions de manteniment mecànic.....	154
2.5.4 Manteniment mecànic de màquines.....	156
2.5.5 Fallada mecànica.....	158
2.5.6 La lubricació dins del manteniment.....	163
2.5.7 Manteniment sistemàtic de motors de combustió interna alternatius	179
2.5.8 Diagnòstic de motors per les seves prestacions.....	194
2.5.9 Diagnòstic de motors pels seus símptomes interns.....	205
2.5.10 Diagnòstic de motors per anàlisi de la degradació de l'oli.....	214

3 – METODOLOGIA.....	227
3.1 Obtenció de les mostres.....	229
3.2 Preparació de les mostres.....	230
3.3 Objectius de l'estudi de les proves inicials.....	230
3.4 Elecció de l'imant.....	230
3.5 Obtenció d'un ferrograma.....	232
3.6 Descripció d'un ferrograma.....	239
3.7 Construcció del captador de partícules.....	238
3.7.1 Introducció.....	238
3.7.2 Disseny del captador de partícules.....	237
3.7.3 Elements del captador de partícules.....	241
3.7.4 Procés constructiu.....	243
3.8 El circuit pneumàtic del captador de partícules.....	251
3.8.1 Introducció.....	251
3.8.2 Introducció a l'Automation Studio.....	251
3.8.3 Tria de components.....	253
3.8.4 Circuit pneumàtic.....	257
3.9 Anàlisi de les mostres.....	259

3.9.1 Introducció.....	259
3.9.2 Fixat de les mostres.....	259
3.9.3 Tipus de partícules i criteris de valoració.....	262
3.9.4 Realització de l'informe d'avaluació.....	266
4 – ANÀLISI DE RESULTATS.....	271
5. CONCLUSIONS.....	307
6. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	312
7. BIBLIOGRAFIA.....	314
8. AGRAÏMENTS.....	317
ANNEX A: MANUAL D'USUARI.....	319
A.1 Utilització reglamentària.....	322
A.2 Normes de seguretat.....	322

A.3 Muntatge del cobreobjectes.....	323
A.4 Obtenció d'una mostra amb la màquina de succió.....	324
A.5 Obtenció d'una mostra amb el ferrògraf.....	326
ANNEX B: TAULES DE REFERÈNCIA.....	330
B.1 Introducció.....	331
B.2 Classificació SAE per a olis lubricants de Càrter.....	332
B.3 Classificació ISO per a olis industrials.....	332
B.4 Equivalències entre Unitats de Viscositat.....	333
B.5 Quadre Resum dels Principals Tipus de Partícules.....	334
B.6 Procedència dels Metalls Existents en el Lubricant.....	335

1 - Introducció

A la física o a l'enginyeria es defineix com fregament o fricció a la resistència que s'oposa a la rotació o al lliscament d'un cos sobre un altre, o també a la força que apareix en la superfície de contacte de dos cossos quan s'intenta lliscar un sobre un altre.

El fregament ha estat fins avui dia un gran problema físic, això és degut a que genera imperfeccions, especialment microscòpiques, entre les superfícies en contacte. Aquestes imperfeccions fan que la força, entre ambdues superfícies, no sigui perfectament perpendicular a aquestes, sinó que forma un angle φ amb la normal (l'angle de fregament). Per tant, aquesta força resultant es compon de la força normal (perpendicular a les superfícies en contacte) i de la força de fregament paral·lela a les superfícies en contacte.

Aleshores és quan apareix la tribologia. La tribologia és la ciència que estudia la fricció, el desgast i la lubricació de superfícies en contacte. El desgast és el dany de la superfície per remoció de material d'una o ambdues superfícies sòlides en moviment relatiu. És un procés en el qual les capes superficials d'un sòlid es trenquen o es desprenen de la superfície. Igual que la fricció, el desgast no és solament una propietat del material, és una resposta integral del sistema. Les anàlisis dels sistemes han demostrat que 75% de les falles mecàniques es deuen al desgast de les superfícies en fregament. Es dedueix fàcilment que per a augmentar la vida útil d'un equip s'ha de disminuir el desgast al mínim possible.

El lliscament entre superfícies sòlides es caracteritza generalment per un alt coeficient de fricció i un gran desgast a causa de les propietats específiques de les superfícies. La lubricació consisteix en la introducció d'una capa intermèdia d'un material aliè entre les superfícies en moviment. Aquests materials intermedis es denominen lubricants i la seva funció és disminuir la fricció i el desgast. El terme lubricant és molt general, i pot estar en qualsevol estat material: líquid, sòlid, gasós i fins i tot i semisòlid o pastós.

Aproximadament el 50% de la producció energètica mundial s'utilitza d'una manera o altre a combatre el fregament. Per tal de reduir aquestes xifres no ens plantegem a fer un gran desenvolupament en investigació i noves tecnologies aplicades al món dels lubricants, sinó que només calen aplicacions a escala de laboratori en lubricants, tractaments, disseny, etc.

En aquest projecte hem intentat aplicar tècniques i mètodes de control els quals puguin arribar a millorar i perfeccionar els sistemes de mesura i control a nivell industrial i/o particular. En el nostre cas ha estat l'estudi dels olis lubricants usats en motors de combustió interna de variats vehicles com motocicletes, automòbils, camions o vaixells. Hem introduït una millora d'automatització mitjançant un circuit pneumàtic al captador de partícules, hi hem introduït una tècnica per captar partícules a partir de filtres de membrana, hem estudiat les mostres i llurs ferrogrames i membranes amb la finalitat de detectar les anomalies dels motors.

1.1 Antecedents

1.1.1 Antecedents dins de la història

L'ús de substàncies lubricants que redueixen el fregament entre elements mòbils és una tècnica aplicada per l'home des de fa mil·lennis, s'ha trobat a Orient Mitjà rodes de carrosses Mesopotàmiques que daten de l'any 4000 A.C., els quals contenen un coixinet primitiu amb sorra bituminosa adherida. També existeixen gravats egipcis datats de l'any 2400 A.C. a Saqqara (Egipte) o com el que es mostra a la figura 1, on es representa el vessament de lubricants líquids per a facilitar l'arrossegament de càrregues sobre patins de fusta. Aquests lubricants arcaics podrien ser aigua, olis vegetals i animals, llet o fins i tot sang d'animals.

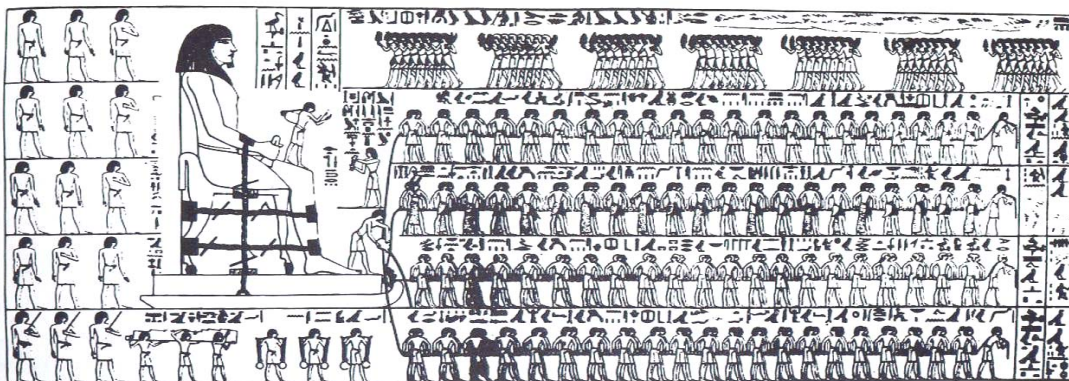


Fig. 1. Mural datat de l'any 1880 A.C. situat a la tomba de Tehuti-Hetep, El Bersheh (Egipte). Cal posar èmfasi a la presència de l'home situat a la part inferior i davantera del patí i que està afegint un fluid a la superfície sobre la que llisca l'estructura. Font bibliogràfica [e]

Les civilitzacions grega i romana van desenvolupar nombrosos mecanismes que buscaven la reducció del fregament entre objectes, com els treballs realitzats per Hero on destaca el disseny de comportes sobre coixinets pivotants per a facilitar la seva obertura; a més, s'han trobat en les restes de vaixells romans rescatats del llac Nemi (Itàlia) plataformes giratòries recolzades sobre esferes de bronze per a facilitar el seu gir i que correspondrien a primitius rodaments de boles.

Al llarg de l'edat mitjana es van realitzar avanços en maquinària agrícola com sínies o molins de vent, amb nombrosos mecanismes que necessàriament haurien de ser lubricats, el millor exemple del grau d'evolució tècnica abastat en aquesta època és el rellotge de la catedral de Salisbury, tal i com es pot observar a la figura 2, datat de l'any 1386, on tot el mecanisme d'engranatges està realitzat en ferro forjat, sense utilitzar peces de fusta, emprant grassa animal com a lubricant.

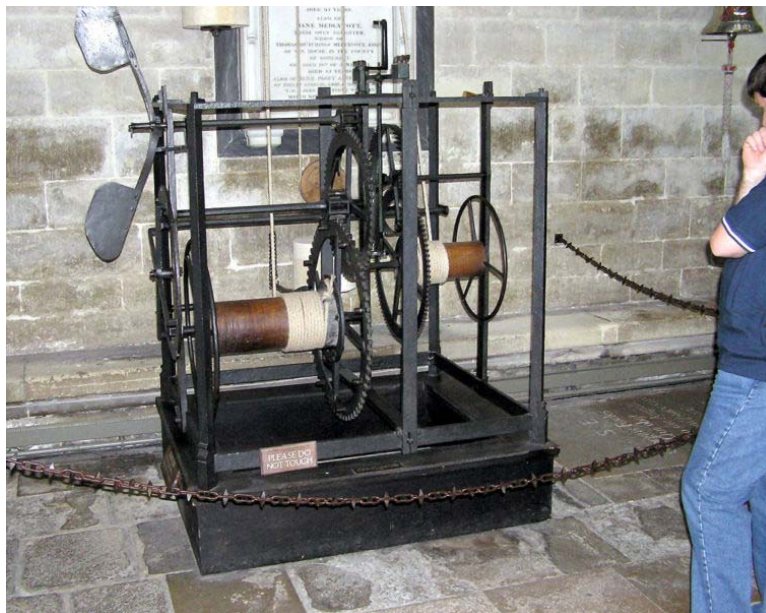


Fig. 3. Imatge del rellotge de Salisbury. És el rellotge més antic conegut que encara funciona. Font bibliogràfica [f]

Durant el renaixement va destacar principalment la figura de Leonardo da Vinci, el qual va realitzar estudis sobre les lleis de fricció i el disseny de diferents tipus de coixinets i rodaments. En el segle XVII Newton va plantejar i enunciar les lleis fonamentals per les quals es regeixen els fenòmens de lubricació, descobrint l'any 1687 el principi de la resistència viscosa dels fluids. Va ser a finals del segle XVIII quan Coulomb va demostrar empíricament les lleis de Da Vinci i va establir la diferència entre fricció estàtica i fricció dinàmica.

Un dels grans esdeveniments que van marcar l'ús massiu de lubricants va ser la Revolució Industrial, que va començar a Anglaterra l'any 1760 i que al llarg d'uns vuitanta anys va desencadenar un desenvolupament a gran escala de la maquinària industrial, acompanyada de la invenció de la màquina de vapor per Watt (1769) i el desenvolupament del ferrocarril. En aquesta època també es van desenvolupar les grasses, inicialment formades per la combinació d'hidròxid de sodi amb olis d'origen animal; posteriorment es va emprar calç en la seva fabricació, a més a més d'afegir lubricants sòlids per a millorar les seves propietats antifricció.

El segon gran fitó que va suposar un desenvolupament exponencial en l'aplicació i ús de lubricants va ser el descobriment del petroli, a meitats del segle XIX, emprat inicialment com a combustible i posteriorment com a font de diferents compostos obtinguts de la seva destil·lació, dins d'aquest grup s'inclouen els olis lubricants minerals. L'any 1857 van aparèixer els primers equips treballant amb dispositius hidràulics, àrea on també ha estat important la utilització de fluids lubricants. La invenció del motor d'encesa provocat per Otto l'any 1872 i del motor d'encesa per compressió per Dièsel l'any 1909 van suposar el desenvolupament del transport tant de persones com de mercaderies i en conseqüència, l'esmerç majoritari de derivats del petroli com a font d'energia i com fluids lubricants. L'any 1884 Parsons va construir la primera turbina de vapor, la qual es pot veure a la figura 3, equips que també requerien l'emprament de lubricants líquids. A partir de 1900 es van obtenir lubricants d'una major qualitat gràcies a l'esmerç de tècniques de destil·lació a baixa pressió (i en conseqüència a menors temperatures) que evitaven el catacraç de les cadenes d'hidrocarburs pesats durant el procés.

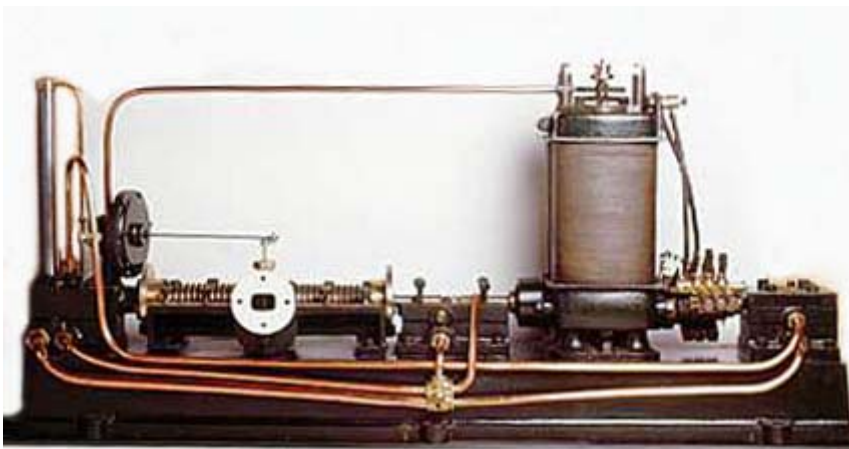


Fig. 4. Imatge de la primera turbina de vapor, creada per Sir Charles Parsons l'any 1884. Font bibliogràfica [f]

Al llarg de la primera meitat del segle XX, la Primera Guerra Mundial (1914-1918) i especialment la Segona Guerra Mundial (1939-1945) va suposar un gran desenvolupament tecnològic en carros de combat, naus i aeronaus; equips sotmesos a condicions de treball extremes i que necessitaven lubricants amb propietats millorades, per això va ser durant el segon terç del segle XX quan es va introduir l'emprament d'additius per a millorar les prestacions dels lubricants minerals. També en aquest període es van crear els primers olis lubricants sintètics, amb una major resistència a l'oxidació i una menor viscositat a baixes temperatures que els procedents de la destil·lació del petroli.

L'anàlisi dels lubricants com a tècnica de manteniment ja es duia a terme a principis del segle XX, aquest va anar adquirint més importància a mitjans del mateix segle. La tècnica de la ferrografia va néixer a la dècada dels 70 als E.E.U.U, on van aparèixer els primers ferrografs (Steifert i Wescott, 1972). Encara que la tècnica de la ferrografia fou desenvolupada per als anàlisis de partícules de desgast suspeses dins dels olis lubricants que operen en màquines, ha estat adaptada per poder utilitzar-la també en fluids biològics. Els anàlisis ferrogràfics de fluids sinovials han demostrat tenir potencial necessari per diagnosticar i pronosticar trastorns artrítics i ajudar en la investigació d'aquestes malalties (Evans 1980, Stachowiak 1991), sobretot en els processos de desgast ocorreguts en les articulacions. Al cap d'uns anys la tècnica es va estendre a Europa.

Els primers assajos d'anàlisi d'olis per a fer seguiments de les condicions dels motors van ser desenvolupades per primera vegada amb la locomotora Dièsel en el ferrocarril. Més tard es va implantar en altres mecanismes lubricats com transmissions, reductors i turbines de gas. Posteriorment, l'esmerç d'oli en altres aplicacions industrials com els olis de dielèctrics de transformadors va donar pas a la realització d'anàlisis específic per a determinar el funcionament del sistema. Els anàlisis espectrogràfics d'olis utilitzant una emissió espectrogràfica va ser en aquell temps una tècnica sensitiva per detectar i mesurar la quantitat d'elements independents trobats dins l'oli.

Inicialment els paràmetres estimats en lubricants usats de MCIA (Motors de Combustió Interna Alternatius) eren bàsicament la viscositat, presència d'aigua, dilució per combustible, estimació de la reserva alcalina, quantificació d'insolubles i matèria carbonosa; la mesura de metalls de contaminació i desgast es reduïa a quantificar els metalls bàsics (ferro, alumini, coure, plom, estany i silici) emprant com a tècnica d'anàlisi l'espectrometria d'absorció atòmica. Pels olis industrials els paràmetres inicialment quantificats eren

viscositat, presència d'aigua, presència d'insolubles, color de l'oli, tendència a la formació d'escumes i mesura de metalls amb els mètodes anteriorment descrits. En la figura 5 es presenten els principals problemes de lubricació en un típic motor de combustió interna alternatiu.

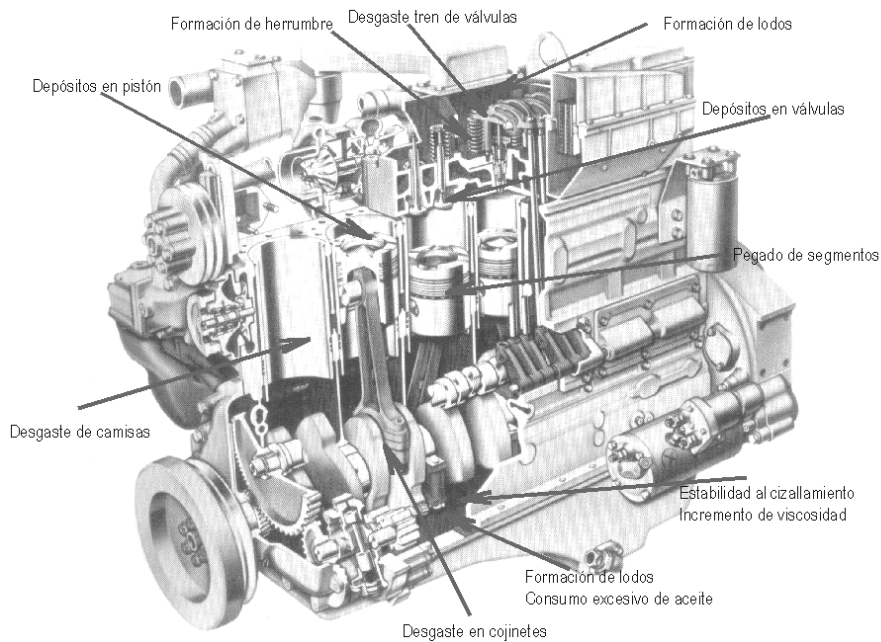


Fig. 5. Requeriments sobre l'oli en motors de combustió interna alternatius. Font bibliogràfica [15]

1.1.2 Antecedents de caràcter local

A l'EPS de Girona, als anys 90 es van iniciar un seguit de projectes sobre ferrogafies, com és el cas dels senyors Joan Soler i Jaume Busquets, aquests però, basats en la ferrometria, ja que aleshores es disposava d'un ferrògraf de lectura directa (el DRIII) però no captador de partícules.

Altres estudis semblants relacionats amb la ferrometria és el del senyor Jaume Busquets i Font: "Estudi mitjançant el lubricant del desgast produït en un reductor de velocitat" (1994), en el qual s'analitzen mostres de lubricant d'un reductor de motor nou amb la idea de realitzar el seguiment durant tota la seva vida fins que es trenqui. El seguiment es realitzà durant una vida de 930 hores de treball en el que es va estudiar el desgast dels engranatges mitjançant la ferrometria i es va completar mitjançant ferrogafia per poder observar la diferència entre les diferents partícules existents, no essent gaire la informació

facilitada en aquest camp. En aquells moments s'obtenien ferrogrames aprofitant el camp magnètic generat pel "DRIII Ferrograf".

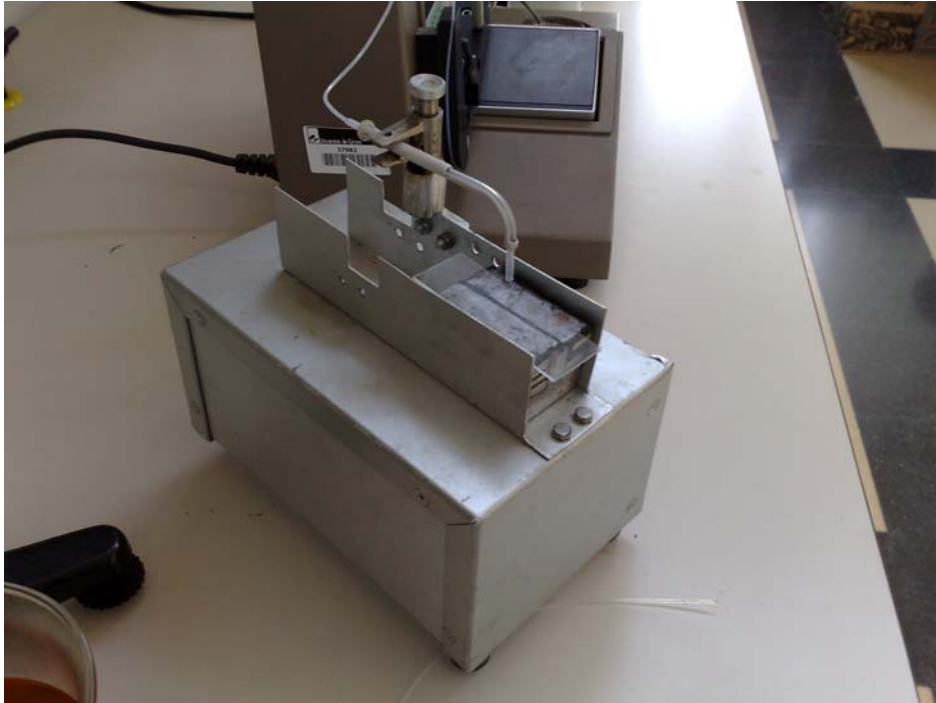


Fig. 6. Fotografia del captador de partícules que el senyor Lluís Pujadas va construir a l'EPS l'any 1995

L'any 1995, el senyor Lluís Pujadas, dins del seu projecte: "Estudi del desgast generat en un reductor de velocitat a través del lubricant" (juny 1995), va dissenyar i construir un nou aparell que permetia obtenir ferrogrames a través d'un lubricant i a sobre d'un portaobjectes, el qual es pot observar a la figura 6. El seu projecte era una continuació de l'anterior en el que es veia una evolució del seu desgast. En aquest projecte es contrastaven les hores de funcionament amb tres tècniques de lubricants aplicades: l'espectroscopia d'absorció atòmica, la ferrometria i la ferrografia. Els problemes o inconvenients que hi havia en el seu captador de partícules eren varis: l'aparell necessitava l'ajut del DRIII per absorbir el fluid i el procés d'obtenció del ferrograma no estava automatitzat.

Un altre projecte interessant va ser el del senyor Josep Uñó i Batlles: "Estudi inicial del manteniment predictiu en els aerogeneradors del parc eòlic de Roses" (1995), en aquest projecte s'estudiava el desgast sofert per un aerogenerador del Parc Eòlic de Roses que havia existit des de l'any 1984 fins, recentment, al 2007. Aquest estudi ofería la possibilitat de treballar en un entorn real, lluny del banc de proves.

1.2 Objecte

L'objectiu del treball és l'estudi del desgast originat en motors de combustió interna, majoritàriament, Dièsel de camions, automòbils i vaixells. Això, comprèn la captació de partícules en ferrografies, la seva observació i anàlisi en microscopi, la seva classificació, comparació i la detecció d'anomalies en els motors. Per altra banda, també s'aprofundirà en les tècniques d'anàlisi, la lubricació i manteniment dels motors i el nou disseny i validació d'un captador de partícules automatitzat.

1.3 Especificacions i abast

L'abast del present treball és un estudi teòric-pràctic sobre els lubricants, el desgast, el manteniment, les tècniques de diagnosi i el redisseny i construcció del ferrògraf per permetre la detecció de partícules ferroses i no ferroses afegint tècniques de filtratge per membranes. Es duran a terme anàlisis de mostres de lubricant usat de motor de combustió reals de diversos vehicles per validar el funcionament de l'equip. Es dissenyarà i es construirà l'equip reutilitzant al màxim que es pugui amb peces inutilitzades. Es validarà el funcionament d'aquest nou aparell automatitzat i es farà un estudi de les partícules trobades en les mostres de lubricant usat.

1.4 Metodologia emprada

El treball final de carrera s'ha dut a terme seguint les diferents etapes detallades a continuació:

1. Definició de l'objectiu i realització de consultes bibliogràfiques sobre olis lubricants, la seva classificació, els seus additius, el manteniment, la fallada mecànica, el desgast mecànic, tècniques de diagnosi i partícules trobades en olis. En aquest apartat hem recollit informació de variades fonts bibliogràfiques amb la finalitat de recollir els coneixements necessaris per obtenir uns coneixements bàsics en el món dels lubricants, el manteniment i les seves tècniques d'estudi.
2. Realització d'assajos al laboratori de lubricants de ferrografies d'olis usats en motors de camions, motocicletes, automòbils i vaixells de pesca. Aquí, hem obtingut mostres de ferrografies gràcies al captador de partícules. Inicialment, vam començar amb el captador de partícules del senyor Lluís Pujadas, però en

vistes a una necessitat més pràctica, vam optar per realitzar les ferrografies amb el nostre propi captador. Les proves realitzades amb el nostre captador han estat realitzades variant l'angle d'inclinació de l'imant respecte la base i amb dos imants diferents: un de neodimi i un de ferrita.

3. Estudi dels resultats obtinguts amb les ferrografies al laboratori de microscòpia. Aprendre coneixements sobre les tècniques d'observació al microscopi així com aprendre l'ús del mateix i del programari que comporta el tractament de les imatges obtingudes.
4. Creació de fulls de resultats de les mostres estudiades anteriorment classificant la quantitat de les partícules trobades. Aquí hem realitzat un quadre comparatiu vàlid per totes les mostres on es pugui entendre i visualitzar clarament quines són les partícules majoritàries per a cada mostra. Hem classificat les partícules a partir de cada tipus de desgast i la seva contaminació. També hi hem afegit algunes imatges de partícules extraordinàries poc comunes que hem trobat al llarg de la observació amb microscopi.
5. Documentació dels aparells utilitzats al laboratori de lubricants per separar o quantificar partícules dels lubricants així com el "DRIII Ferrograf".
6. Disseny d'un nou captador de partícules automatitzat, que ens permeti captar partícules magnètiques (ferrografies) i partícules no magnètiques (filtres de membrana). Per a dissenyar el nou captador, hem utilitzat programari informàtic com eines CAD i CAD 3D per ajudar-nos a visualitzar el nostre captador. El disseny s'ha realitzat amb peces rebutjades o arraconades de diferents laboratoris de l'EPS, d'aquesta manera hem reduït de manera considerable el pressupost final. Per la construcció del suport hem emprat materials no magnètics com l'alumini, per no provocar alteracions en el camp magnètic de l'imant. L'automatització del captador l'hem implementat amb un circuit pneumàtic aprofitant les instal·lacions d'aire comprimit del laboratori de lubricants. El circuit pneumàtic l'hem dissenyat amb l'ajut del programa de simulació Automation Studio.
7. Construcció del captador de partícules i validació del seu ús experimental. Hem construït el captador de partícules i hem realitzat el seu manual d'usuari amb la

finalitat que serveixi d'ajut per les futures generacions d'estudiants. La construcció del captador de partícules s'explica a l'annex D.

8. Obtenció de conclusions

2 – REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

2.1 Olis lubricants

2.1.1 Definició

S'entén per lubricant tota substància sòlida, semi sòlida o líquida d'origen animal, vegetal, mineral o sintètic que serveix per a reduir el fregament entre dos elements que estan en moviment i en contacte l'un amb l'altre.

En aquest últim segle, la necessitat de lubricants més específics i el gran creixement de la indústria petroquímica han desplaçat els productes tradicionalment usats per lubricar, i se n'ha creat uns de molt més específics i artificials.

Els lubricants compleixen tot un seguit de funcions durant el seu treball:

- Reducció de la fricció i desgast; separant les superfícies en moviment
- Controlen la temperatura; absorbint i posteriorment dissipant el calor generat per la màquina
- Prevenir la corrosió
- Controlar la contaminació; mantenint els contaminants en suspensió i transportant-los fins els filtres.
- Transmissió de potència; en el cas d'olis hidràulics.

Controlar la Fricción	➔	Separa las superficies en movimiento
Controlar el Desgaste	➔	Reduce el desgaste abrasivo
Controlar la Corrosión	➔	Protege las superficies de las sustancias corrosivas
Controlar la Temperatura	➔	Absorbe y transfiere el calor
Controlar la Contaminación	➔	Transporta partículas y otros contaminantes a los filtros
Transmitir Potencia	➔	En hidráulicos, transmite fuerza y movimiento

Figura 1: Funcions de l'oli lubricant. Font bibliogràfica [17]

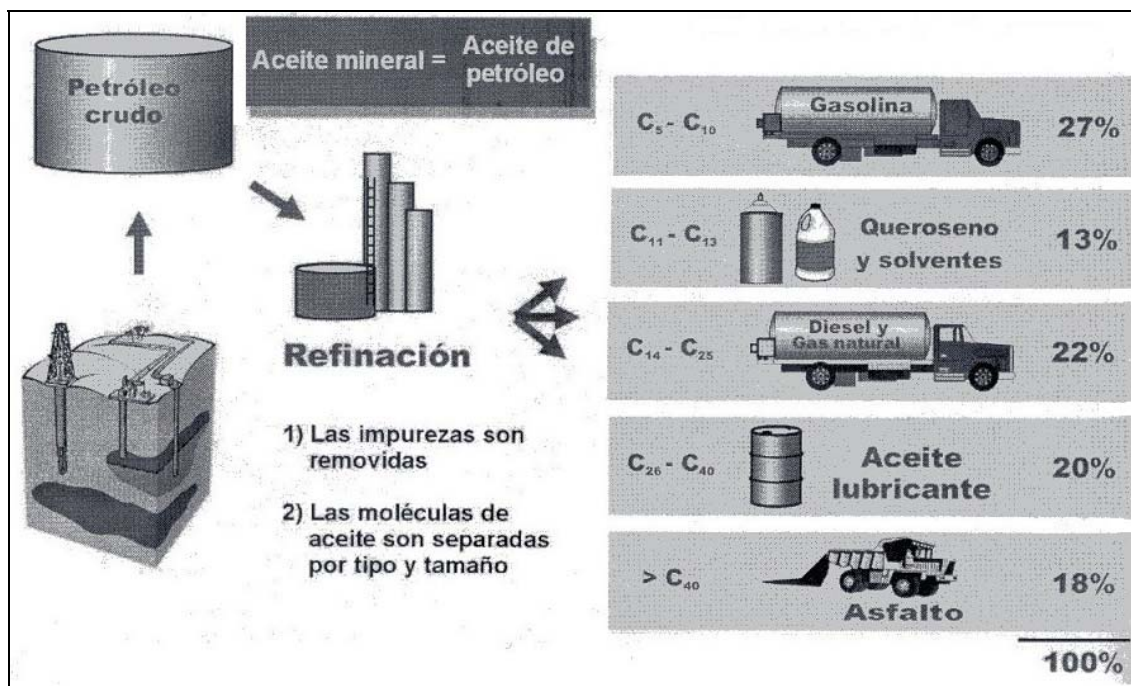


Figura 2: La majoria dels olis lubricants provenen del petroli (prop del 95%). Font bibliogràfica [17]

2.1.2 Classificació

2.1.2.1 Olis base

Els principals constituents d'un lubricant són els denominats olis base. Aquests, segons el seu origen, els podem classificar en: minerals, sintètics i vegetals. Els olis de base mineral procedeixen de la destil·lació del petroli a les refineries, on depenent de l'origen del cru es classifiquen en: parafínics, naftènic o aromàtics.

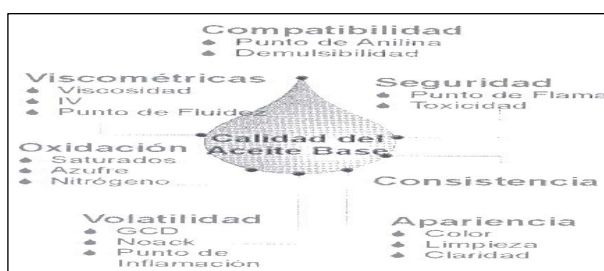


Figura 3: Propietats físico-químiques dels olis base. Font bibliogràfica [17]

Naturalesa parafínica

Els parafínics posseeixen un alt índex de viscositat, baixa volatilitat, baix poder dissolvent i un alt punt de congelació.

La naturalesa parafínica ve expressada pel conjunt d'hidrocarburs saturats de cadena lineal, ramificada o no, però mai cíclica. Les parafines ramificades són les més interessants, es troben en quantitats apreciables en les fraccions lubricants del cru parafínic.

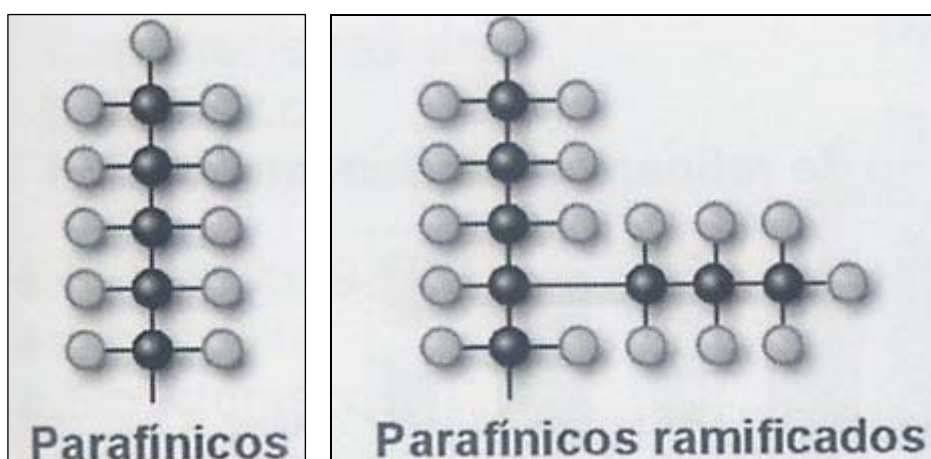


Figura 4 i 5: Estructura molecular dels olis parafínics i dels parafínics ramificats respectivament. Font bibliogràfica [17]

Contràriament, les parafines de cadena lineal i d'elevat pes molecular augmenten la temperatura de congelació dels olis i per això s'han eliminat per desparafinat.

Les característiques dels olis rics en hidrocarburs parafínics són les següents:

- Baixa densitat per a una viscositat donada
- Variacions petites de la viscositat en funció de la temperatura
- Poca volatilitat per una viscositat determinada
- Baix poder dissolvent

Baixa densitat per a una viscositat donada. Si tenim varis olis d'igual viscositat, el més parafínic d'ells és el de menor densitat, l'escala de densitats per a olis de motors està compresa entre 0,88 i 0,89 g/cm³.

Variacions petites de la viscositat en funció de la temperatura. S'expressa en forma d'índex de viscositat, generalment aquest índex és superior a 100 per qüestió de games de viscositat corresponent als olis de motor. Aquests elevats índex de viscositat són el motiu pel qual avui en dia es prefereixin aquest tipus d'olis per a la lubricació de motors. De tota manera, la utilització dels additius milloradors de l'índex de viscositat permet modificar sensiblement aquesta característica.

Poca volatilitat per una viscositat determinada. L'interval de la temperatura de destil·lació d'un oli de viscositat determinada és tant més elevada quant més parafínic sigui. Aquesta es tradueix pels punts d'inflamació elevats a una viscositat donada.

Baix poder dissolvent. Es caracteritza per un punt d'anilina relativament elevat, de 90 a 100°C, el que es tradueix pràcticament per una pronunciada tendència a la precipitació dels productes d'alteració de l'oli. Això significa, que un oli usat de naturalesa parafínica, sense additius, diposita més fàcilment els seus productes d'alteració que els olis de diferent naturalesa química, d'altra banda són propensos a conservar el color original durant molt més temps.

Naturalesa naftènica

L'oli està constituït per hidrocarburs saturats, com els parafínics, tanmateix les estructures són cícliques o policícliques i són extraordinàriament complexes. Els tipus de naftens que contenen únicament alguns cicles per molècula, amb predomini d'àtoms de carboni disposats en llargues cadenes parafíniques, posseeixen, probablement, les propietats més interessants dels olis d'engreix.

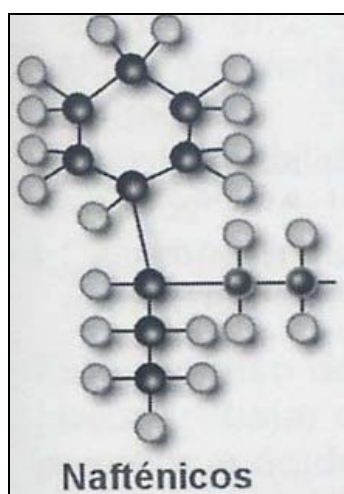


Figura 6: Estructura molecular dels olis naftènics. Font bibliogràfica [17]

Quan més curtes siguin les cadenes fixades sobre els nuclis naftènics, més s'allunyen les característiques físiques i químiques d'aquests hidrocarburs tant o més a les dels parafínics. Les propietats o característiques més importants són les següents:

- Densitat relativament elevada per a una viscositat donada. En els olis base per a motors, aquesta densitat és superior a 0,9 g/cm³.
- Grans variacions de la viscositat en funció de la temperatura. Els índex de viscositat són baixos, de l'ordre de 40 a 60.
- Major volatilitat que la fracció parafínica corresponent. Els punts d'inflamació són relativament baixos.
- Elevat poder dissolvent. Punts d'anilina inferiors als del parafínic. Aquesta és freqüentment la causa de l'associació d'aquest tipus d'oli amb els de naturalesa parafínica, presentant en general menor tendència a separar els seus productes d'alteració en els olis usats. Així aquesta acció dissolvent natural, pot jugar, fins a cert punt, el paper dels additius detergents, especialment quan s'ha de fer front a una gran contaminació d'oli.

	Parafínicos	Nafténicos
Petróleo crudo	Continente medio Mar del norte Medio este	Regiones de la costa sur de los Estados Unidos
% Parafínicos	45 - 60	15 - 25
% Nafténicos	20 - 30	65 - 75
% Ceras	1 - 10	Trazas
Indice de viscosidad	95 - 105	30 - 70
Punto de congelación	Congelación por ceras	Menor, Congelación por viscosidad
Punto de inflamación	Mayor que el nafténico	Menor que el parafínico
Solvencia de los aditivos	Pobre a regular	Buena
Aplicaciones	Aceites de motor Fluidos hidráulicos Aceites de turbinas Aceites de engranes Aceites de rodamientos	Aceites de motor de locomotoras Aceites refrigerantes Aceites de compresores

Figura 7: Quadre comparatiu entre els olis parafínics i els naftènics. Font bibliogràfica [17]

Naturallesa aromàtica

La naturalesa aromàtica està constituïda per compostos no saturats que contenen un o varis nuclis aromàtics, condensats o no, en els quals hi ha fixades una o vàries cadenes laterals.

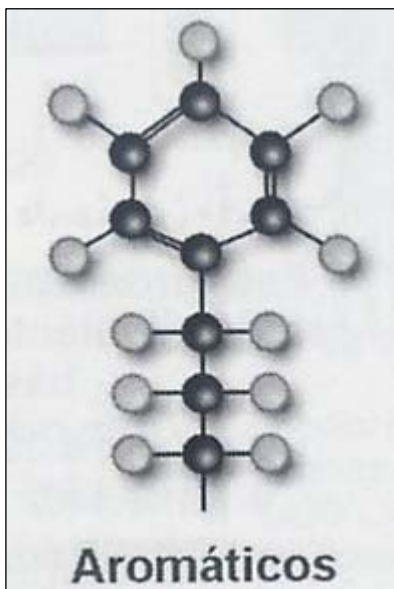


Figura 8: Estructura molecular dels olis de naturalesa aromàtica. Font bibliogràfica [17]

Aquests olis presenten unes característiques que són encara molt més acusades que les dels hidrocarburs naftènics. La seva densitat és molt elevada i el seu índex de viscositat molt baix; d'altra banda, la seva importància en la composició de l'oli acabat és limitada.

Una característica essencial que donen aquests tipus d'hidrocarburs, als olis minerals purs, és la seva alterabilitat: químicament molt actius, són fàcilment oxidables i provoquen la formació de productes resinosos o asfàtics, acompanyats de derivats corrosius.

Els seus punts d'anilina són baixos, com correspon al seu elevat poder dissolvent; però no representa interès enfront als seus defectes remarcats.

S'ha de destacar que la baixa tensió interfacial és l'origen d'una fàcil emulsionabilitat amb l'aigua.

2.1.2.2 Olis de base sintètics

Els olis de base sintètics són obtinguts a partir de diferents fluids de síntesi orgànica que es barregen per obtenir olis lubricants de prestacions superiors a les bases minerals tradicionals. Els principals compostos usats en la formulació d'olis sintètics són els següents:

- *Hidrocarburs sintètics*: Són compostos orgànics obtinguts a partir de monòxid de carboni i hidrogen mitjançant el procés Fisher-Tropsch, per tant no procedeixen del petroli. Al ser compostos totalment sintètics contenen rangs de cadenes d'hidrocarburs perfectament definits.
- *Polialfaolefines (PAO)*: Són hidrocarburs purs de parafines ramificades, amb un nul contingut de sofre, fòsfor o metalls. La viscositat ve determinada per les ramificacions. Els principals desavantatges són el seu baix poder dissolvent d'additius, limitada resistència a l'oxidació, a més de tendir a dissoldre segells i manegots de goma.
- *Dièsters*: Procedeixen de la reacció de di-àcids orgànics amb alcohols. Presenten una excel·lent fluïdesa a baixes temperatures i a baixos punts de congelació, alt índex de viscositat, excel·lent resistència al tall i elevada estabilitat tèrmica. El principal desavantatge és el seu alt poder dissolvent, alternant segells, pintures i recobriments dels elements lubricats. Es tornen inestables amb la presència d'aigua, donant lloc a compostos àcids.
- *Poliol-ésters*: Es generen a partir de la reacció de mono-àcids de cadenes de 5 a 10 carbonis amb poli-alcohols com els glicols. Les seves prestacions milloren les dels dièsters, a més, algunes varietats són biodegradables. El principal desavantatge és l'alt poder dissolvent, tendint a alterar segells, pintures i acabats amb major intensitat que els dièster.
- *Ésters fosfatats*: S'obtenen a partir de reaccions de fenols substituïts amb àcid fosfòric. Tenen una excel·lent estabilitat tèrmica i resistència al foc. Donada que la seva densitat és superior a la de l'aigua, davant una possible contaminació, aquesta flotaria sobre el lubricant. Són incompatibles amb els olis minerals. Tenen un baix índex de viscositat. Actualment estan essent substituïts per altres compostos a causa de la seva elevada toxicitat.

- *Poliglicols (PAG)*: Són sintetitzats a partir de l'addició d'òxid d'etilè a iniciadors que contenen oxigen com seria un alcohol, un glicol o un éter. La seva naturalesa polar els hi dóna unes bones propietats lubricants. Tenen una baixa generació de fangs, ja que els seus productes de descomposició per altes temperatures són gasosos. Són biodegradables. Actualment, són els principals components dels líquids de fre dels automòbils.
- *Silicones*: Són fluids específics formats per cadenes d'àtoms de silici i oxigen amb cadenes ramificades. Tenen un elevat índex de viscositat, superior a 300, són químicament inerts i no tòxics. Presenten una bona fluïdesa a baixes temperatures, baixa volatilitat, elevada resistència al foc i afinitat reduïda a l'aigua. No solen ser miscibles amb altres fluids derivats del petroli.

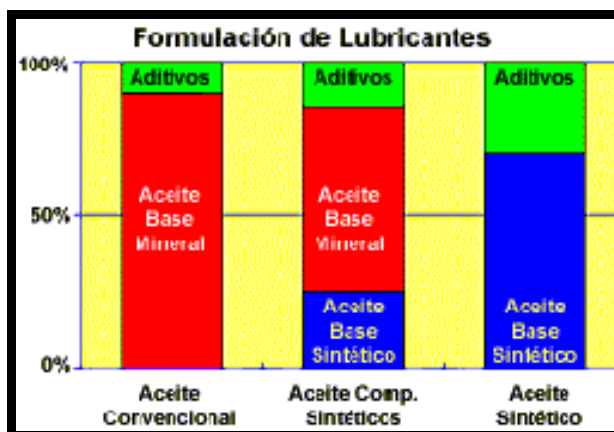


Fig. 9

Tipus	Aplicació principal
Polialfaolefines (PAO)	Automoció i Industrial
Ésters orgànics	Aviació y Automoció
Ésters fosfatats	Industrial

Taula 1: Aplicacions dels olis de base sintètics

Fluido	Fortalezas	Debilidades	Aplicaciones
Polialfaolefinas (PAO)	Alto IV, Alta estabilidad térmica y oxidativa; baja volatilidad; buenas propiedades de flujo a bajas temp; no tóxico	Limitada biodegradabilidad; limitada miscibilidad con aditivos	Lubricación de por vida; aviación civil; equipo móvil; localidades árticas; misiles y cohetes; plantas de energía
Diéster y Polioliésteres	No-tóxico; rápidamente biodegradable; alto IV; buenas propiedades a bajas temperaturas; limitada miscibilidad con minerales	Bajas viscosidades; baja estabilidad hidrolítica; limitada compatibilidad con sellos y pinturas	Industria de la construcción; forestal; acero y metales primarios; robótica; aceites de compresores; refrigeración
Éster Fosfatado	Resistente al fuego; no tóxico; fácilmente biodegradable; excelente protección al desgaste y escoriación	Bajo IV; limitada compatibilidad con sellos; no miscible con minerales; moderada estabilidad hidrolítica	Fluido hidráulico resistente al fuego en: Generación de energía, fábricas, buques, minería, aviación, equipo móvil
Poliálquilen Glicol	Soluble al agua; se quema limpiamente; excelente lubricidad; no-tóxico; fácilmente biodegradable; alto IV	Aditivos poco miscibles; no miscible con minerales; limitada compatibilidad con sellos y pinturas	Instalaciones de agua; fluido hidráulico resistente al fuego en aplicaciones marinas; fábricas; minería
Fluorocarbones	La mayor estabilidad química; rango de temperatura extrema; alta estabilidad a la radiación, térmica y oxidativa; resistente al fuego; compatible con sellos/pintura	Bajo IV; no miscible con aceites minerales o aditivos; moderada protección a la corrosión	Fluidos hidráulicos extremadamente resistentes al fuego; sistemas de control; lubricante de reactores nucleares; aplicaciones espaciales
Poli Fenil Éter	La mayor estabilidad a la radiación, térmica y oxidativa; alta estabilidad química; alta estabilidad hidrolítica	Peor en características de flujo a bajas temp.; el más bajo (negativo) IV; moderada compatibilidad a sellos y pinturas	Ultra-alta temperatura en aplicaciones aéreas y espaciales; lubricante de reactores nucleares
Silicones	El mayor IV; Alta estabilidad química; excelente compatibilidad con sellos; estable a la oxidación y térmica; propiedades eléctricas	Las peores propiedades en lubricación mixta; no es miscible con aceites minerales o aditivos	Fluidos hidráulicos de altas temperaturas; grasas; lubricantes en contacto con químicos o electricidad

Figura 10: Taula comparativa d'alguns dels compostos usats en la formulació d'olis sintètics. Font bibliogràfica [17]

	Aceite mineral	Dialquili benceno	Aromáticos alquilados	Hidrocarburos sintetizados	Hidrocarburos clorinados	Silicato de Ester	Esteres fosfatados	Poliglicoles	Polioléster	Diéster	Perfluoropoliéster	Siliconas	Polialfaolefinas
Costo	L	NA	NA	H	VH	H	VH	M	M	M	VH	H	M
Compatibilidad con sellos	L	A	NA	AA	BA	BA	BA	A	BA	BA	AA	AA	AA
Compatible con aceites minerales	-	E	NA	AA	NA	BA	BA	BA	A	A	BA	BA	E
Estabilidad a la corrosión	E	NA	E	AA	AA	A	AA	A	BA	BA	BA	A	E
Estabilidad a la Oxidación	BA	NA	NA	AA	E	AA	AA	AA	AA	A	E	E	AA
Rango de viscosidad	L	NA	H	M	M	H	H	H	M	M	H	VH	H
Punto de inflamación	M	AA	E	E	E	E	E	A	AA	A	E	E	AA
Punto de congelación	A	AA	VL	VL	H	VL	AA	M	L	L	L	VL	L
Rango de temperaturas	BA	A	AA	AA	A	E	AA	A	AA	A	E	E	AA

Figura 11: Taula comparativa de les propietats dels compostos usats en la formulació d'olis sintètics. Font bibliogràfica [17]

2.1.3 Additius

2.1.3.1 Definició

Els additius són aquells compostos químics afegits als olis base destinats a millorar les propietats naturals d'un lubricant i donar-ne d'altres que no posseeix i que són necessàries per a complir el seu règim de treball.

Les exigències de lubricació en els equips moderns i en les grans màquines en general, així com en els motors de combustió interna de molt elevades revolucions i càrter petit, obliga a reforçar les propietats intrínseques dels lubricants, mitjançant la incorporació d'additius químics en petites quantitats; així, el fet de que en quantitats molt petites es modifiqui profundament el comportament dels olis, ha fet que es generalitzi molt la seva utilització.

2.1.3.2 Propietats generals dels additius

Els additius s'incorporen en els olis en proporcions molt diverses, des de parts per milió (ppm) fins a un 20% en pes en alguns olis de motor. Cada additiu té encomanat una o varies missions a complir. D'aquesta manera podem classificar-los com a uni o multi funcionals.

Fonamentalment, els additius segueixen els següents objectius:

- 1- Limitar el deteriorament del lubricant a causa de fenòmens químics ocasionats arrel del seu entorn o activitat.
- 2- Protegir la superfície lubricada de l'agressió de certs contaminants.
- 3- Millorar les propietats físico-químiques del lubricant o proporcionar-li d'altres de noves.

2.1.3.3 Classificació dels additius

PROPIETATS		TIPUS D'ADDITIU
Propietats físiques	Viscositat	Milloradors de l'I.V.
	Congelació	Depressors del P.C.
Propietats químiques	Oxidacions a alta i baixa T ^a	Anti-oxidants
	Corrosions	Anticorrosius

	Rovell	Anti-rovell
Propietats físico-químiques	Detergents, dispersants i antioxidants	Detergents i antioxidants o multi funcionals (HD)
	Extrema pressió per engranatges	D'untuositat, anticorrosius i de E.P.
	Antiespumants	Contra la formació d'escuma
	Emulgents	Emulsionants



Figura 12: Classificació dels additius. Font bibliogràfica [17]

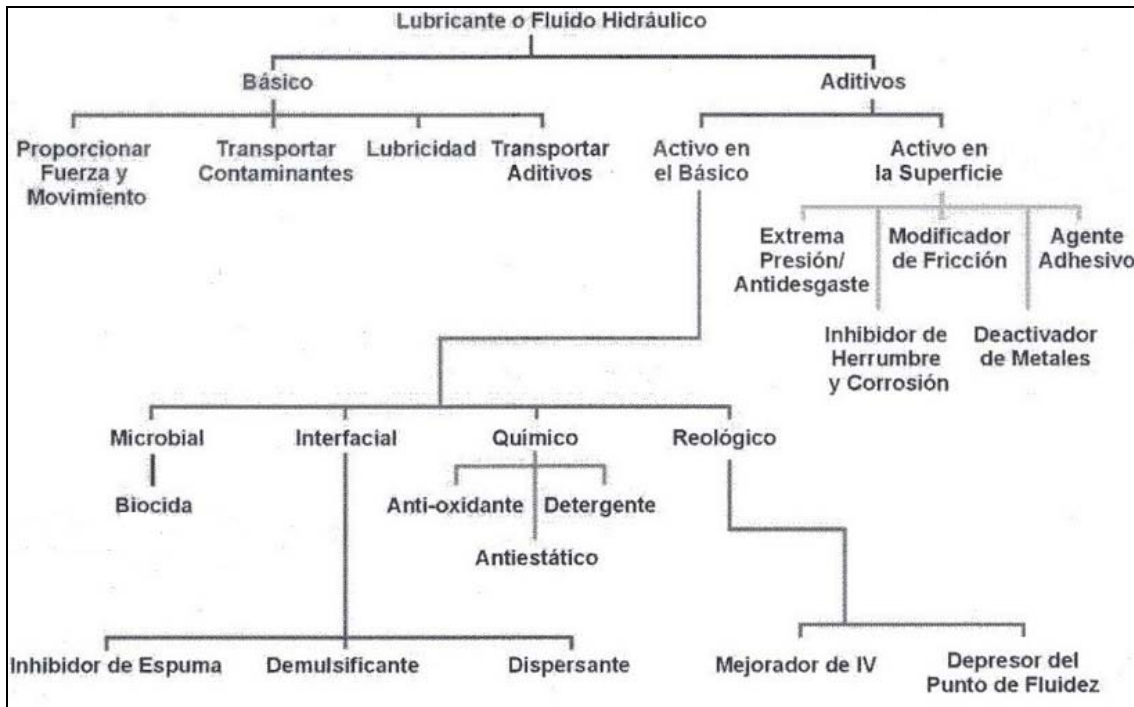


Figura 13: Esquema estructural on es mostren els rols de l'oli bàsic i dels additius. Font bibliogràfica [17]

Milloradors de l'índex de viscositat

Aquests additius no modifiquen les propietats intrínseques de l'oli, tal com l'estabilitat tèrmica i química, essent a més compatibles amb un altre additiu.

L'acció d'aquests additius sobre l'oli es tradueix com: un espessament general de l'oli a temperatures elevades (Augment de I.V.)

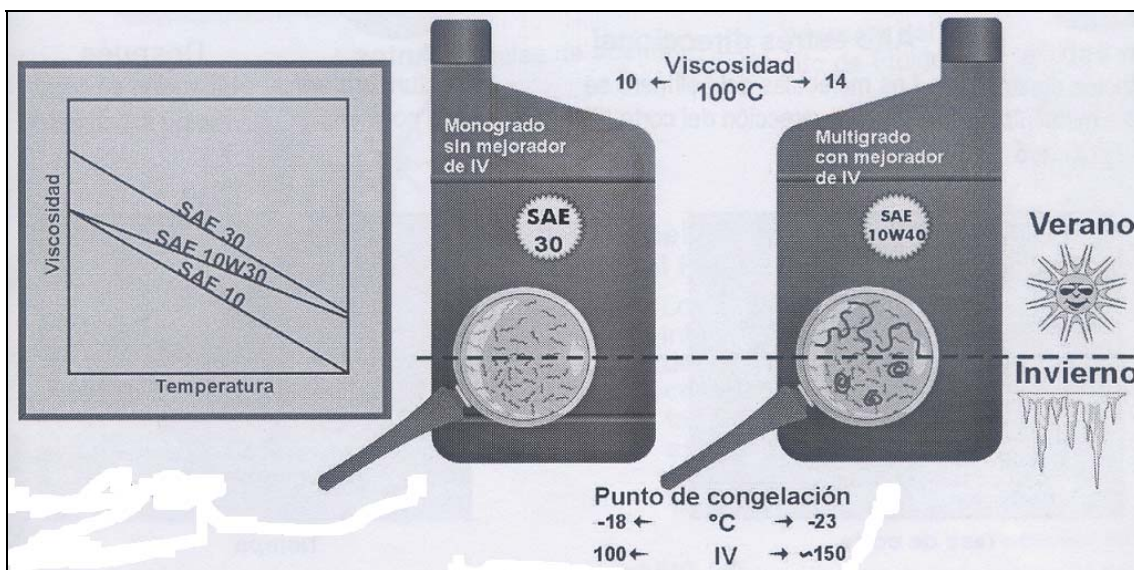


Figura 14: L'oli monograu és un fluid Newtonià, és a dir, no varia la seva viscositat amb la taxa d'agitació. L'oli multigrau no és Newtonià. En la figura es pot veure com l'oli multigrau no varia tant com el monograu amb la variació de temperatura. Font bibliogràfica [17]

Els milloradors de l'I.V. són productes químics que s'agreguen a l'oli lubricant amb la finalitat d'obtenir un producte el més proper possible al lubricant ideal (p.e: un el qual la seva viscositat sigui inalterable amb els canvis de T^a).

Els milloradors de I.V. són polímers del següent tipus:

- 1- Polisobutens
- 2- Copolímers d'alquil metacrilat
- 3- Copolímers d'alquil acrilat
- 4- Copolímers de vinil acetat-alquil fumarat
- 5- Poliestirè alquilat

El procés de treball d'aquests additius pot explicar-se a continuació: En presència de baixes temperatures, les molècules d'aquestes substàncies es contrauen ocupant molt poc volum i es dispersen en l'oli en forma de minúscules boletes dotades d'una gran mobilitat. Quan s'eleva la temperatura, les molècules de la massa d'oli augmenten de velocitat i les anomenades boletes s'agrupen formant estructures bastant compactes que s'oposen al moviment molècula de l'oli base, el qual es tradueix a un augment de la viscositat de la mescla.

Depressors del punt de congelació (o del punt de fluència)

L'objectiu principal dels depressors del punt de congelació és prevenir la congelació de l'oli a baixes temperatures per la cristallització de cera.



Figura 14: Diferències entre un oli amb depressors del punt de congelació i sense respectivament.
Font bibliogràfica [17]

Quan un oli procedent d'un cru parafínic se'l sotmet a baixes temperatures, pateix un canvi notable en el seu estat físic (congelació total), aquest fenomen es deu a l'alineament natural dels hidrocarburs que componen la massa de l'oli, provocant la cristal·lització a baixes temperatures de la parafina present en les fraccions d'aquest tipus de lubricants. Al tenir lloc la cristal·lització, la parafina tendeix a formar xarxes internes que absorbeixen l'oli, formant masses gelatinoses de gran volum, les quals restringeixen el flux o escurriment de l'oli.

Per obtenir oli de baix punt de congelació s'ha d'eliminar aquests productes que modifiquen el procés de cristal·lització de parafina, de manera que l'oli pot escorre's a baixa temperatura. Els tipus de depressors més utilitzats són:

- 1- Polímers i copolímers d'alquil metacrilat
- 2- Poliacrilamides
- 3- Copolímers de vinil carboxilat-dialquil fumarat
- 4- Poliestirè alquilat
- 5- Polímers i copolímers d'alfa-olefines

Antioxidants

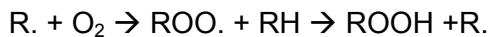
Els factors que influeixen en l'oxidació són els següents: temperatura, oxigen, temps, impureses químiques en l'oli i catalitzadors. En conseqüència, l'oli travessa per una sèrie complexa de reaccions d'oxidació. existeixen diverses teories sobre aquest fenomen, encara que la més clara és l'anomenada "de radicals lliures", on l'autooxidació es forma en tres fases: iniciació, propagació i terminació, caracteritzada per la combinació de radicals lliures de molècules inertes i la transformació d'hidroperòxids en aldehids i àcids. Com a resultat d'aquesta polimerització, l'oli s'enterboleix, augmenta la viscositat i es formen llots.

Ex:

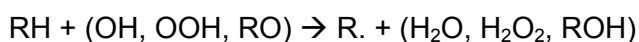
Els hiperhidròxids són inestables i en presència de catalitzadors poden donar a lloc a radicals lliures hidrocarbonats i oxigenats:



Els radicals alquilics reaccionen molt ràpidament amb l'oxigen i formen radicals de peròxids que s'estabilitzen prenent un àtom d'hidrogen d'una molècula d'hidrocarbur. Els nous radicals alquilics tornen a reaccionar amb l'oxigen formant-se una reacció en cadena:

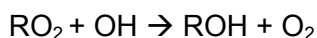


La resta de radicals oxigenats també poden prendre àtoms d'hidrogen de les molècules hidrocarbonades.



A mesura que s'acaben els hidroperòxids, s'inicien noves cadenes, accelerant-se la reacció, així les primeres etapes són lentes, però la resta es propaga amb major velocitat de reacció, a menys que existeixi algun agent capaç de desviar el curs de les reaccions.

Els productes primaris de l'oxidació apareixen com a conseqüència de les reaccions de l'hidrocarbur amb els radicals lliures o per interacció entre sí:



El procés condueix a la formació d'alcohols, aldehids i cetones o bé a la dimerització d'hidrocarburs. La següent oxidació dona a lloc a la formació d'àcids carboxílics o a una polimerització progressiva. Alguns productes (àcids) poden atacar fortament els metalls i d'altres (productes oxigenats i d'elevat pes molecular) originen un augment de la viscositat.

L'oxidació de productes parafínic i naftènic, a trets generals, origina productes àcids molt corrosius i altres combinacions d'estructures més viscoses, solubles o volàtils.

Els hidrocarburs aromàtics són més fàcilment oxidables:



Els productes originats en aquesta reacció solen ser insolubles en l'oli, produint llots, resines i vernissos.

Quan un oli està en servei, exposat a elevades temperatures, es troba en condicions molt favorables a la degradació tèrmica i l'oxidació. Agreujat en presència de metalls procedent del desgast o de sals de plom procedents del carburant, actuant com a catalitzadors de l'oxidació.

Els antioxidants o inhibidors de l'oxidació són additius que s'utilitzen per reduir els efectes nocius de l'oxidació en l'oli. Aquestes són substàncies capaces de retardar o impedir la fixació de l'oxigen lliure sobre els compostos auto-oxidables, i per tant, la polimerització d'aquests. Els principals antioxidants utilitzats actualment són:

- 1- ditiòsulfat de zinc (també resulta efectiu per a la corrosió)
- 2- Fenols amb el grup hidroxil bloquejat estèricament
- 3- Amines: N-fenil-(alfa i beta)- naftilamina, tetrametildiaminodifenilmetà, àcid antranílic, fenotiacina i derivats alquilats.

Anticorrosius

Els primers tipus d'inhibidors de corrosió utilitzats en els motors van ser els fosfats orgànics. La majoria no eren productes purs, eren mesclades de mono, di, tri organofosfats, obtinguts mitjançant la reacció d'alcohols o hidroxièsters amb triclorur de fòsfor. Al voltant del 1945 la majoria d'inhibidors a base de fosfats es van substituir per compostos de sofre i fòsfor, els quals es segueixen utilitzant avui en dia. Els principals tipus d'inhibidors de corrosió actualment són:

- 1- Ditiòsulfats metàl·lics de Zn
- 2- Ditiocarbonata metàl·lics de Zn
- 3- Terpens sulfuritzats
- 4- Terpens fosfosulfuritzats

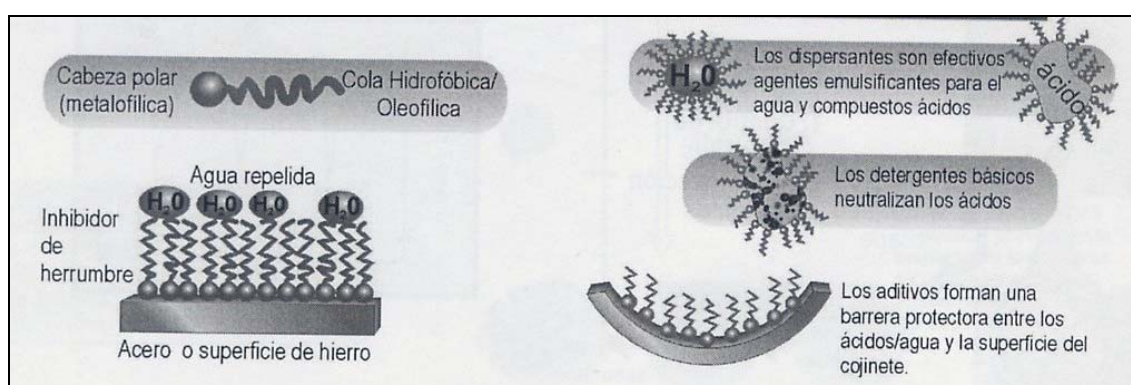


Figura 15: Els inhibidors de corrosió protegeixen els coixinets a base de coure, estany i plom, neutralitzant els àcids i sellant les superfícies de contacte amb l'aigua i àcids corrosius. Font bibliogràfica [17]

Anti-rovell

El terme antirovell s'utilitza per a descriure els productes que protegeixen les superfícies ferroses contra la formació d'òxid. En els sistemes de lubricació recirculant, com els utilitzats en les turbines, trens de laminat, circuits hidràulics, etc. L'oli utilitzat ha de suportar la presència d'aigua lliure o dissolta; aquesta aigua, procedent de la majoria de casos per a condensació, porta a la formació de rovell en les superfícies de ferro o acer dels sistemes que contenen l'oli. El mateix passa amb l'interior dels càrters o allotjament de l'oli pels engranatges, coixinets, compressors, motors d'explosió, etc.

Si una pel·lícula d'oli roman sobre les superfícies fèrriques, s'evita el seu rovell incorporant a l'oli additius amb una atracció polar en les esmentades superfícies. S'aconsegueix la formació d'una pel·lícula molt tenaç que actua de barrera contra la humitat.

Els additius antirovell són compostos polars que desplacen la humitat, que pot trobar-se present sobre les superfícies metàl·liques i formen la pel·lícula protectora, gràcies a fenòmens d'absorció que fan que les seves molècules quedin fortament lligades al metall, separant-se de l'oli.

S'utilitzen com a additius anti-rovell:

- 1- Sulfoncits
- 2- Amines
- 3- Àcids grassos
- 4- Fosfats
- 5- Èsters

Detergents

Els additius detergents són aquells productes capaços d'evitar o reduir la formació de dipòsits carbonosos en les ranures dels motors de combustió interna quan operen a altes

temperatures, així com l'acumulació de dipòsits a la camisa del pistó, guies i tiges de vàlvules.

Com a additius antiàcids, alcalins o superbàsics, s'entenen aquells productes, generalment del tipus detergent, que posseeixen una reserva alcalina capaç de neutralitzar els àcids que s'originen de la combustió del sofre present en el combustible (s'expressa en T.B.N.).

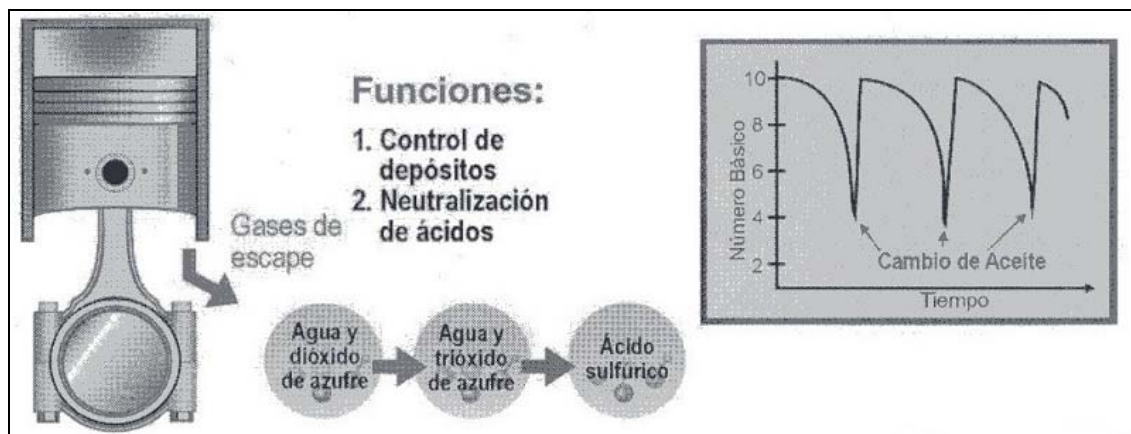


Figura 16: Els detergents treballen en les zones de combat del motor (anells, cilindres, pistons i vàlvules) per a mantenir les superfícies lliures de dipòsits, especialment en les ranures dels anells. Font bibliogràfica [17]

Els olis de motor es veuen obligats a treballar sota l'acció d'elevades temperatures que tendeixen a originar canvis en la naturalesa química de l'oli, donant lloc als productes d'oxidació. Aquests, insolubles en l'oli, apareixen com a diminutes partícules i arriben a aglomerar-se o a dipositar-se en les parts internes del motor. Les primeres es sedimenten en el càrter com a llots amb aspecte de quitrà i les altres es dipositen en la camisa del pistó formant laques i vernissos.

Sense l'ajut d'un oli detergent apropiat, l'oli no pot desprendre's o mantenir en suspensió els dipòsits que es produeixen.

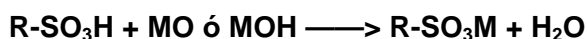
Resulta molt comú confondre els termes: detergent i dispersant, ja que a la neteja del motor s'associa més la propietat detergent que la de dispersant. Com a dispersants s'entenen aquells productes capaços d'impedir la precipitació dels originats com a conseqüència d'operar els motors de combustió interna a baixes temperatures amb abundant condensació d'aigua sobre l'oli.

Els materials del tipus detergent són, generalment, molècules que tenen una llarga “cua” hidrocarbonada i un extrem polar. La secció de la “cua” (un grup oeofílic), serveix com solubilitzant en el fluid de base, mentre que el grup polar és atret pels contaminants en el lubricant.

L'estructura molecular i una breu ressenya dels mètodes de preparació per alguns dels dispersants metàl·lics més representatius s'expliquen a continuació:

Sulfonats

Els sulfonats són els productes de neutralització d'un àcid sulfònic amb una base metàl·lica. La reacció es pot il·lustrar com:

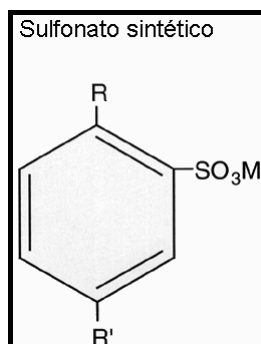


On MO = òxid de metall divalent i MOH = Hidròxid de metall divalent. R representa un radical orgànic que actua com un grup soluble en l'oli.

El pes molecular d'un hidrocarbur ha d'ésser de l'ordre de 350 o més, i la presència d'un radical orgànic en la molècula es considera necessari per la solubilitat del sulfonat en l'oli. Els sulfonats comercialment disponibles són de dos tipus: Sulfonats de petroli i sintètics.

Sulfonats de petroli (o naturals) són sals metàl·liques d'àcids sulfònics que van ser, primàriament, subproductes del tractament de fraccions de petroli amb àcid sulfúric, en la fabricació d'olis blancs. Actualment, amb la gran demanda d'olis deterius, els sulfonats han deixat de ser un subproducte per passar a ser el producte principal. L'estructura de la porció orgànica dels sulfonats de petroli no és completament coneguda. Depenent de la font del petroli cru, l'estructura pot tenir proporcions variables de grups alifàtics, naftènics i aromàtics.

Sulfonats sintètics. Són sals metàl·liques d'àcids produïdes per la sulfonització d'aromàtics alquilats per reacció amb triòxid de sofre. En molts casos, els sulfonats sintètics van ser derivats del benzè amb substituents alquilics llargs, llur estructura es mostra més avall, on R i R' són radicals alifàtics amb un nombre de carbonis combinats major de 20.

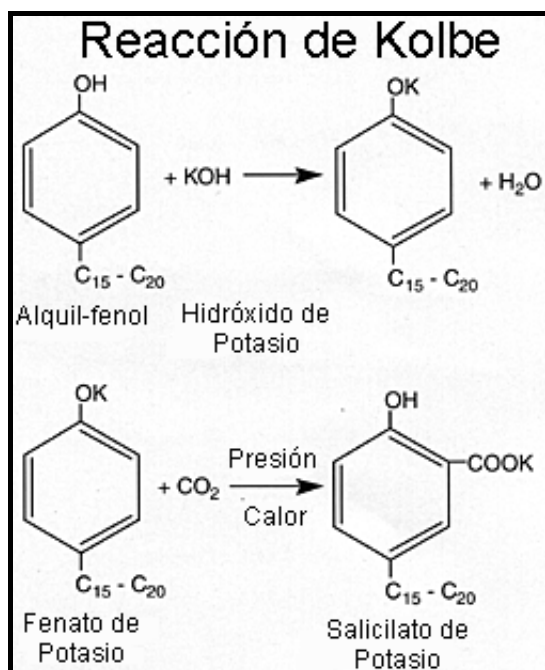


La majoria dels cations metàl·lics dels detergents en base a sulfonats són calci, magnesi i sodi. Els sulfonats alcalinoterris es poden preparar per reacció directa de l'àcid sulfònic amb l'òxid metàl·lic o hidròxid, o bé fent reaccionar el sulfonat de sodi amb el clorur del metall.

Els sulfonats solubles en oli que contenen una quantitat de metall en excés per sobre de l'estequiomètrica s'anomenen sulfonats bàsics. Entre els avantatges dels sulfonats bàsics cal remarcar la gran habilitat per a neutralitzar substàncies àcides, a més de servir com a dispersant dels contaminants.

Salicilats

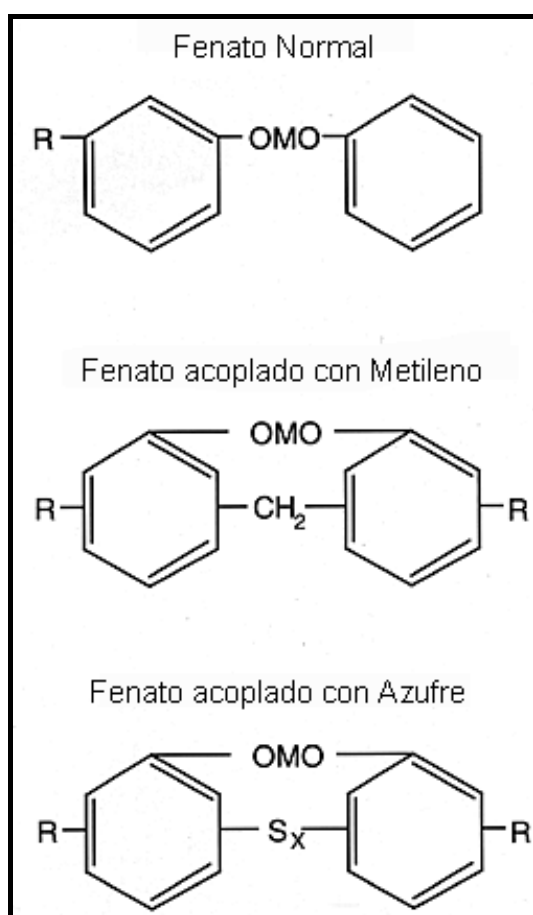
Es preparen generalment a partir d'alquil-fenols per una reacció química coneguda com reacció de Kolbe:



El salicilat de potassi pot fer-se reaccionar amb clorur de calci o de magnesi. La sal resultant serveix per a formular detergents altament bàsics que han provat de ser efectius en olis per a motors Dièsel.

Fenats i sals de fenols sulfurats

Una àmplia classe de fenats metàl·lics inclouen les sals d'alquil fenols, sulfurs d'alquil fenols i aldehids d'alquil fenols. La solubilitat en oli s'aconsegueix mitjançant alquilació del fenol amb olfines que generalment contenen set o més àtoms de carboni.

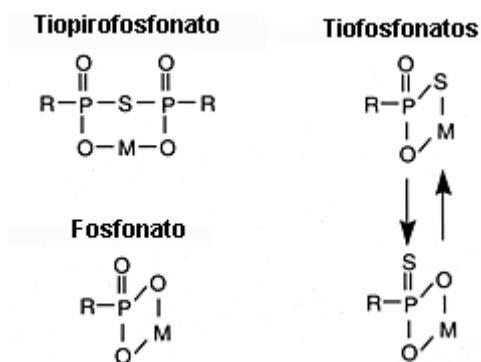


El sofre s'incorpora en els fenats per reacció de l'alquil fenol amb clorur de sofre o sofre elemental. La introducció del sofre i la presència d'un pont metilè baixa la corrosivitat dels productes fins als materials dels coixinets i millora les seves característiques antioxidants.

Els fenats de calci són els més usats normalment. Es fabriquen per reacció dels fenols substituïts amb els òxids o hidròxids dels metalls. Els fenats bàsics es poden produir

utilitzant un excés de la base metàl·lica per sobre la quantitat teòrica requerida per formar un fenat neutre. Els fenats bàsics tenen un gran poder neutralitzant dels àcids per unitat de pes. Tals productes tenen de dos a tres vegades la quantitat de metall per a fenats neutres.

En les estructures dels diferents fenats ensenyats M = metall divalent i R = grup alquílic.



Tiofosfonats

Els productes comercials d'aquest tipus són, generalment, derivats de components àcid produïts per la reacció entre polibutè (en el rang de pes molecular de 500 a 1000) i pentasulfur de fòsfor. Un estudi de l'estructura d'aquests compostos indica que les sals orgàniques presents són, principalment, tiofosfonats, acompanyades en alguns casos per 10 a 25% de tiofosfonats i fosfonats. També poden ser preparats fosfonats i tiofosfonats solubles en oli que contenen metall en excés per sobre de la quantitat estequiomètrica, encara que el seu ús ha anat disminuint.

Dispersants

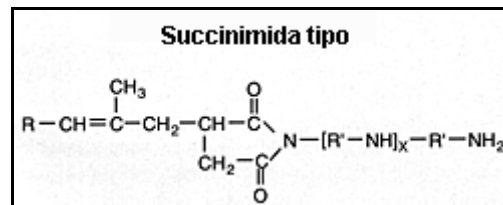
El terme dispersant es reserva per a designar aquells additius capaços de dispersar els llots humits originats en el funcionament en fred del motor. Solen estar constituïts per una mescla complexa de incremats de la combustió: carbó, òxids de plom i aigua. Els dispersants recobreixen cada partícula amb una pel·lícula per mitjà de forces polars, les quals es repelen elèctricament amb les altres partícules, evitant la seva aglomeració, actuant com a acció complementària dels detergents que exerceixen certa acció dispersant sobre els llots del càrter, però només operen quan les temperatures del motor són les normals. Per a temperatures baixes dels motor, la investigació s'orienta cap al desenvolupament de compostos orgànics lliures de metall, els quals es denominaren originàriament: detergents sense cendres o dispersants.

Els compostos útils per a aquest propòsit es caracteritzen per un grup polar lligat a una cadena hidrocarbonada d'un relatiu alt pes molecular. El grup polar, generalment conté un o més dels següents elements: nitrogen, oxigen i fòsfor. Les cadenes solubilitzants són sovint d'un pes molecular major que les utilitzades en els detergents; tanmateix en alguns casos són bastants similars.

A continuació descriurem alguns dels productes comercials més usats com a dispersants:

Alquenil succinimides de cadena llarga N-substituïdes

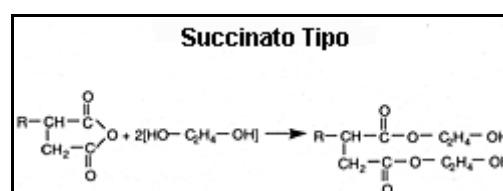
La majoria dels productes usats són d'aquest tipus o relacionats que corresponen a la següent fórmula general:



L'intermediari àcid alquenilsuccínic s'obté per condensació d'una olefina polimeritzada, normalment un poliisobutilè amb un pes molecular en el rang de 800-1200, amb anhídrid maleic. La part bàsica de l'additiu, usualment, prové de N-amino alquilpoliamines, especialment les polialquilenamines tals com triètilentetramina, tetraètilen pentamina, etc.

Èsters d'alt pes molecular

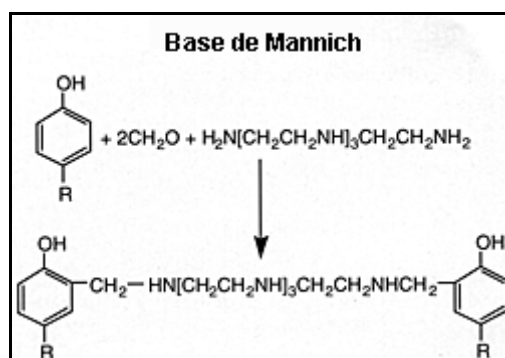
Els materials d'interès comercial en aquesta àrea inclouen productes formats per l'esterificació d'olefines substituïdes d'àcids succínics amb alcohols alifàtics. L'olefina substituent en els àcids té com a mínim 50 àtoms de carboni alifàtics i un pes molecular entre 700 i 5000. Un exemple de tals materials és el producte de reacció de l'etilenglicol, amb un anhídrid succínic substituït:



En aquesta reacció es poden utilitzar polialcohols, tals com, glicerol, pentaeritritol i sorbitol.

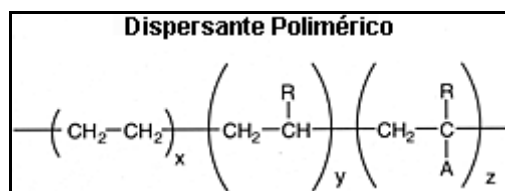
Bases de Mannich a partir de fenols alquilats d'alt pes molecular

S'utilitzen per la condensació d'un fenol alquil substituït, d'alt pes molecular, una alquilenpoliamina i un aldehyd tal com formaldehid. Una descripció de la reacció de polipropilfenol, tetraetilenpentamina i formaldehid és:

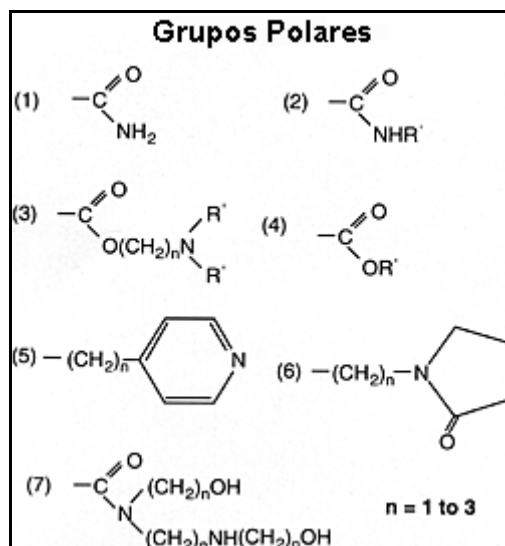


Dispersants polimèrics

Aquests dispersants sense cendres poden servir per la funció dual de: dispersant i modificador de viscositat. Tenen dues característiques estructurals diferents: aquelles que són similars als materials usats com a modificadors de viscositat i aquelles dels compostos polars (que imparteixen propietats dispersives). La fórmula general per als dispersants polimèrics podria ser:



On la porció hidrocarbonada és un grup oleofílic, A = grup polar i R = grup alquil C₁₋₆, grup alqueni C₄₋₆, o alquil. Algunes de les moltes possibilitats de grups polars són:



D'extrema pressió

Són aquells capaços d'evitar el contacte destructiu metall-metall, una vegada desapareguda la pel·lícula de lubricant (en lubricació hidrodinàmica), arribant així a una lubricació límit.

Els additius d'extrema pressió han de contenir un o més elements o funcions: sofre, clor, fòsfor o sals carboxíliques capaces de reaccionar químicament amb la superfície del metall sota condicions de lubricació límit. Aquesta facilitat o activitat en què un additiu pot reaccionar amb la superfície del metall determina la seva aplicació: olis de tall, engranatges normals, engranatges hipoïdals, olis de turbina, etc.

Aquests productes semblen ser que actuen localment en els punts de màxima fricció donant lloc a sulfurs, clorurs, etc. Amb una tensió de tall baixa que els fa actuar com a lubricant.

Els més utilitzats són:

- 1- Cloroparafines, olis animals i vegetals sulfuritzats i sulfo-fosforitzats, mescla de mono i dialcoholfosfats.
- 2- Ditiófosfat de zinc

D'untuositat

Són compostos que, essent solubles amb oli, presenten una forta polaritat, Aquest és el cas dels àcids animals i vegetals, els quals permeten, en condicions de lubricació límit, disposar les seves molècules adherides a la superfície metàl·lica mitjançant forces del tipus electrostàtic o químic, protegint-les quan existeixen fortes càrregues o pressions en superfícies metàl·liques que es desplacen entre si. S'utilitzen en lubricació de guies, trens de laminació i certs tipus d'engranatges.

Antiespumants

Quan un oli està sotmès a una acció d'agitació violenta, en presència d'aire en forma de bombolla, de grandàries variades, les quals tendeixen a pujar a la superfície, formant una escuma més o menys persistent. Així, les bombolles de major grandària es trenquen amb més facilitat que les petites, on l'efecte de la tensió superficial de l'oli juga un paper important. La tendència a la formació d'escuma ve incrementada per: temperatures baixes, viscositat elevada, presència d'aigua, velocitats d'agitació elevades i tensions superficials altes.

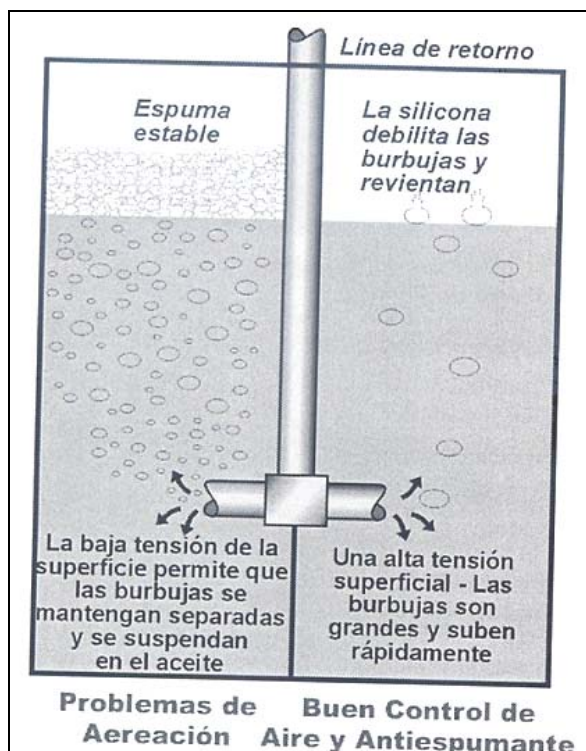


Figura 17: Baixa i alta tensió superficial respectivament. Ha d'existir una tensió superficial intermitja.

Font bibliogràfica [17]

La presència d'escuma és sempre perjudicial en els sistemes de lubricació, ja que pot plantejar problemes de rebossaments en recipients i caixes d'engrenatges, interferències en la formació de l'encast hidrodinàmic en els coixinets amb el subsegüent risc de fallades mecàniques, finalment i degut a que l'aire és compressible, un comportament irregular en la transmissió de potència en sistemes hidràulics.

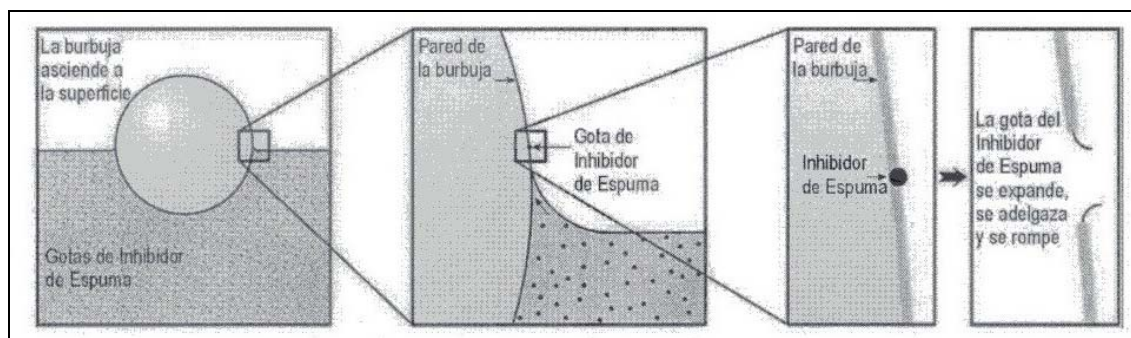


Figura 18: Mètode de funcionament dels antiespumants. Font bibliogràfica [17]

La presència de cossos estranys en l'oli tals com gasos, amb temperatures inferiors als 100°C, produeixen el que els olis minerals purs de per si no poden tallar la formació d'espumes degut al gran gruix que els dona la pel·lícula lubricant. Aquestes bombolles o escumes permanents produeixen el pas de l'oli pels conductes, com passa en els mecanismes amb comandaments hidràulics. Els additius antiespumants tenen la missió d'evitar aquestes bombolles i, en la major part dels casos, actuen aprimant l'envoltori de la bombolla de l'aire fins a la seva ruptura, modificant tensions superficials i interfacials de la massa de l'oli.

Els problemes que crea l'escuma, poden evitar-se addicionant als olis additius antiespumants els quals disminueixen el valor de la tensió superficial de l'oli. L'agent més efectiu i d'ús més generalitzat és un cert tipus d'oli de silicona, constituït per polímers de silicona que s'addiciona en proporcions inferiors al 0,001%.

Emulsionants

Aquests s'utilitzen en els olis que es destinen a la lubricació de maquinària exposada al contacte amb aigua ja que es forma una emulsió perfecta, evitant que l'oli sigui desplaçat o rentat amb els òrgans a lubricar. Aquests additius milloren l'estabilitat de les emulsions (baixant la tensió interfacial del sistema i protegint les gotes d'aigua per una pel·lícula interfacial).

Les emulsions estables són, generalment, indesitjades per a qualsevol altre mecanisme. Així, sols es recomanen en aquells casos en que el servei ho requereixi, ja que una emulsió estable redueix el poder lubricant (afavoreix la formació de rovell i obstrueix els filtres d'oli). Per tant, només s'utilitzen en maquinària de coberta de vaixells i èmbols mecànics en màquines de vapor.

2.1.3.4 Condicions de la maquinària que necessiten additius

	Fluidos Hidràulicos	Aceites de Turbina de Vapor	Aceites de Motor	Aceites de Engranajes	Aceites de Compresor	Aceites de Rodamientos
Anti-Oxidantes	Agua, altas temperaturas, aereación, partículas de metal	Agua, superficies calientes	Agua, azufre (diesel), altas temperaturas, aromáticos (diesel), aereación, partículas de metal	Agua, altas temperaturas, partículas de metal, aditivos EP, altas viscosidades	Agua, altas temperaturas, aereación	Agua, altas temperaturas, aereación
Agentes EP y Anti-desgaste	Lubricación límite en bombas, motores y activadores, condiciones de alta presión y bajas viscosidades	No se utilizan frecuentemente	Contactos de lubricación escasa en levas, camisas y anillos, engranajes	Contactos de lubricación escasa en dientes de engranes y rodamientos	Contactos de lubricación escasa en levas, camisas y engranajes	Contactos de lubricación escasa en las pistas de los baleros
Inhibidores de Corrosión	Superficies de bronce y latón	Metales blancos, babbitt, humedad	Chumaceras, metal amarillo, bujes, arandelas de empuje, anillos y camisas, combustible con alto contenido de azufre y fuga de gases	Metales amarillos, coronas de sinfin, metales blancos	Chumaceras, metal amarillo, bujes, arandelas de empuje, humedad	Metales de chumaceras, jaulas de rodamientos
Agentes Demulsificantes	Alto ingreso de agua, agua de condensación, riesgos de cavitación	Agua proveniente del vapor	No usados	Agua de condensación, lavado a presión y vapor	Agua del aire comprimido	Agua de condensación, lavado a presión y vapor
Inhibidores de Herrumbre	Humedad por bajas temperaturas, condensación, y uso intermitente, fluidos base agua, fugas de enfriadores	Humedad proveniente del vapor	Humedad de la combustión, fuga de gases, bajas temperaturas y uso intermitente	Condensación por bajas temperaturas y uso intermitente	Humedad del aire comprimido	Condensación e ingreso de vapor
Inhibidores de Espumación	Tanques pequeños, mal diseño de línea de retorno, difusores, humedad, oxidación	No usado generalmente	Humedad, tanques pequeños, alta agitación	Agitación por salpique, humedad, alta viscosidad, tanques pequeños	Oxidación, aire comprimido, agua en el aceite, detergentes	Alta agitación, tanques pequeños, humedad
Mejoradores de IV	Condiciones de arranque en frío y operación en caliente	No usado generalmente	Condiciones de arranque en frío y operación en caliente	No usados generalmente	No usados generalmente	No usados generalmente
Detergentes y Dispersantes	No usado	No usado	Hollin de fuga de gases, control de depósitos en ranuras de anillos y en asientos de válvulas, bajas temperaturas	No usados	Control de depósitos en las superficies de las válvulas	No usados, excepto en máquinas de papel
Depresores del punto de fluidez	Condiciones de arranque en frío (Aceites minerales parafínicos)	No usado	Condiciones de arranque en frío (Aceites minerales parafínicos)	Condiciones de arranque en frío (Aceites minerales parafínicos)	Condiciones de arranque en frío (Aceites minerales parafínicos)	No usados generalmente

Taula 2: Condicions de la maquinària que necessiten additius. Font bibliogràfica [17]

2.1.4 Diagnòstic d'avaries per anàlisi de la degradació i contaminació de l'oli.

Els sistemes de lubricació juguen un paper molt important en el funcionament de qualsevol tipus de màquina i tenen encomanades una sèrie de funcions entre les que destaquen:

- Lubricar les parts sotmeses a fricció (reduir la fricció i, per tant, el desgast i l'energia consumida per aquest concepte).
- Dissipar el calor generat per fricció
- Reduir fugues internes
- Protegir les peces de la corrosió
- Arrastrar partícules, condensat i sediments netejant i controlant la formació de fangs

Per a què l'oli pugui complir totes aquestes funcions satisfactòriament s'ha de mantenir net, químicament estable i lliure de contaminants. Per això els símptomes que serveixen per controlar l'estat del sistema de lubricació són la degradació i la contaminació de l'oli.

A més a més, és fonamental que la pressió, temperatura i cabal d'oli es mantingui dins d'aquests valors apropiats en cada cas.

La degradació de l'oli és el procés pel que es redueix la seva capacitat per a complir les seves funcions per alteració de les seves propietats.

La contaminació de l'oli es deu a la presència de substàncies estranyes, tan per causes externes com internes:

- Elements metàl·lics, procedents del desgast de peces sotmeses a fricció i que produeixen, a la vegada, desgast abrasiu.
- Òxids metàl·lics, procedents de l'oxidació de peces i desgast de les mateixes que originen, igualment, desgast abrasiu.
- Pols i altres impureses, que s'introdueixen en el sistema de lubricació i procedeixen del medi extern (filtres trencats, orificis, respiradors, etc.)
- Aigua procedent dels sistemes de refrigeració i/o condensació d'humitat atmosfèrica
- Combustibles que dilueixen l'oli
- Productes procedents de la degradació dels olis, com vernissos i laques que resulten del procés d'envelliment de l'oli.

La contaminació i degradació de l'oli estan íntimament relacionades, ja que per una part, la contaminació altera les propietats físiques i químiques relacionades, ja que la

contaminació altera les propietats físiques i químiques de l'oli accelerant la seva degradació. I per altra part, la degradació produeix substàncies no solubles en l'oli que faciliten el procés de desgast.

2.1.4.1 Viscositat

La viscositat és la propietat física més important del lubricant, ja que fixa les pèrdues per fricció i la capacitat de càrrega dels coixinets.

La viscositat de l'oli depèn de la temperatura. Per expressar la tendència de l'oli a canviar la seva viscositat amb la temperatura s'utilitza l'índex de viscositat, que s'obté de la comparació de la viscositat de l'oli en SSU a 100°F amb la dels altres dos olis en les mateixes condicions, però un d'ells té poca variació de la viscositat amb la temperatura (base parafínica, al que s'assigna arbitràriament el valor 100) i un altre llur variació és molt elevada (base naftènica, al que s'assigna el valor 0).

L'índex de viscositat és menys significatiu com paràmetre de diagnòstic que la viscositat per degradació dels additius corresponents no és detectable en la majoria dels casos.

La viscositat es mesura mitjançant viscosímetres, distingint-se diversos mètodes:

- Mesura de la viscositat mitjançant el temps d'escorriment de l'oli a través d'un capil·lar. Són els anomenats viscosímetres cinemàtics (Ostwald, etc.)
- Mesura de la viscositat mitjançant el temps d'escorriment de l'oli a través d'un petit tub o orifici. Entre ells es troben els viscosímetres Saybolt, Redwood i Engler.
- Mesura de l'efecte de cisallament, produït en l'oli contingut entre dues superfícies, sotmeses a un moviment relatiu. Són els viscosímetres dinàmics (MacMichel, etc.)
- Mesura de la viscositat mitjançant el temps de desplaçament d'un objecte sòlid a través de l'oli. Els de boles posseeixen dos tubs que s'omplen d'oli nou i usat.

- Utilitzant dues boles similars per a mesurar la diferència de viscositat entre els dos olis. Són els anomenats viscosímetres comparatius.

Un oli en servei pot augmentar, disminuir o mantenir constant la seva viscositat.

- La viscositat disminueix, normalment, per contaminació amb el combustible (motors tèrmics), mescla amb condensables del gas comprimit (compressors de gas combustible), contaminació amb un altre oli menys viscos, etc.

- La viscositat augmenta normalment per oxidació de l'oli, que dóna lloc a la formació de productes de descomposició més viscosos, partícules carbonoses i altres contaminants. Això pot passar per contaminació tan interna com externa, tan de partícules sòlides com aigua. Algunes fallades típiques són:

- Combustió defectuosa
- Filtre d'aire d'admissió obstruït
- Turbocompressor defectuós
- Desgast excessiu en els conjunts camisa-segments
- Fallades en sistema de refrigeració que produeixen fugues d'aigua
- Filtre d'oli brut o obstruït

- Si la viscositat es manté constant no significa sempre que les propietats de l'oli no s'hagin alterat, ja que poden coexistir falles que tendeixen a disminuir la viscositat juntament amb altres que tendeixen a augmentar-la, compensant-se els seus efectes.

Paràmetres de diagnòstic:

Els paràmetres de diagnòstic associats a la viscositat de l'oli són la mesura de la mateixa, pels diversos mètodes:

- a) Viscositat absoluta o dinàmica (μ), mesurada directament amb viscosímetres dinàmics
 - La seva equació de dimensions: $[\mu] = [F] [T] [L]^{-2}$
 - La seva unitat en el S.I. és el $N.s/m^2 = 1 Pa \cdot s$
 - Encara s'utilitza la unitat del sistema c.g.s.: $1 dina.s/cm^2 = 1P$ (poise) i és submúltiple el centipoise: $1 cP = 10^{-2} P$
 - És la mesura que s'ha d'usar per olis usats

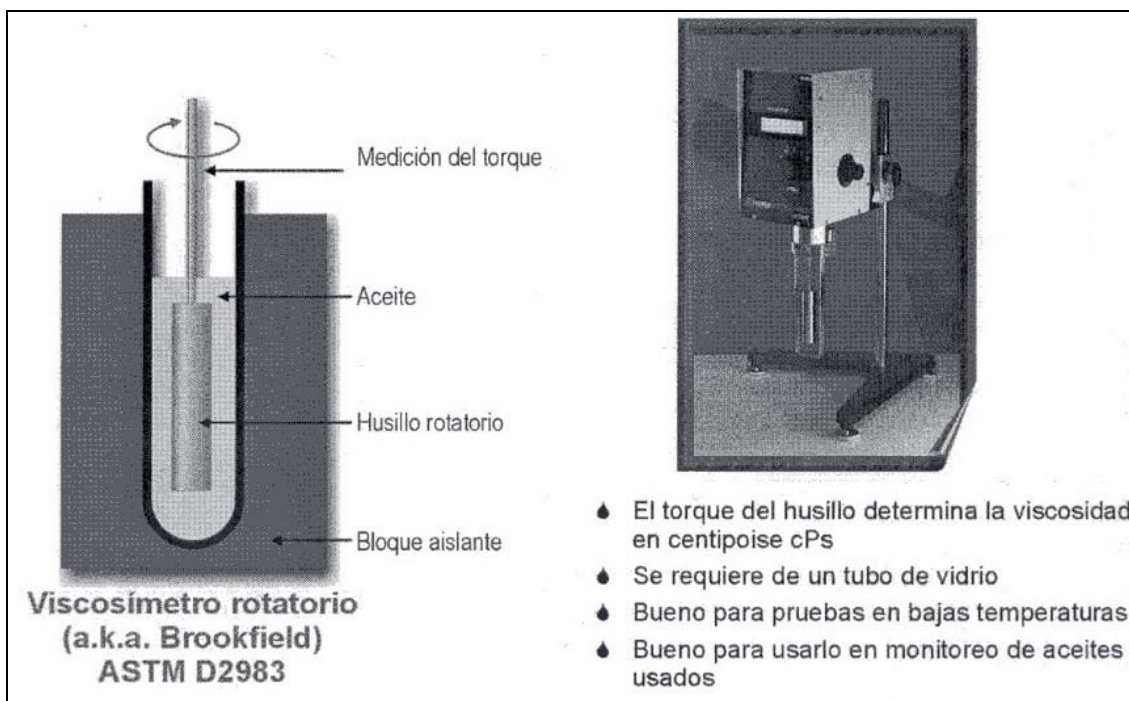


Figura 19: Instruments de mesura de la viscositat absoluta. Font bibliogràfica [17]

b) Viscositat cinemàtica $\nu = \mu/\rho$

- La seva equació de dimensió: $[\nu] = [L]^2 [T]^{-1}$
- La seva unitat en S.I. és m^2/s

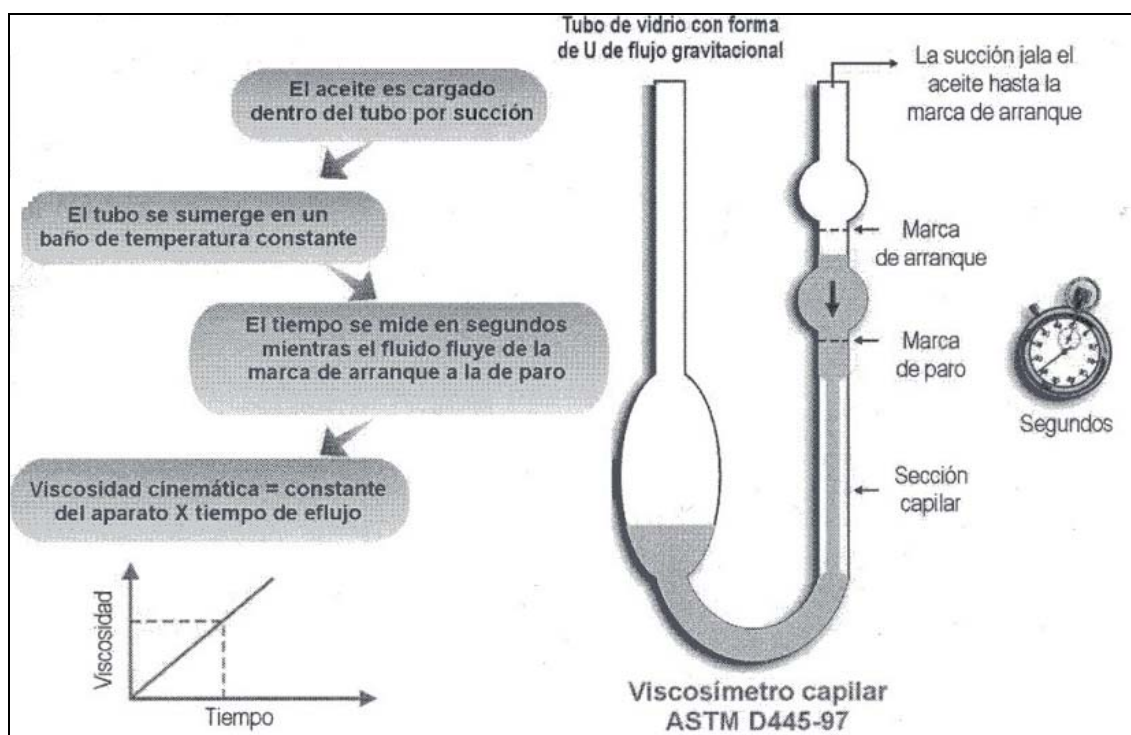


Figura 20 Instrument de mesura de la viscositat cinemàtica. Font bibliogràfica [17]

c) Viscositat en altres unitats empíriques: graus Engler, segons Saybolt, segons Redwood, etc.

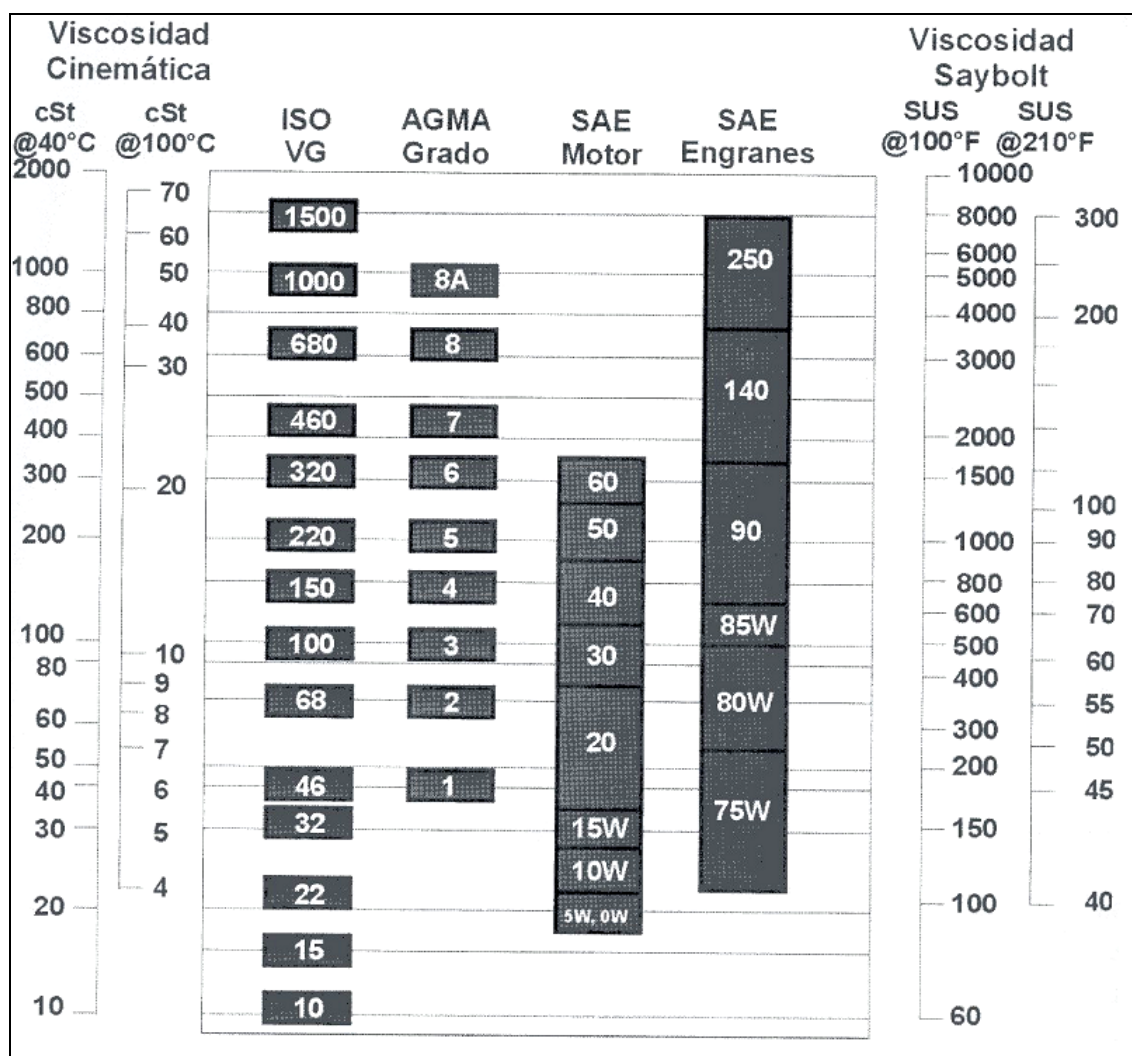


Figura 21: Quadre comparatiu de les viscositats. Font bibliogràfica [17]

Per conèixer la viscositat d'un oli que és el resultat de la mescla entre altres dos olis es pot fer de la següent manera amb l'ajuda de la taula que es pot veure a continuació.

El procediment a seguir és el següent:

- Traçar una línia entre les viscositats dels dos olis a barrejar (línia de punts).
- Dibuixar una línia horitzontal de la viscositat desitjada
- En el lloc on es toqui amb la línia de punts, es traça una línia vertical a l'escala de percentatges

- El valor indica la quantitat del producte de major viscositat que es necessita utilitzar en la mescla.

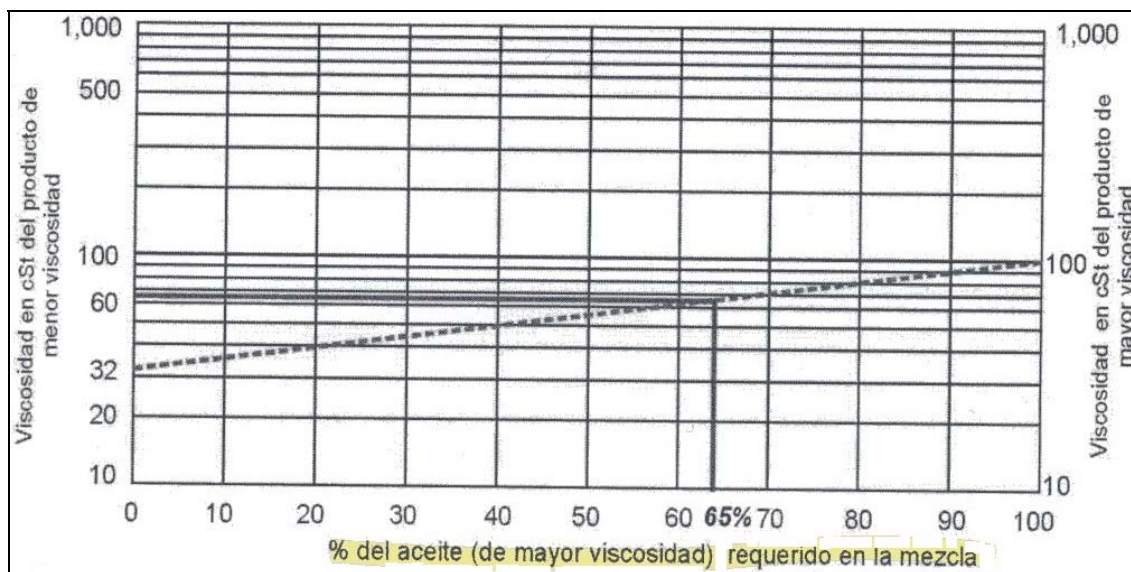


Figura 22: A l'exemple, l'oli de menor viscositat és un ISO 32 que es barreja amb un oli de major viscositat ISO 100. Per a obtenir un oli ISO 68, s'haurà d'utilitzar un 65% de l'oli ISO 100 i un 35% de l'oli ISO 32. Font bibliogràfica [17]

2.1.4.2 Punt d'inflamació

El punt d'inflamació és la temperatura mínima a la que es desprenen vapors combustibles capaços d'inflamar-se en presència d'una flama.

Està molt relacionat amb la viscositat, de forma que quan el punt d'inflamació baixa també ho fa la viscositat i viceversa.

Es determina escalfant una mostra continguda en un petit vas i aplicant una petita flama en la proximitat de la superfície. La temperatura a la qual s'inflama momentàniament representa el punt d'inflamació de la mostra.

Efectes de fallades sobre el punt d'inflamació de l'oli:

El punt d'inflamació d'un oli en servei, pot augmentar o disminuir, com passa amb la viscositat.

L'augment del punt d'inflamació de l'oli usat es deu al temps d'utilització, degut a la vaporització de les parts volàtils.

La reducció del punt d'inflamació de l'oli usat és degut a la presència de combustible (motors tèrmics) els quals provoquen un descens molt acusat.

Es considera inadmissible quan el punt d'inflamació ha disminuït un 30% o si baixa de 180°

La temperatura d'inflamació es determina escalfant la mostra en aparells normalitzats i aplicant-li una petita flama a la proximitat de la seva superfície.

Es pot operar en vas obert pel cas de punts d'inflamació elevats, o en vas tancat per a olis més lleugers o de baixa inflamabilitat. Per a un mateix producte, la inflamabilitat en el primer procediment pren valors més elevats que en el segon.

La temperatura en la qual s'ha de portar l'oli perquè al acostar-s'hi amb una flama, els seus vapors s'inflamin i segueixin en combustió durant 5 segons (mínim), es denomina el punt de combustió i es determina amb el mateix aparell que l'utilitzat pel punt d'inflamació en vas obert. El punt de combustió sol ser entre 30 i 60°C superior al punt d'inflamació.

La inflamabilitat d'un oli dóna una orientació sobre la volatilitat del mateix, així com les possibles contaminacions o dilucions, risc d'incendi i procediments no ortodoxes en l'elaboració de l'oli.

	Disminució del punt d'inflamació	Augment del punt d'inflamació
Canvis en l'estructura del lubricant	Craqueig tèrmic	Polimeritzacions
Contaminació	Combustibles. Afegit d'oli de diferents propietats	Aigua. Residus carbonosos. Glicols. Mescla amb oli de diferents propietats
Pèrdues de lubricant		Evaporació tèrmica. Deshidratació per buit

Taula 3: Factors que modifiquen el punt d'inflamació d'un lubricant. Font bibliogràfica [17]

2.1.4.3 Acidesa i basicitat

En un oli el grau d'acidesa o alcalinitat pot expressar-se pel nombre de neutralització respectiva, la qual es defineix com la quantitat de base o àcid, expressat en mg de KOH, que es necessita per a neutralitzar el contingut àcid o bàsic d'un gram de mostra, en C.N.

L'acidesa o alcalinitat d'un oli nou dóna informació sobre el grau de refinat i additivació; mentre que el d'un usat dóna informació sobre els contaminants i fonamentalment sobre la degradació del mateix.

Existeixen mètodes normalitzats per mesurar tan l'acidesa com la basicitat (mètodes ASTM D-943 i ASTM D-974).

Efectes d'errors sobre l'acidesa/basicitat de l'oli:

Els errors o problemes que produeixen un augment de l'acidesa de l'oli produeixen simultàniament una reducció en la basicitat pròpia de l'oli. L'augment de l'acidesa està associada a la seva oxidació i a la contaminació pels àcids provinents de la combustió (motors tèrmics). Els més importants són:

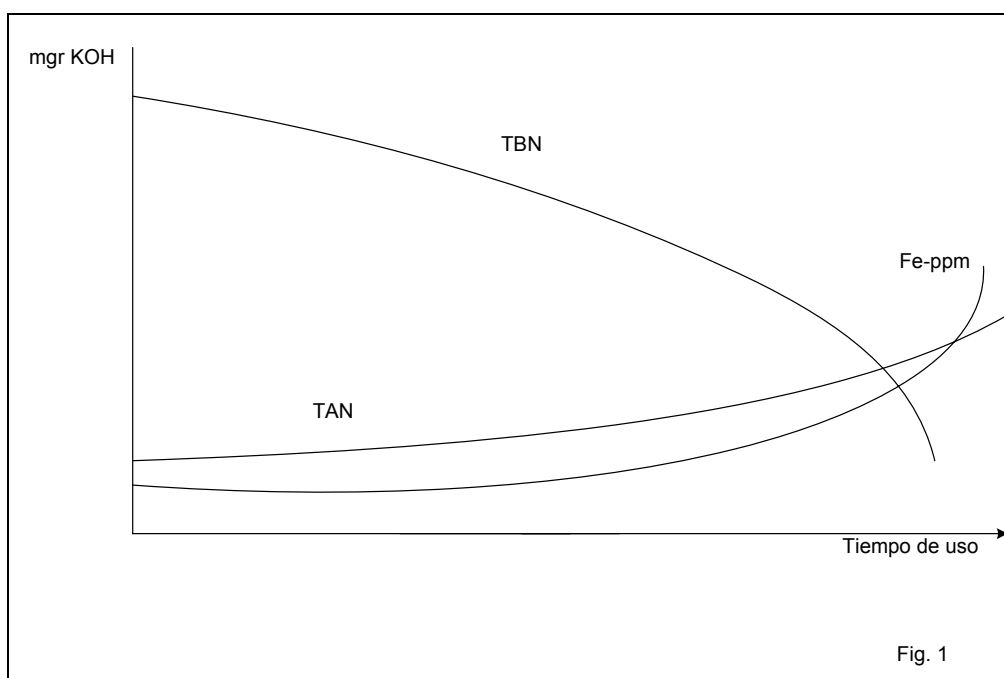
- Bomba d'injecció o injectors defectuosos
- Turbocompressor defectuós
- Filtre d'aire obstruït
- Contaminació de l'oli amb sofre del combustible i altres àcids
- Sobreescalfaments per avaria de la refrigeració
- Filtre obstruït o ineficient

Paràmetres de diagnòstic:

- TAN (Nombre d'àcid total). Representa els mg de KOH necessaris per a neutralitzar tots els constituents àcids presents en 1 gram de mostra d'oli

S'utilitza poc perquè la seva mesura depèn dels additius presents en l'oli. A més, experimentalment es pot comprovar que existeix una relació entre la reducció del nombre de base total i l'augment del TAN, pel que es prefereix seguir l'evolució del primer per ser més significatiu per a avaluar un oli i diagnosticar causes d'avaries.

- TBN (Nombre de base total). Representa els mg equivalents de KOH necessaris per a neutralitzar només als constituents alcalins presents en un gram de mostra.



A més d'estar íntimament relacionats el TAN i TBN, existeix una relació directa entre la reducció del TBN i el desgast, segons s'aprecia en la figura. S'inicia un desgast anormal per corrosió quan el valor del TAN creua el TBN.

Desviació admissible:

En l'avaluació d'un oli de motor, s'aconsella el canvi d'oli quan el TBN és inferior al 60% del TBN inicial, o es troba per sota del valor recomanat pel fabricant del motor. El TBN d'un oli de motor nou ha de ser major quant major sigui el contingut en sofre del carburant.

En quan al TAN és aconsellable el canvi quan aquest arriba a un valor del 80% del TBN mig.

2.1.4.4 Insolubles

Varis dels productes de la degradació dels olis són sòlids insolubles en l'oli base, formant laques, vernissos i llots. La resta queda dissolta en l'oli augmentant la seva viscositat.

El seu coneixement és interessant pel diagnòstic ja que estan relacionats directament amb la degradació de l'oli, l'eficàcia dels filtres, el desgast i en el cas d'olis detergents amb la saturació de la seva capacitat dispersant.

Els insolubles es mesuren mitjançant mètodes basats en la successiva solubilitat o insolubilitat en diversos dissolvents. El mètode consisteix en dissoldre una part de la mostra de l'oli en un dissolvent i posteriorment es separa la part insoluble per filtració i centrifugació.

Els insolubles en pentà representen la quasi totalitat dels insolubles de l'oli i estan formats per contaminants externs i per productes de la degradació del mateix que se'n separen fàcilment. Els insolubles en toluè representen productes de contaminació externa, de la corrosió, del desgast, carbó format en la combustió incompleta i possible coquització de l'oli. La diferència entre els solubles en pentà i els insolubles en toluè són els òxids orgànics que és el que es tracta de determinar.

Efecte d'errors sobre els insolubles de l'oli:

Els insolubles es formen per oxidació, combustió, desgast i contaminació externa. Els errors més importants que produeixen augment d'insolubles són:

- Bomba d'injecció o injectors defectuosos
- Turbocompressor defectuós
- Desgast de components del motor
- Filtre d'aire trencat o obstruït
- Oli degradat, ja que la degradació produeix insolubles
- Filtre d'oli obstruït o ineficient

Desviació admissible: un valor superior al 3% d'insolubles indica que l'oli està degradat.

2.1.4.5 Detergència / Dispersivitat

La propietat detergent dels olis es refereix a la seva capacitat per evitar o reduir la formació de dipòsits carbonosos en allotjaments (de segments, guies, etc.), originats per les altes temperatures. Els olis detergents mantenen en suspensió els dipòsits produïts.

La dispersivitat dels olis es refereix a la seva capacitat per mantenir-se dispersats, és a dir, evitar la aglomeració dels llots humits originats en el funcionament en fred del motor, que són compostos complexos de carbó, òxids i aigua.

La detergència i la dispersivitat es redueixen amb la degradació i el consum dels additius corresponents que estan formats per compostos de calci, magnesi i bari en els detergents i per compostos orgànics (carbó i hidrogen) en els dispersants.

El mètode més senzill i utilitzat per a l'avaluació de la detergència i dispersivitat per la seva senzillesa i rapidesa és l'anàlisi de la taca d'oli, que s'explica més endavant. Els additius que confereixen la detergència i dispersivitat tenen caràcter bàsic pel que són aquests additius els que es quantifiquen quan es determina el TBN. Per tant, per a avaluar la detergència i dispersivitat el millor és controlar el TBN.

A la detergència d'un lubricant se li assigna un valor de 1 (100%), amb l'ús d'aquest lubricant en el motor, aquest valor va disminuint paulatinament, no obstant, una disminució ràpida de la detergència pot ser provocada pels següents factors:

- Contaminació del lubricant amb combustible o aigua
- Treball a temperatures per sobre de les recomanades
- Excés de materials insolubles en el lubricant

L'equip analític utilitzat en els laboratoris especialitzats per a la quantificació de la detergència és un equip fotomètric, el qual calcula l'àrea d'una taca de lubricant sobre un paper absorbent, determinant posteriorment, mitjançant patrons interns, la detergència de la mostra.

2.1.4.6 Matèria carbonosa

En un oli de motor, la presència de matèria carbonosa és el resultat del pas dels productes de la combustió al oli. Aquests productes a més de produir espessament de l'oli canviant la seva viscositat, produeixen dipòsits en les superfícies internes del motor.

Es mesura mitjançant un fotòmetre, el qual compara la opacitat d'una solució en benzè de l'oli usat amb una sèrie de filtre d'opacitat coneguda. Els filtres estan graduats directament

en percentatge de matèria carbonosa, de 0,2 en 0,2%. Es considera un oli contaminat quan s'arriba a un 3% de matèria carbonosa.

Efectes d'avaries sobre la contaminació amb matèries carbonoses en l'oli

Les avaries que produeix un augment anormal de matèries carbonoses en l'oli d'un motor són:

- Avaries del sistema d'injecció
- Turbocompressor defectuós o "intercooler" obstruït
- Filtre d'aire obstruït
- Desgast excessiu del conjunt segments –camises
- Degradació de l'oli
- Filtre d'oli obstruït o ineficient

2.1.4.7 Aigua

La contaminació amb aigua procedeix, en un motor, de la contaminació en l'interior per baixes temperatures o augment de la pressió en el càrter. També pot provenir de possibles fugues del sistema de refrigeració. L'efecte de l'aigua sobre l'oli produeix la seva degradació i corrosió dels metalls.

Existeixen diferents mètodes per a la seva mesura:

- Mètode de la crepitació en planxa calenta, el més utilitzat com indicador qualitatiu de presència d'aigua en quantitats superiors al 0,05%. Consisteix en deixar caure una gota d'oli en una planxa calenta i observar si es produeix crepitació. La intensitat del soroll de crepitació és una indicació de la quantitat d'aigua contaminant.
- Mesura de la constant dielèctrica. Detecta qualitativament concentracions d'aigua superiors al 0,1%
- Mètode de la taca d'oli, encara que amb aquest mètode només es detecten concentracions molt elevades (superiors al 5%)

- Valoració mitjançant reactiu de Karl Fischer: aquest producte reacciona amb l'aigua, es van addicionant petits volums de reactiu fins que es neutralitza totalment l'aigua existent, mesurant la quantitat consumida es determina directament el percentatge d'humitat en la mostra.

- Destil·lació amb xilè: consisteix en l'arrastrament per destil·lació de l'aigua present en el lubricant mitjançant el dissolvent, posteriorment es condensen els vapors i es mesura l'aigua destil·lada, que queda en el fons del tub al ser immiscible amb el xilè.

Efecte de les avaries sobre l'aigua en l'oli

Les principals avaries associades amb l'augment del contingut en aigua de l'oli són tots aquells que produeixen fugues internes de refrigerant a l'oli.

Es considera que un oli té una contaminació d'aigua inadmissible i, per tant, ha de ser substituït quan s'arribi més d'un 0,5%.

2.1.4.8 Mescla de lubricants

És important realitzar una correcta gestió dels olis existents en la planta i evitar la mescla accidental d'ells, ja que alguns tipus d'olis poden arribar a ser totalment incompatibles. Inclús per olis de diferents marques que si serien teòricament miscibles, és important remarcar que el resultat és un oli de prestacions no conegudes.

Per la detecció d'una mescla accidental d'olis, la tècnica d'anàlisi utilitzada és l'espectrometria infraroja, la qual és capaç d'obtenir un espectre dels diferents enllaços orgànics existents en l'oli. Cada lubricant posseeix un espectre específic, per tant, en el moment en que apareixen pics d'altres olis és possible detectar aquesta contaminació.

2.1.4.9 Presència de glicols

El circuit de refrigeració dels motors de combustió interna utilitza principalment etilenglicol o propilenglicol com additiu anticongelant, diluït un 40% en aigua, per això si es produeix una fuga d'aigua de refrigeració fins a l'interior del càrter també s'introduirien aquests compostos.

L'ús de l'espectròmetre infraroig permet quantificar el contingut d'aquests additius en el lubricant, analitzant les freqüències característiques de 3370 cm^{-1} , 1085 cm^{-1} , 1035 cm^{-1} i 885 cm^{-1} . Si es troben glicols en l'oli i a més s'ha detectat aigua, es pot establir amb certesa que la procedència de la contaminació és el circuit de refrigeració i no l'entrada d'aigua a través del blow-by¹ o per humitat de l'ambient, les quals no contenen glicols en la seva composició. Per altra banda, és possible detectar glicols en el lubricant i no que no es detecti presència d'aigua, en aquest cas la contaminació pot ésser causada per dos motius:

- Entrada d'aigua procedent del circuit de refrigeració; l'aigua s'ha evaporat degut a les altes temperatures del motor però algunes traces de glicols encara han quedat retingudes en l'oli.
- Mescla d'olis, essent un d'ells un oli sintètic, els quals contenen poliglicols com components de l'oli base.

2.1.4.10 Altres elements contaminants

Altres elements contaminants serien elements no metàl·lics o no (ferro, coure, silici, bor, etc.) que entren en l'oli provinents tant de fonts externes com internes.

El seu anàlisi alerta, per tant, del possible desgast d'elements intencionalment i d'altres possibles fonts de contaminació. A continuació es mostrarà una taula amb els elements contaminants i la seva possible procedència en l'oli.

¹ El terme blow by és àmpliament utilitzat pels responsables de manteniment de motors, amb aquesta expressió es fa referència al pas de gasos de combustió al càrter, aquests gasos contenen CO_2 , vapor d'aigua, CO , NO_x i derivats del sofre, a més de partícules de sutge. Tots aquests elements són contaminants i a més afavoreixen la degradació del lubricant.

Element Font

Ferro (Fe)	És el més comú dels metalls de desgast. Parets de cilindres, guies de vàlvules, segments de cilindre, rodaments de bola, lleves, balancins, engranatges, cadenes, cigonyals
Alumini (Al)	Pistons, coixinets i pols de contaminació externa
Coure (Cu)	Present en forma d'aliatges, bronze o llautó. Volanderes i coixinets
Magnesi (Mg)	Additiu detergent del lubricant
Sodi (Na)	Aigua en equips marins
Níquel (Ni)	Metall de vàlvules d'alta resistència i àleps de turbines
Plom (Pb)	Coixinets. Contaminació en motors que utilitzin gasolines amb plom
Silici (Si)	Es troben en la majoria de mostres d'oli degut a pols en l'aire, juntes, i en alguns olis apareix com agent antiespumant
Estany (Sn)	Coixinets i restes de soldadura tova
Bor (B)	Additiu de l'oli
Bari (Ba)	Additiu detergent de l'oli
Molibdè (Mo)	Segments de pistons i additiu de l'oli
Zinc (Zn)	Component del llautó i additiu antioxidant de l'oli
Calci (Ca)	Additiu detergent de l'oli
Fòsfor (P)	Additiu antidesgast de l'oli

Taula 4: Fonts corrents d'elements trobats mitjançant l'anàlisi espectromètric de l'oli

2.1.5 Lubricació en motors de combustió interna de 4 temps

En un principi les exigències requerides per a la lubricació dels motors de combustió interna podrien ser satisfetes amb un oli mineral relativament ben refinat. En l'elaboració dels olis lubricants, el petroli cru és primer destil·lat o fraccionat, eliminant així els hidrocarburs volàtils més lleugers, com la gasolina, el gas-oil i el dièsel-oil, quedant la fracció de petroli més pesada de la qual s'obté l'oli lubricant. Seguidament, mitjançant una refinació i un fraccionament addicional, s'eliminen els constituents perjudicials deixant només els

hidrocarburs de qualitats desitjables, per així satisfer les exigències que són requerides en la lubricació en general.

L'extraordinària evolució que han experimentat els actuals olis lubricants és el resultat de la combinació adequada de crus cuidadosament seleccionats, als que se'ls addicionen molts tipus de compostos químics especialment elaborats coneguts amb el nom de additius. Els olis d'alta qualitat són una conseqüència de la constant investigació seguida a través de milers d'hores de funcionament del motor en el que s'han provat les seves qualitats lubricants. Els olis lubricants han de desenvolupar funcions molt diverses, a més de reduir la fricció i el desgast, l'oli també ha de mantenir net el motor, lliure de partícules perjudicials, impedir la corrosió dels òrgans principals, així com actuar com a element refrigerant.

2.1.5.1 Sistema de lubricació dels motors

A continuació passarem a explicar el sistema d'engreix o lubricat dels motors de quatre temps: l'oli, que es troba en el càrter, és aspirat per una bomba a través d'una malla, la qual impedeix el pas a partícules estranyes majors d'una grandària determinat. Llavors el fa passar per un filtre on llur funció és retenir les partícules petites. L'oli filtrat passa pel conducte o galeria principal on generalment s'hi troba el manòmetre de pressió d'oli. Per un d'ells circula l'oli fins els coixinets del cigonyal, i a través dels orificis interns d'aquest arriba al cap de la biela. L'altre porta l'oli a pressió a l'arbre de lleves i a l'eix dels balancins en la part superior del motor. L'oli sobrant, baixa per la cambra de l'arbre de cadena lubricant tots els engranatges i recolzaments fins a tornar al càrter.

L'oli que reposa pels coixinets de la biela esquitxa (ajudat pel moviment de la biela) i engrassa les parets del cilindre, la part interna dels pistons i la part alta de la biela. D'aquesta manera es crea el que s'anomena "biora d'oli" que per gravetat cau de nou al càrter.

Generalment existeix un bescanviador de calor en el circuit de refrigeració amb una doble missió: en l'engegada en fred, com que el líquid que refrigera s'escalfa més ràpid, l'oli rep el calor i agafa abans la temperatura de marxa. En servei, l'oli està més calent i el bescanviador cedeix part del seu calor al líquid refrigerant amb el que s'evita que l'oli esdevingui excessivament fluid i baixi la pressió del circuit.

2.1.5.2 Propietats dels olis per a motors

La lubricació de motors de combustió interna requereix que els olis treballin en condicions molt severes, com poden ser:

- Pressions i temperatures elevades
- Contacte amb agents no desitjats com l'aigua, oxigen, pols, etc.

Les propietats més importants per enfrontar-se a aquestes condicions són les que es relacionen amb el seu comportament a diferents temperatures, la seva resistència davant aquests agents i la seva capacitat per a protegir el motor. Aquestes propietats es poden resumir en les següents:

- Viscositat
- Estabilitat
- Protecció del motor

Viscositat

Com ja s'ha explicat anteriorment, la viscositat és la resistència de l'oli a fluir, de tal forma que un augment de la viscositat fa l'oli menys fluid i més estable la capa lubricant que és capaç de formar.

La viscositat dels olis lubricants canvia respecte a la temperatura, i aquest grau de canvi varia amb els diferents olis, designant-se amb el nom d'índex de viscositat a aquesta característica.

La viscositat d'olis d'alt índex de viscositat és menys sensible als canvis de temperatura que la viscositat dels olis de baix índex de viscositat. És a dir, la viscositat de l'oli augmenta més amb les altes temperatures i disminueix amb les més baixes, afavorint així un valor permisible de temperatura de funcionament.

La viscositat és com una mesura del fregament intern de les molècules dels olis lubricants, definida com la seva resistència a fluir. D'una manera gràfica pot representar-se mitjançant dues plaques horitzontals i paral·leles, separades per una pel·lícula d'oli.

La viscositat és responsable de la pèrdua de velocitat a mesura que ens allunyem de la placa en moviment i ens acostem a la placa fixa.

No s'ha de confondre la viscositat amb la untuositat. La viscositat és fregament entre molècules del lubricant. Untuositat és adherència en les molècules de lubricant a les superfícies metàl·liques. Degut a la seva untuositat, l'oli es manté sobre les superfícies (incloent verticals) de la maquinària, després de que aquesta deixi de funcionar i la protegeixi en els primers moments d'engegada següent.

La viscositat dels fluids depèn de la pressió i de la temperatura:

- A l'augmentar la pressió, augmenta la viscositat
- A l'augmentar la temperatura, disminueix la viscositat

La mesura de la variació de la viscositat amb la temperatura ens dóna a conèixer l'índex de viscositat. Com més gran sigui l'índex de viscositat, menor és la variació de la seva viscositat amb la temperatura. Com que les condicions de funcionament de la maquinària no són sempre iguals, quan ens referim a règim d'operació (engegada en fred, funcionament en calent, zona geogràfica i estació de l'any (clima), etc.), no sempre treballen a una temperatura constant. Es necessita, per tant, que el lubricant tingui un alt índex de viscositat, de manera que aquest no pateixi variacions amb la temperatura.

El sistema efectuat per classificar els olis de motor segons la seva viscositat, és el sistema S.A.E. (Societat d'Enginyers de l'Automoció). Aquest sistema assigna un número de grau SAE a un rang de viscositat específic mesurat a una T^a determinada; a major viscositat, major el nº SAE. És important senyalar que els nº SAE indiquen només viscositat, no la classe o qualitat de l'oli ni el servei al qual va destinat.

La classificació SAE està basada en la viscositat de l'oli a dues temperatures 0°F i 210°F, establint vuit graus SAE pels monograus i sis pels multigraus. En alguns dels graus apareix darrere del nombre SAE la lletra "W" (Winter = hivern), que es refereix especialment als olis per a clima fred, fixant la temperatura per a la determinació de la viscositat en °F (-18°C), mentre que en els nombres SAE sense lletra "W" s'apliquen a olis utilitzats en climes semblants als d'Europa Occidental, que es basen en la viscositat a 210°F (99°C).

En l'actualitat només s'utilitzen olis multigrau, que es basen en olis monograu del tipus W que a més incorporen additius. En conclusió, la numeració SAE per aquests lubricants normalment està composta per dos nombres separats per la lletra "W". A

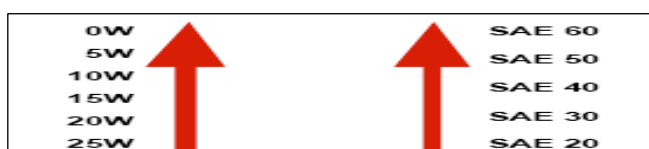
diferència del que passa amb la numeració API (Institut nord-americà del petroli), la viscositat SAE no indica la qualitat del lubricant.

Per exemple:

10W 40, indica la viscositat de l'oli mesurada a -18°C i a 100°C, en aquest ordre. Només fa referència a que el producte es comporta en fred com un SAE 10 i en calent com un SAE 40. Per tant, per a una major protecció en fred s'haurà de recórrer a un oli que tingui el primer nombre el més baix possible. Per a obtenir un major grau de protecció en calent, s'haurà d'incorporar un oli que tingui un elevat nombre per a la segona desena.

Grau SAE	Viscositat Cinemàtica cSt a100°C
0W	3,8
5W	3,8
10W	4,1
15W	5,6
20W	5,6
25W	9,3
20	5,6 a 9,3
30	9,3 a 12,5
40	12,5 a 16,3
50	16,3 a 21,9
60	21,9 a 26,1

Taula 5: Classificació de la viscositat dels lubricants segons la norma SAE



Fluïdesa en fred

Viscositat en calent

En general, podríem dir que donats dos olis i suposant correcta la viscositat, serà millor el que més elevat tingui el seu índex de viscositat.

Un oli multigradu:

- Protegeix millor el motor
- Es pot usar en totes les estacions de l'any
- Estalvia consum de combustible

Estabilitat de l'oli

L'aire aspirat pel motor conté oxigen i humitat. Aquest aire entra en contacte amb l'oli que, a més, suporta canvis bruscs de temperatura, i que en algunes parts del motor pot arribar a 300°C. En aquestes condicions, l'oli s'oxida produint compostos de degradació tal com aigua i àcids orgànics i inorgànics. Aquestes substàncies tenen dos efectes importants:

- Deteriorar i contaminar l'oli, produint les pèrdues de les propietats lubricants
- Originar corrosió i desgast en el motor retallant la seva vida útil

Per aquestes raons és necessari dotar a l'oli d'estabilitat:

- Tèrmica: Per tal de poder suportar elevades temperatures sense degradar-se. Aquesta propietat és característica dels olis de base i ni es millora amb els additius.
- A l'oxidació: Es millora amb els additius antioxidants que s'afegeixen a l'oli base. Aquests antioxidants reaccionen químicament amb els agents oxidants, impeding que aquests ho facin amb l'oli base.

Protecció del motor

Evitar que les partícules que poden evitar danys al motor, es dipositin sobre les seves superfícies internes és una de les tasques més importants dels olis. Per obtenir-ho, cal mantenir-les permanentment en suspensió. L'origen d'aquestes partícules és molt divers:

- Degradació tèrmica de l'oli
- Oxidació de l'oli
- Partícules provenint del combustible

- Productes secundaris de la combustió
- Combustió incompleta
- Pols de l'aire
- Partícules metàl·liques de desgast del motor

Aquests productes tendeixen a formar aglomerats que produeixen partícules de grandària més gran i que causen els següents efectes:

- Es dipositen en zones més fredes, bloquejant els conductes de l'oli, formant fangs i llots.
- Quan s'adhereixen calents a les superfícies produeixen laques i vernissos.
- Formen dipòsits carbonosos en les ranures dels segments i en els caps dels pistons

El mecanisme de formació del dipòsit és el següent:

- 1.- L'oxidació de l'oli i la gasolina produeix unes primeres partícules contaminants (0,03 micres)
- 2.- Les partícules interaccionen entre sí formant aglomerants solubles (0,03 – 0,05 micres)
- 3.- El continu creixement produeix espessament de l'oli i es dipositen partícules insolubles (0,05 – 1,5 micres)
- 4.- Els insolubles es dipositen sobre les superfícies calentes i formen pel·lícules resinoses que polimeritzen formant laques i en les parts més fredes originen llots i fangs.

Els additius que s'afegeixen a l'oli per evitar la formació de dipòsits en les superfícies internes del motor, són els dispersants. Aquests actuen formant una barrera al voltant de les partícules que impedeix la seva aglomeració. D'aquesta manera mantenen disperses i en suspensió les substàncies nocives i les transporten als elements filtrants.

Els dispersants no són efectius a qualsevol temperatura i segons a la temperatura en què operin es distingeixen:

- Els pròpiament anomenats dispersants, són eficaços a temperatures baixes. No contenen elements metàl·lics i no produeixen cendres (dispersants sense cendres). Protegeixen la formació de fangs en el càrter.
- Els anomenats detergents. Actuen a altes temperatures, contenen metalls i deixen cendres (dispersants amb cendres). Protegeixen contra la formació de laques i vernissos en els pistons, guies i tiges de vàlvules. Per ser additius antiàcid

(neutralitzen els àcids forts com el sulfúric originat pel sofre del gas-oil, posseeixen una reserva alcalina molt elevada (alt TBN)).

- Els additius antidesgast, són capaços d'adherir-se a les superfícies metàl·liques de manera que el fregament té lloc entre pel·lícules de l'additiu i no entre metall-metall, com succeeix en les condicions crítiques de treball, en les quals es desprenen parts del material. Aquests additius segueixen adherits fins i tot quan el motor està aturat, proporcionant la primera protecció en l'engegada en fred.

2.1.5.3 Classificació dels olis per a motors

Classificació API (American Petroleum Institute)

La classificació API va ser establerta per l'institut americà del petroli i es va acceptar i implantar l'any 1947, amb revisions l'any 1952 i 1970, està vigent des del juny de l'any 1987. Aquest tipus de classificació distingeix dos tipus d'oli segons siguin per motors de gasolina o per motors dièsel. El nivell i l'aplicació estan definits per dues lletres. La primera indica la pertinença a la família gasolina (S) o Dièsel (C). La segona lletra indica per a cada família el nivell de prestacions tècniques, que avui en dia van des de la "A" pel més baix, fins a la "L" (gasolina) o "H" (Dièsel) pel més alt.

La classificació API és una classificació oberta. Això significa que es van descobrir nous nivells de desenvolupament a mesura que es necessiten millors lubricants pels nous dissenys de motors. En general, quan es defineix un nou model API designa com a obsolets alguns dels anteriors. A continuació es mostren els nivells definits per la classificació API.

Classificació API dels lubricants per motors Dièsel	
Identificació	Aplicació
CA	Olis aptes per a serveis molt lleugers amb gas-oil amb un baix contingut en sofre
CB	Per a règims moderats en gas-oil de baix contingut en sofre i règim lleuger per a gas-oil normal
CC	Motors Dièsel en servei mig. Típic de motors Dièsel lleugerament sobrealimentats treballant en condicions severes. Olis introduïts el 1961 i utilitzats en molts camions, motors industrials i tractors. Uneixen a la protecció de dipòsits a alta temperatura, a les propietats anticorrosives i antidesgast també una bona protecció contra el fred.
CD	Motors Dièsel en servei pesat. Típic dels motors sobrealimentats que treballen a altes velocitats, altes prestacions de potència que requereixen un rigorós control de desgast i dels dipòsits, i que utilitzen combustibles de diferents qualitats.
CD II	Millora en quan a desgast i a control de dipòsits en grans motors dièsel
CE	Motors Dièsel en servei molt pesat. Típic serveu per a satisfer les exigències de motors Dièsel Turbocomprimits i sobrecarregats construïts des de 1983 i que funcionen tan en condicions de baixa velocitat i alta càrrega com a alta velocitat i alta càrrega. Supera àmpliament les prestacions previstes pels serveis CC i CD. Protecció en continguts de sofre.
CF	Motors Dièsel en servei molt pesat. Típic dels motors dièsel d'injecció directa i dels motors dièsel en general que funcionen fins i tot amb gas-oils amb alt contingut de sofre. Introduïda el 1994, supera àmpliament les prestacions previstes per les categories CD i CE.
CF-4	Motors Dièsel en servei molt pesat. Aquesta categoria va ser introduïda el 1990 i descriu olis utilitzats en motors Dièsel a alta velocitat. Els olis CF-4 superen les prestacions previstes per a la categoria CE i garanteixen un millor control sobre el consum de lubricant i els seus dipòsits.
CG-4	Motors Dièsel en servei molt pesat. Aquesta categoria va ser introduïda el 1994 i descriu olis utilitzats en motors dièsel de vehicles industrials que funcionen amb gas-oils amb un contingut mínim de sofre >0,05%. Els olis CG-4 superen les prestacions previstes pels olis CF-4.
CH-4	Introduïda des del 01/12/98, dissenyada per a superar les limitacions de només d'emissió per a motors d'alta velocitat. Els olis CH4 estan preparats especialment per ser utilitzats amb carburants dièsel amb un contingut en sofre no superior al 0,5% i poden ser utilitzats quan es necessitin els lubricants CD-CE-CF4-CG4.
CI-4	Comparada amb CH-4, aquest olis gaudeixen d'una major protecció contra l'oxidació, reducció del desgast i millora l'estabilitat de la viscositat degut a un major control, millorant així el consum de l'oli. Comprèn oli utilitzats en motors Dièsel d'alta velocitat, que compleixen amb els límits d'emissions implementades a partir del 2002 i ús de combustibles que continguin fins a un 0,5% de sofre en pes. També per l'ús estès de motors amb EGR (Recirculació de gasos blow by)

Taula 6: Classificació API dels lubricants per motors Dièsel

Classificació API dels lubricants per motors de gasolina		
Identificació	Descripció	Aplicació
SA	Oli sense additivació, per a serveis molt lleugers	Per a motors de 4T de gasolina i dièsel que funcionen amb un baix nivell de severitat. Normes entrades en vigor des de 1930 a 1971
SB	Amb additius antioxidants i rebaixadors del punt de congelació	
SC	Amb dispersants a baixa temperatura, per a serveis lleugers	
SD	Amb detergents d'alta temperatura, serveis severes	
SE	Reforça les propietats detergents a alta temperatura i dispersants a baixa, incorpora additius antiòxid.	
SF	Norma entrada en vigor el 1980	Per a motors de 4T a gasolina. Oli requerit amb millor estabilitat a l'oxidació, millor poder antidesgast, antidipòsits, anticorrosiu i antiòxid. Pot utilitzar-se quan es necessitin nivells SE, SO, SC.
SG	Norma entrada en vigor el 1989	Per a motors de 4T a gasolina. Inclou els rendiments d'API, CC i en alguns casos de CD. Oli requerit amb millor control dels dipòsits, millor poder antidesgast, anticorrosió i antiòxid. Pot ser utilitzat quan es necessitin nivells SF, SF/CC, SE, SE/CC.
SH	Norma entrada en vigor el 1993	Supera els requisits d'olis a nivell SG provats segons el protocol CMA previst per les proves de motors (validesa estadística) i certificació dels resultats de prova.
SJ	Norma entrada en vigor a partir d'octubre de 1996	A més de les proves de motor previstes per la SH, inclou algunes proves addicionals de laboratori.
SL	Norma entrada en vigor des de Juliol de 2001	Olis amb formulació que garanteixen una millor protecció sobre dipòsits a altes temperatures. Alguns d'aquests productes poden fins i tot complir la norma LSAC i/o ENERGY CONSERVING.
SM	Norma entrada en vigor des de l'any 2004	API SM va ser adoptada per a definir els olis destinats als motors més moderns naftens i també als de generacions anteriors, en aplicacions típiques d'automòbils per a passatgers. Vehicles esportius de tot terreny SUV, vans i camionetes, operant sota les recomanacions de manteniment dels fabricants. API SM és superior a API SL en aspectes com: economia de combustible, bombejabilitat de l'oli usat, control de l'espessiment degut a l'oxidació i la nitració i els dipòsits a alta temperatura, i en especial en quant a consum d'oli i protecció dels sistemes de control d'emissions

Taula 7: Classificació API dels lubricants per motors de gasolina

Antiga classificació C.C.M.C.

A partir de l'1 de gener de 1996, la classificació C.C.M.C. (Comitè de constructors del mercat comú) ha estat substituïda per el codi ACEA. Tanmateix, alguns fabricants encara segueixen indicant el codi CCMC –de G1 a G5 pels motors de gasolina; de D1 a D4 pels Dièsel -, a pesar de que ja no té molt de sentit. És convenient i important saber que no existeix relació directa amb els dos codis. A continuació es mostra un quadre de classificació CCMC:

CCMC		ACEA
G1	Motors de gasolina d'ús general. Equivalent a API SE	
G2	Motors de gasolina d'ús general. Equivalent a API SF	
G3	Motors de gasolina d'ús general especialment dissenyats per a prestacions en quan a protecció del desgast a altes temperatures i a reduir el consum de combustible.	A1
G4	Similar a G2 amb millors prestacions i capacitat de protecció	A2 A3
G5	Equivalent a API SG	A3 B3
D1	Dièsel per a condicions d'ús lleugeres	
D2	Motors Dièsel aspirats o sobrealimentats en condicions severes de funcionament	
D3	Motors Dièsel aspirats o sobrealimentats en condicions severes de funcionament	
PD1	Motors Dièsel de turismes aspirats o sobrealimentats	
D4	Classificació homologada actualment similar a D3	E1
D5	Substitueix a D4 i equival a API CE	E3
PD2	Substitueix a PD1	B2 B3

Taula 8 : Quadre de classificació CCMC

Classificació ACEA

L'any 1990, el C.C.M.C. va ser dissolt i en el seu lloc es va establir ACEA (Associació de Constructors Europeus d'Automòbils), llurs membres són tots els fabricants de vehicles d'Europa. En col·laboració amb altres institucions, es desenvolupa un sistema de gerència

de la qualitat, que requereix que tots els lubricants que declarin complir la classificació ACEA, siguin elaborats en plantes que tinguin un sistema audible de qualitat.

Les seqüències per lubricants definides per la ACEA el 1996, es basen en assaigs de laboratori i de dinamòmetres, algunes d'aquestes són iguals que les realitzades per l'API als EEUU, però algunes d'elles són noves, en especial les proves en dinamòmetres que reflexa la tecnologia actual dels motors.

Els assaigs de ACEA reflexa els requeriments del lubricant per millorar:

- Protecció contra el desgast
- Neteja del motor
- Resistència a l'oxidació
- Resistència a l'augment de la viscositat

Les normes ACEA també inclouen requeriments molt estrictes sobre:

- Estabilitat de tall (Resistència de l'oli davant d'esforços mecànics)
- Viscositat a alta temperatura i alt esforç de tall
- Compatibilitat amb els elastòmers
- Tendència a la formació d'escuma

Automòbils a gasolina	
ACEA	Descripció
A1 96/98	Baixa viscositat per a economia de combustible
A2 96/98	Viscositat normal
A3 96/98	Major estabilitat tèrmica i al tall mecànic
A4	Reservat per ús futur en automòbils de gasolina d'injecció directa
A5 02	Viscosimètricament estable per l'ús en motors d'alt rendiment en intervals extensos en motors de gasolina. Baixa fricció i baixa viscositat en alta temperatura i alt esforç de tall. Aquests olis poden no ser aptes per alguns motors. Consultar el manual d'usuari.

Automòbils a gas-oil	
ACEA	Descripció
B1 96/98	Baixa viscositat per a economia de combustible
B2 96/98	Viscositat normal
B3 96/98	Major estabilitat tèrmica i al tall mecànic
B4 98	Injecció directa
B5 02	Viscosimètricament estable per l'ús en motors Dièsel lleugers on es necessiti un ús estès dels lubricants. Motors dièsel dissenyats per utilitzar olis de baix coeficient de fregament i baixa viscositat amb alta temperatura i alt esforç de tall. Aquests olis poden no ser aptes per ser utilitzats en alguns motors. Consultar el manual de l'usuari.

Vehicles pesats	
ACEA	Descripció
E1 96	Olis per a motors Heavy Duty
E2 96	Olis per a motors Heavy Duty. Control millorat del desgast, polit de camises, dipòsits i vernissos Versus E1-96. Menor consum d'oli i major quilometratge
E3 96	Olis per a motors Heavy Duty. Control millorat del desgast, polit de camises, dipòsits i vernissos Versus E2-96. Menor consum d'oli i major quilometratge
E4 98	Olis pels motors més desenvolupats d'Europa, amb sistemes de manteniment flexible i control d'emissions. Potencial per economia de combustible i encara més duració
E5 99	Incorpora major quantitat d'assaigs de motors americans. Compleix amb els requeriments de E4 i tots els de API CH 4
E6 02	Oli estable, excel·lent control de neteja per a pistons, desgast i estabilitat de lubricants. Està molt recomanat per a motors que disposin de filtre de partícules i dissenyat per a motors diesel amb baix contingut de sofre (màx 50 ppm)
E7 07	Igual que el E6 però es pot usar en motors sense filtre de partícules i per la majoria de motors EGR i la majoria de motors SCR amb filtres de reducció de partícules NOx

ACEA 2004:

En la nova edició de les normes ACEA desapareixen els olis dirigits específicament als naftens o dièsel i es sumen els requeriments d'ambdós en ACEA A1/B1 a A5/B5, desapareix el nivell 2 i s'incorporen noves categories d'olis per protegir als sistemes de tractaments de gasos d'escapament que inclouen els catalitzadors més nous de 3 vies (TWC) i als filtres de partícules diesel (DPF). Aquests són els ACEA C1 (SAPS); C2 (baixa fricció) i C3 (viscositats normals).

Aquests olis estan en una etapa de continu desenvolupament per les petroleres i automotrius. Així queden definides en la mateixa norma ACEA:

A1/B1: Oli per aplicacions en motors naftens i dièsel d'automòbils o vans dissenyats específicament per a lubricants de baixa viscositat i baixa fricció, amb viscositat d'alta temperatura i alt esforç de tall entre 2,6 i 3,5 mPa.s. Aquests olis poden ser inapropiats per ser utilitzats en alguns motors.

A3/B3: Oli molt estable, per mantenir-se en el grau SAE, dirigit a l'ús en motors naftens d'alt rendiment i dièsel d'automòbils o vans, per extensos períodes entre canvis en els casos en què està indicat pel fabricant del motor, i/o per tota l'època de l'any utilitzant olis de baixa viscositat; i/o per condicions severes d'operació tal com són definides pel fabricant del motor.

A4/B4: Oli molt estable, per mantenir el grau SAE, dirigit a l'ús en motors naftens d'alt rendiment i dièsel d'injecció directa, però també apropiats per les aplicacions que es defineixen sota B3.

A5/B5: Oli molt estable, per mantenir-se en el grau SAE, dirigit a períodes extensos d'utilització entre canvis en motors naftens d'alt rendiment i dièsel d'automòbils o vans, dissenyats específicament per a lubricants de baixa viscositat i baixa fricció amb viscositat a alta temperatura i alt esforç de tall entre 2,6 i 3,5 mPa.s. Aquests olis poden ser inapropiats per a ser utilitzats en alguns motors.

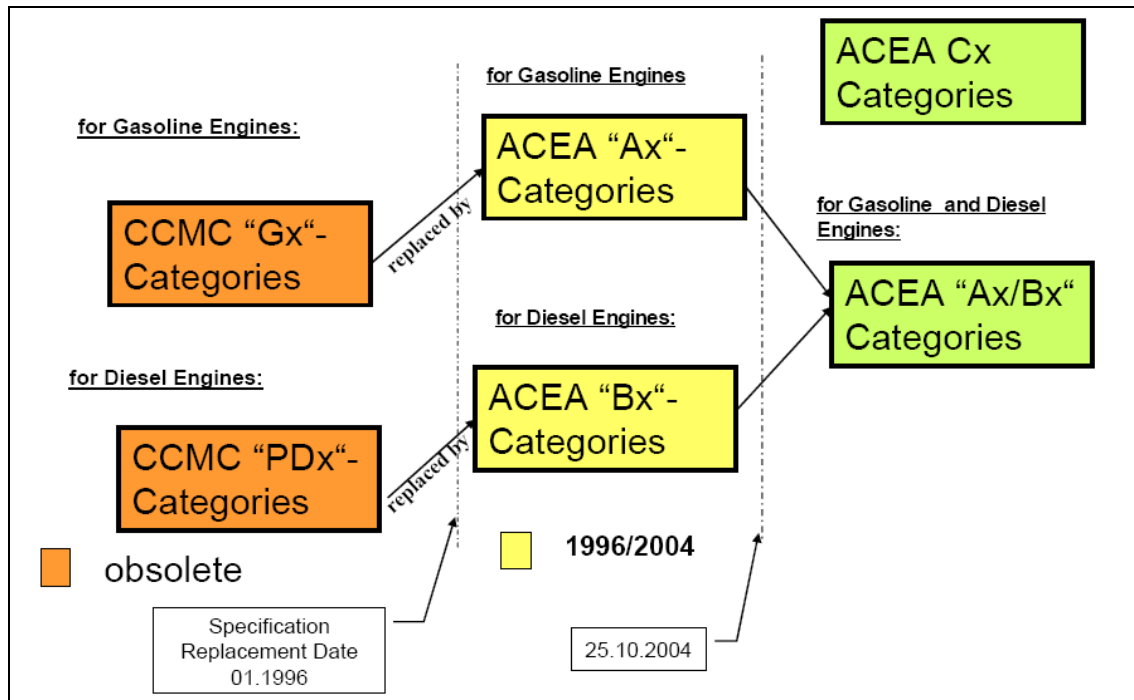


Figura 23: Arbre cronològic de les classificacions d'olis. Font bibliogràfica [17]

C: Olis compatibles amb els catalitzadors

SAPS: (Sulphated Ash, Phosphorus, Sulphur) --> Cendres sulfatades, fòsfor, sofre.

DPF: (Diesel Particle Filter) --> Filtres de partícules per a motors dièsel

TWC: (Three Particulate Filter) --> Catalitzador de tres vies

HTHS: (High temperature/ High shear rate viscosity) --> Viscositat d'alta temperatura i alta taxa de tall

C1: Oli molt estable, per mantenir-se en el grau SAE, dirigit a l'ús com lubricant compatible amb els catalitzadors en motors naftens i dièsel equipats amb DPF i TWC d'automòbils d'alt rendiment i vans livianes, dissenyats específicament per a lubricants amb baixos SAPS, de baixa viscositat i fricció, amb viscositat a alta temperatura i alt esforç de tall major a 2,9 mPas.s. Aquests olis incrementaran la vida útil del DPF i del TWC i conservaran l'economia de combustible. Aquests olis tindran els SAPS més baixos i poden ser inapropiats per alguns motors.

C2: Oli molt estable, per mantenir-se en el grau SAE, ús com a lubricant compatible amb els catalitzadors en motors naftens i dièsel equipats amb DPF i TWC d'automòbils d'alt rendiment i vans livians, dissenyats específicament per a lubricants amb baixos SAPS, de baixa viscositat i baixa fricció, amb viscositat a alta temperatura i alt esforç de tall major a 2,9 mPa.s. Aquests olis incrementen la vida útil del DPF i del TWC i conservaran l'economia de combustible

C3: molt semblants als C2

C4: Per turismes o vans lleugeres dièsel o de gasolina que necessitin oli baix en SAPS amb HTHS més gran de 3,5mPa.s

E: Olis per motors dièsel de servei pesat

E2: Oli per a propòsits generals en motors dièsel pesat d'aspiració natural o turbocarregats amb servei de mig a sever i majorment amb intervals normals entre canvis

E4: Oli molt estable, per a mantenir-se en el grau SAE. Excel·lent control de neteja dels pistons, desgast i estabilitat del lubricant. Recomanats per a motors d'alta potència que compleixen els requisits d'emissions EURO1, EURO2, EURO3 i EURO4. És apropiat per a motors sense filtres de partícules i per alguns equipats amb EGR i alguns equipats amb SCR per a reduir el Nox.

E6: igual que el E4 però en condicions de treball més severes. Estan equipats amb filtres de partícules i estan dissenyats per a ser usats en combinació amb combustible dièsel de baix contingut en sofre (màx 50ppm).

E7: Per a motors sense filtre de partícules i per a la majoria dels motors amb EGR i la majoria d'equipats amb sistemes SCR per reduir Nox.

Altres classificacions d'olis per a motors

Alguns fabricants com Mercedes o Volkswagen, així com l'exèrcit d'E.E.U.U. tenen les seves pròpies classificacions atenent a la seva pròpia norma interna; en algunes llaunes d'oli poden aparèixer com referència. La norma militar d'E.E.U.U. comença per MIL-L un número i una o dues lletres; la norma volkswagen comença per VW seguit d'un número i la norma Mercedes comença per MB seguit d'un número.

L'associació de fabricants de motors d'E.E.U.U. i Japó utilitzen la norma ILSAC.

Olis SHPD

SHPD (Super High Performance Diesel) no és una especificació, sinó un concepte de llarga duració de l'oli i del motor; una especificació SHPD no només permet allargar els períodes de canvi d'oli, sinó que proporciona una protecció superior del motor enfront del desgast, control de dipòsits, corrosió, etc..

Les característiques SHPD són:

- Gran estabilitat tèrmica
- Resistència a l'oxidació
- Viscositat adequada, aconseguida amb: base lleugera i MIV de gran qualitat
- Elevat poder detergent: Reducció dels dipòsits carbonosos i eviten la formació de gomes en els segments
- Elevat TBN per neutralitzar els àcids que es produeixen en períodes llargs de temps
- Elevat poder dispersant per controlar els dipòsits a temperatures mitges i baixes
- Propietats antidesgast per allargar la vida del motor

SHPD varia segons el criteri del fabricant del motor, juntament amb les característiques adequades de l'oli, el que, darrere les proves de laboratori i de camp que el fabricant estima oportunes, el que determina la duració de l'oli, en funció del servei que realitzi el vehicle.

2.1.5.4 Revisions dels olis

L'elecció del lubricant és primordial, però no garanteix per si sol la protecció i preservació del motor. És necessari conèixer els períodes d'utilització de l'oli i els factors que influeixen que aquest sigui major o menor.

L'ús d'additius en els olis de motor és necessària per a millorar les seves propietats, però tots els additius es consumeixen en el transcurs del funcionament del motor i acaben per esgotar-se al llarg del temps, amb el qual l'oli acaba perdent les seves propietats lubricants, la seva capacitat per impedir dipòsits, etc.. Per altra banda, la contaminació progressiva de l'oli modifica la seva viscositat, com per exemple la contaminació per combustible que no ha estat cremat.

Un manteniment inadequat de l'oli pot donar a una pèrdua de la capacitat de segellat dels segments. En aquests casos, l'oli arriba a la cambra de combustió i es crema, elevat així el consum de l'oli, de la mateixa manera també poden arribar productes de combustió en el càrter que contaminen l'oli i acceleren el seu deteriorament; aquests problemes poden arribar a ser importants produint avaries en el motor, per la qual cosa es fa innecessària la substitució de l'oli molt abans que arribi a un nivell de contaminació molt elevat.

2.1.5.5 Canvi de l'oli

Els fabricants de motors solen indicar en els seus manuals de manteniment cada quants quilòmetres aconsellen canviar l'oli. És una bona recomanació seguir aquestes indicacions i disminuir aquests períodes en cal de que el motor treballi en condicions severes, com per exemple:

- Trajectes curts en temperatures molt baixes
- Conducció en zones amb freqüència de pols
- Conducció en baixa velocitat i tràfic dens
- Arrastrant remolcs

2.2 El desgast mecànic

2.2.1 Introducció

El desgast mecànic és un fenomen natural que té lloc quan dos o més cossos estan en contacte i existeix entre ells un moviment relatiu; no obstant, també existeixen altres formes de desgast on intervenen fenòmens fisicoquímics que generen pèrdues de material en les peces. Aquesta forma de desgast pot ser reduïda però no eliminada. Aquesta reducció s'aconsegueix recorrent a les següents tècniques:

- Disseny
- Elecció de materials
- Lubricació

El desgast és, en línies generals, un fenomen a evitar en els mecanismes, únicament es podria dir que durant el rodatge és recomanable que hi hagi un cert desgast mecànic, en l'aspecte que es redueixin les irregularitats superficials inicials de les peces en contacte.

El desgast constitueix una de les parts components de la tribologia. Es considera que al voltant del 80% dels elements de màquines es substitueixen producte del desgast, el que demostra la incidència del mateix en l'economia d'un país.

Amb la finalitat d'aconseguir una idea clara de desgast és essencial conèixer les seves classes, encara que no totes es poden catalogar atenent a les pèrdues de material.

2.2.2 Classes de desgast

Existeixen múltiples classificacions de tipus de desgast:

- *Desgast abrasiu:* Desgast metàl·lic com a resultat de l'acció de tall o ratllat de partícules abrasives. Ratllat per partícules dures i gruixudes o erosió per partícules dures i fines transportades per un fluid.
- *Desgast adhesiu:* Es produeix degut a l'adhesió molecular entre els cossos en contacte.
- *Desgast mecànic corrosiu:* Es dona en les superfícies dels materials a causa d'atacs químics.

- *Fatiga*: Desgast degut a causes mecàniques producte de tensions variables i repetides.
- *Cavitació*: Formació de cavitats per ruptura explosiva de bombolles en el fluid.

La importància de cadascuna de les classe de desgast en la indústria és la següent (Figura 1):

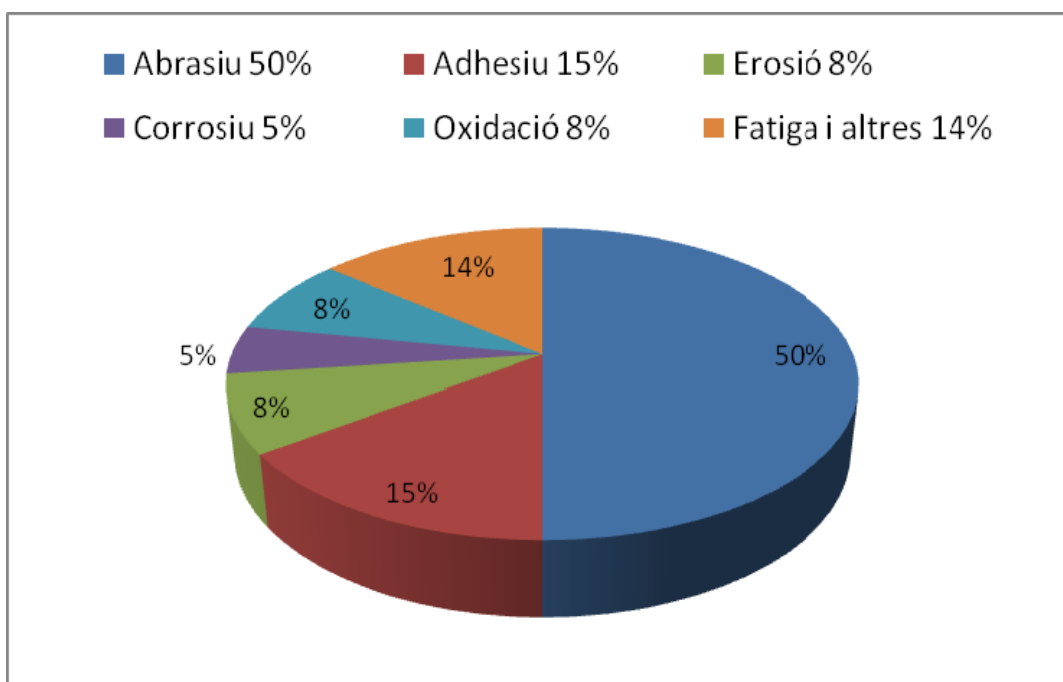


Figura 1: Gràfic on es mostren les proporcions d'importància de desgast en la indústria

2.2.2.1 Desgast adhesiu

El desgast adhesiu es deu al cisallament per tracció de les microsoldadures que es generen quan dues superfícies entren en contacte directe metall contra metall, degut a una temperatura excessiva de treball o a una lubricació insuficient. Quan aquestes dues superfícies en contacte directe es troben en moviment relatiu, l'energia tèrmica dissipada per fricció, juntament amb les elevades pressions puntuals existents poden produir el flux plàstic localitzat dels metalls i soldar les partícules aspres en contacte. El posterior cisallament per fricció d'aquestes microsoldadures constitueix el desgast adhesiu.

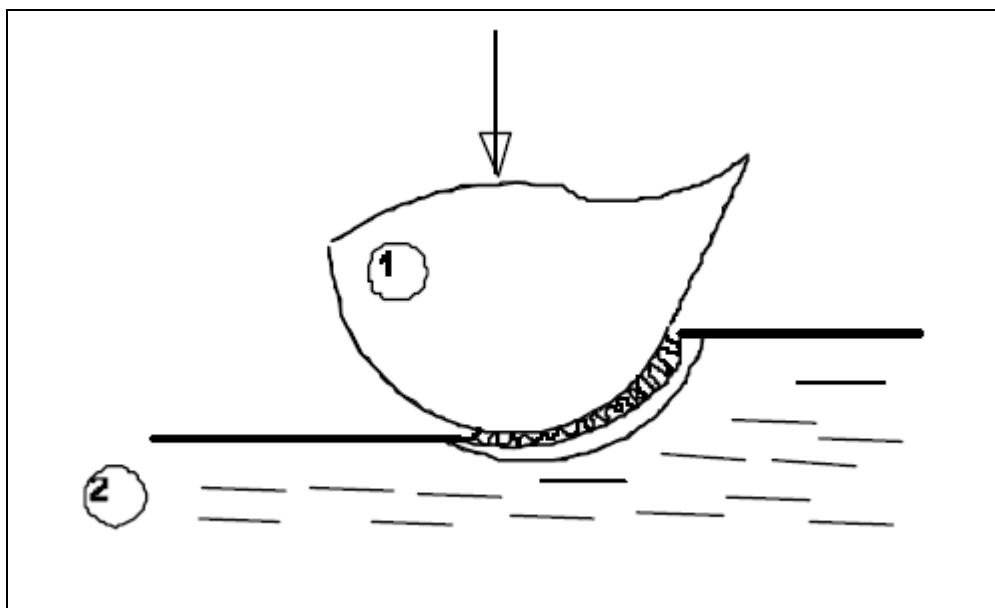


Figura 1a: Model d'unió adhesiva. Font bibliogràfica [9].

En la figura 1 podem veure com es crea l'adhesió entre el cos 1 i el cos 2 i com es crea aquesta microsoldadura. Un cop enganxats l'eliminació de la soldadura comportarà al trencament o ruptura d'un dels cossos.

Sobre la unió adhesiva té influència: la compatibilitat metal·lúrgica dels metalls o solubilitat, que facilita la formació d'aliatges; les condicions de fricció (seca, lubricada); la microgeometria superficial, la magnitud de la càrrega externa aplicada; la relació de duresa dels materials en contacte.

El mecanisme de formació i destrucció de la unió adhesiva s'explica de la següent manera: Degut a l'atracció molecular o atòmica superficial es produeix una força d'atracció que uneix fortament les superfícies en els punts de contacte real, portant per conseqüència la formació d'una unió adhesiva. La destrucció de la unió adhesiva (Figura 1b) representa la transferència de material d'un cos a un altre i la generació de partícules de desgast.

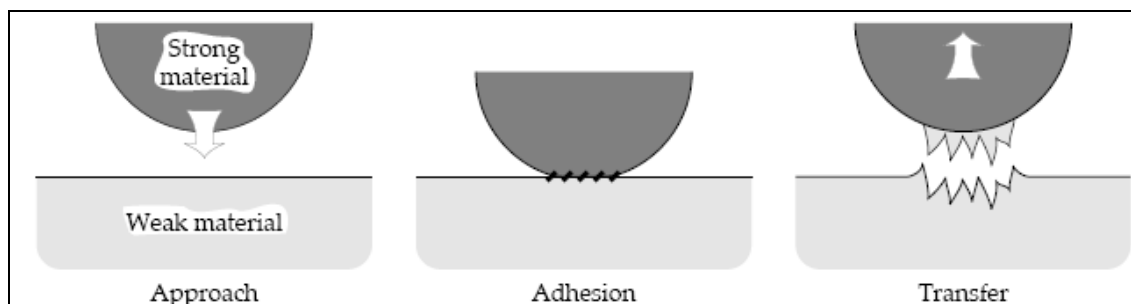


Figura 1b: Procés de transferència de material mitjançant adhesió. Font bibliogràfica [9].

Metal	Solubility in iron [atomic %]	Adhesion force to iron [mN]
Iron		> 4.0
Cobalt	35	1.2
Nickel	9.5	1.6
Copper	< 0.25	1.3
Silver	0.13	0.6
Gold	< 1.5	0.5
Platinum	20	1.0
Aluminium	22	2.5
Lead	Insoluble	1.4
Tantalum	0.20	2.3

Taula 1: Força d'adhesió de varis metalls davant del ferro. Font bibliogràfica [13].

Dues superfícies que interactuen només tenen contacte en uns quants punts aïllats, el que fa aparèixer esforços elevats en aquestes àrees. Això produeix flux plàstic en la interfase. A la taula 1 podem veure la força d'adhesió de varis metalls davant del ferro.

2.2.2.2 Desgast abrasiu

Quan un cos dur patina sobre una superfície tova, a l'aplicar l'esforç normal es grava en aquesta una sèrie de foradets que es coneix com a desgast per abrasió de dos cossos. Per altra banda, les partícules dures soltes que entren a la interfase lliscant actuen com esmerils i el procés d'eliminació de metall per a la seva acció es coneix com desgast per abrasió de tres cossos. Les partícules dures poden ser residus metàl·lics atrapats com a resultat del fregament o bé, capes d'òxid despreses. Una situació de desgast per abrasió de tres cossos dona lloc al ratllat de les parts d'una maquinària.

El desgast per abrasió té lloc quan partícules o superfícies dures són arrastrades o pressionades sobre una altra superfície sòlida. Generalment es distingeixen dos tipus principals de contacte en el desgast abrasiu:

- Desgast per aspreses dures: Té lloc quan un cos es mou per sobre una superfície de menor duresa, donant lloc al despreniment de partícules. Aquest fenomen ocorreria en processos com el llimat, esmerilat o el rectificat.
- Desgast per partícules dures: Aquest tipus de desgast té lloc quan la partícula abrasiva és retinguda entre dues superfícies danyant els elements en contacte (Figura 2). En altres ocasions, les partícules dures queden incrustades sobre la superfície de menor duresa. La partícula pot provenir tant del exterior del sistema lubricat (principalment pols ambiental) com de l'interior, pertanyent a fragments de desgast d'un altre element de major duresa.

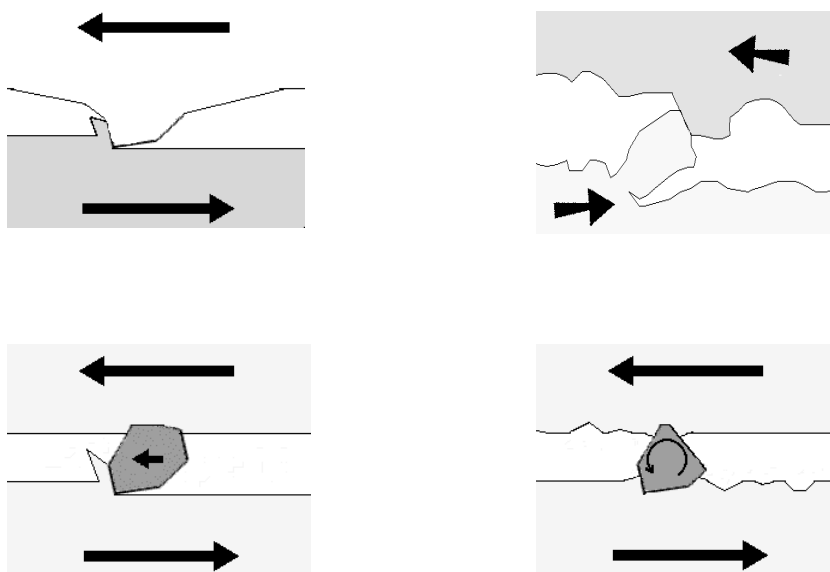


Figura 2: Tipus de desgast abrasiu. Font bibliogràfica [9].

Les aspreses dures i els grans d'abrasius poden assimilar-se a eines de tall elementals amb angles de tall negatiu, que produeixen sobre les superfícies de fricció un ratllat característic amb la consegüent formació de microferritges. La velocitat a la qual les superfícies es desgasten per efecte de l'abrasió depèn dels següents factors:

- Morfologia i duresa: Quant major és la diferència de dureses de les dues superfícies en contacte més greus són els fenòmens abrasius; la morfologia de la partícula abrasiva determina el volum de material després.
- Temperatura: Els desgast creix amb l'augment de temperatura de les superfícies, no obstant s'ha demostrat que en metalls com alumini o coure no s'aprecia un augment significatiu en el desgast quan s'apliquen increments de temperatura de fins a 500°C
- Càrrega i velocitat de contacte: L'augment del desgast es directament proporcional a la càrrega i a la velocitat, a més, si durant el desgast es generen partícules abrasives el desprendiment de material és superior.
- Corrosió: S'ha trobat una relació directa entre desgast abrasiu i ambients corrosius, especialment en entorns de baix pH. El desgast abrasiu genera superfícies netes que ràpidament es corroeixen, i posteriorment l'abrasió elimina la capa de corrosió que actuava com aïllant.

El desgast abrasiu és molt corrent, i molt intens en certes condicions de treball agreujants, com mitjans polsosos amb insuficient filtrat d'aire, molins en fàbriques de formigó, etc.

La principal arma contra aquest tipus de desgast és, a més d'un acabat superficial fi, l'elecció de metalls amb gran duresa superficial, obtinguda per cementació, nitruració, cromat, templa per inducció, aprofitant la formació de carburs de tungstè, vanadi, crom,...etc

Una mesura de la resistència a l'abrasió seria el grau de deformació elàstica que la superfície pugui admetre sense deteriorar-se. Per això, el cautxú és molt resistent al desgast abrasiu i molt usat en aplicacions amb condicions que l'afavoreixin. Aquesta modificació del mòdul elàstic dels metalls es pot aconseguir intentant modificar la seva estructura cristal·lina, introduint espais buits a la seva massa com als metalls porosos, o en la pròpia fosa, on les partícules de grafit farien aquest paper, a més d'afegir condicions lubricants.

Es pensava que el desgast abrasiu per esquerdes o aspreses dures eren degudes al tall fet per màquines. Tanmateix, l'examinació microscòpica ha revelat que el procés de tallat només creen esquerdes i estan involucrats molts altres mecanismes indirectes en el desgast. Les partícules d'esquerdes poden arrancar material a través de microtalls, microfractures, arrencament de grans o acceleració de la fatiga mitjançant repetides deformacions, com es pot veure en la figura 3:

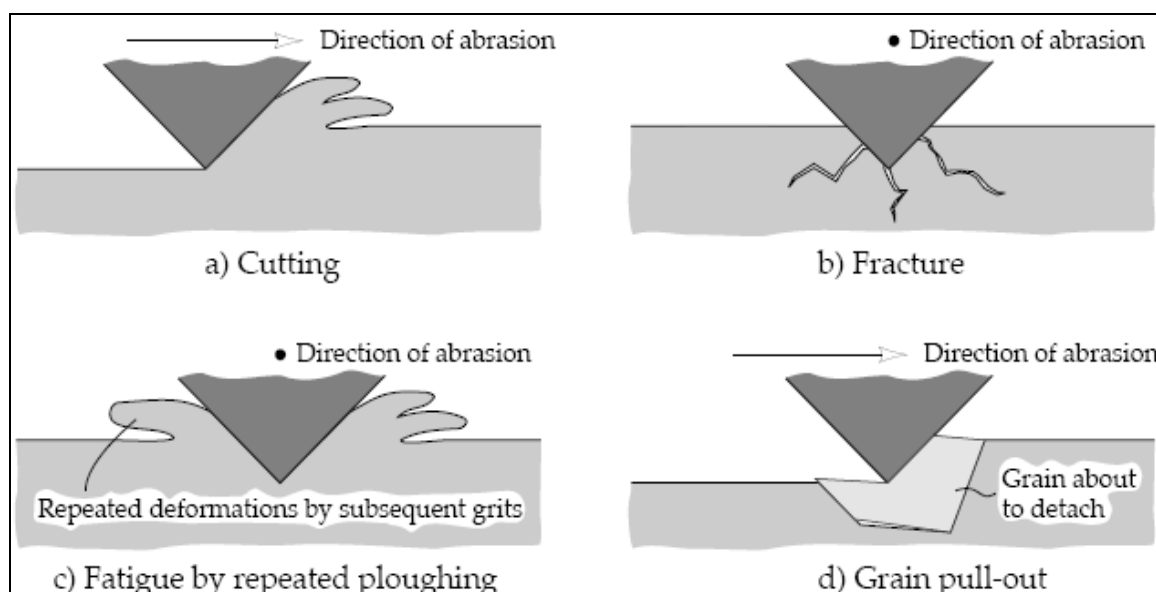


Figura 3: Mecanismes de desgast abrasiu: a) Microtall; b) Fractura; c) Fatiga; d) Arrancament de grans. Font bibliogràfica [9].

Microtalls

La gran majoria d'aquestes complexes visions de desgast abrasiu és relativament nou des de que, totes les formes de desgast, els mecanismes de desgast abrasiu oculten, ells mateixos, altres materials. Fins que recentment, demostracions directes de mecanismes de desgast abrasiu mostren virtualment que no existien.

El desenvolupament del microscopi electrònic Scanning Electron Microscope (SEM) ha donat fruit a la possibilitat de veure amb molt més de detall alguns aspectes del desgast abrasiu.

La presència d'un lubricant és també un factor molt important. Quan un lubricant està present, el procés de tall ocorre per un menor radi de penetració d'esquerda que no pas si no fos lubricat.

La geometria de l'esquerda també afecta al mecanisme de desgast abrasiu. S'ha observat que una partícula acabada de fracturar conté molts més forats micro tallats que una que ja fa temps que s'ha tallat. Això implica que aquestes partícules puguin arrancar molt més material que altres. Vegem un exemple en la figura següent:

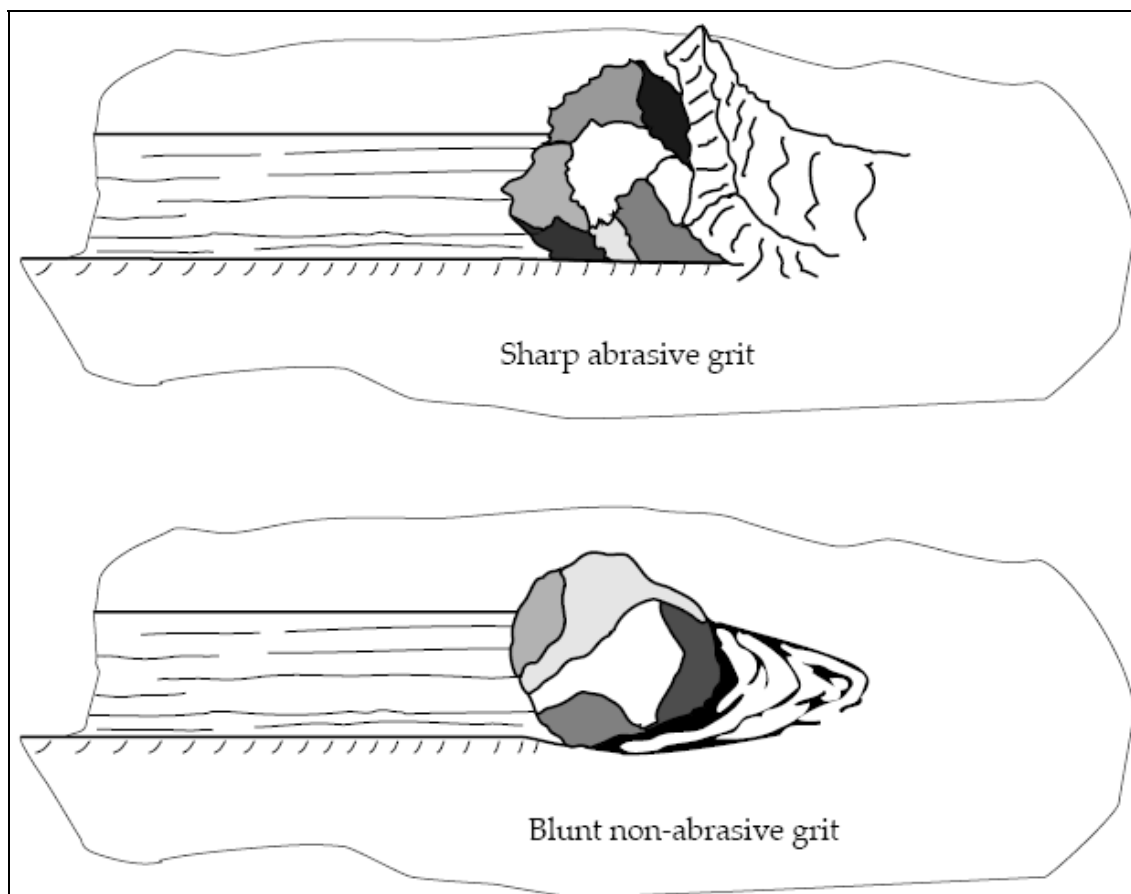


Figura 4: Arrencament de material per partícules abrasives i no tan abrasives. Font bibliogràfica [9].

Podem veure en la figura 4 que la partícula superior arranca el material tallant-lo i la partícula de sota el que fa es crear onades de material.

A continuació veurem l'arrencament de la superfície del material en una vista d'alçat (Figura 5):

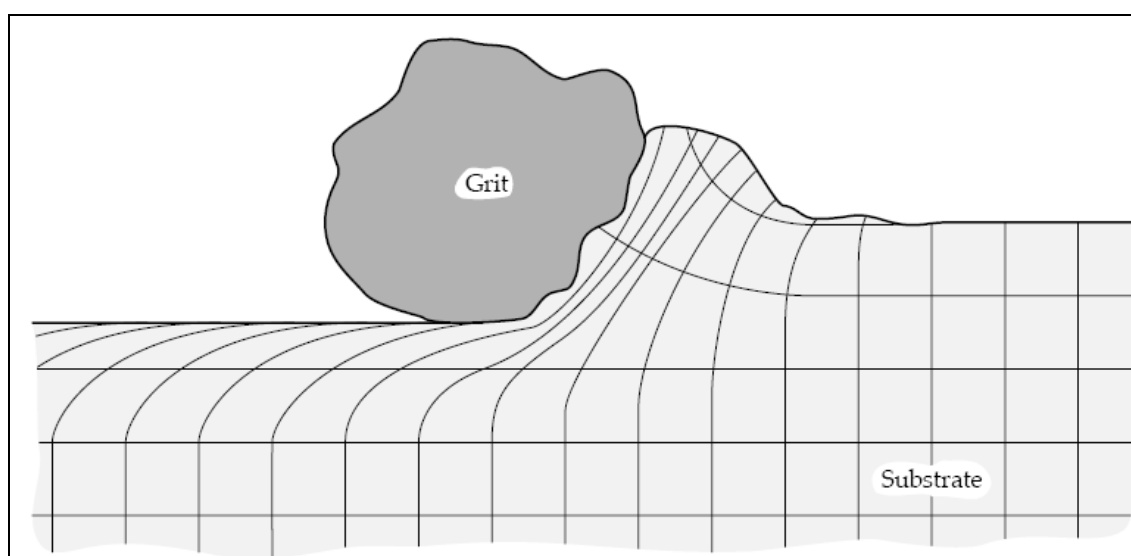


Figura 5: Superfície de deformació durant el pas d'un gra abrasiu. Font bibliogràfica [9].

Fractura

L'evidència visual de desgast abrasiu per fractura va ser descobert estudiant generació de ruptura de la superfície inferior causada per un objecte afilat en un sòlid transparent com es pot observar en la figura 6:

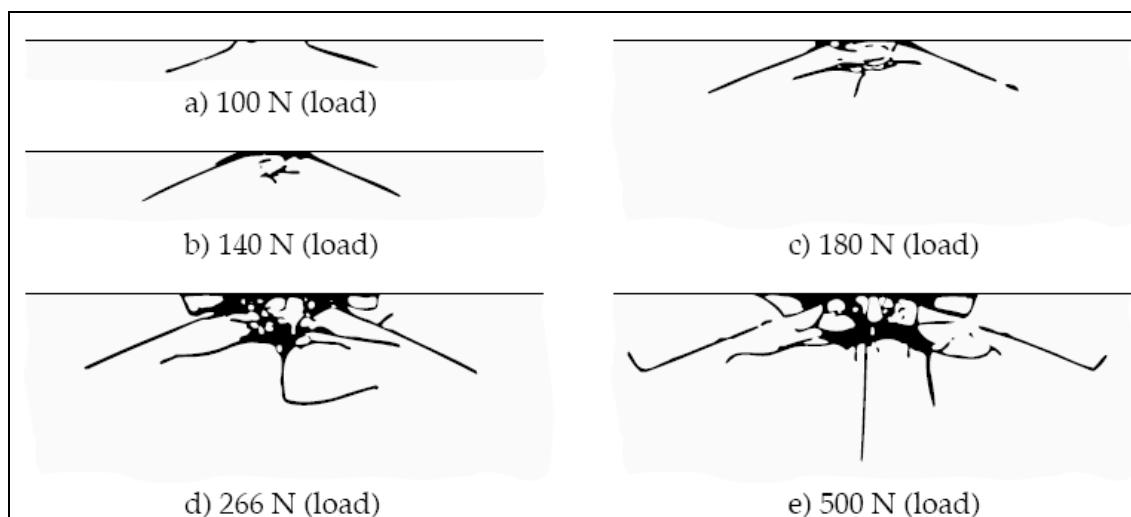


Figura 6: Generació de ruptures. Font bibliogràfica [9].

Diverses formes de ruptura es van trobar, unes propagades a 30° a la superfície, amb fragmentació localitzada i una profunda esquerda al mig. Quan les esquerdes es mouen successivament a través de la superfície, l'acumulació de ruptures provoca que es tingui d'arrancar i treure grans quantitats de material.

Fatiga

Les repetides cavitats causades per grans deformant l'àrea sobre la superfície d'un material també pot provocar fatiga en metalls. S'ha trobat una evidència detallada per ambdues direccions de desplaçament de material i la subsegüent ruptura. Un exemple d'un mecanisme amb ambdues direccions de material és el que podem veure en la figura 7.

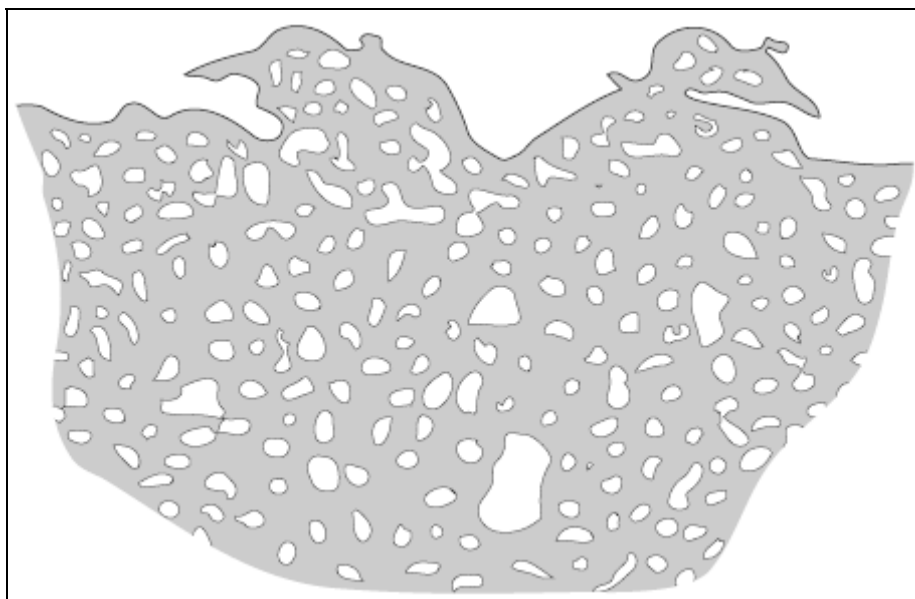


Figura 7: Exemple d'un material amb desplaçament a ambdós costats. Font bibliogràfica [9].

Arrencament de grans

L'arrencament de grans és un rar tipus de desgast que es troba principalment en les ceràmiques. Aquest mecanisme de desgast es pot convertir en extremadament ràpid si els grans són dèbils i grossos.

2.2.2.3 Fatiga

La fatiga mecànica superficial es produeix entre dues superfícies en moviment de rotació pura i lliscament combinats, amb lubricació i sotmeses a una càrrega que produeixi esforços hertzians. En ocasions es presenta entre superfícies en lliscament pur amb càrregues cícliques importants, com el cas de coixinets. Es manifesta amb l'aparició d'esquerdes sobre la superfície del metall.

En la figura 8 es mostra esquemàticament la formació d'una esquerda de fatiga, s'observa que es desenvolupa en "v" amb el seu vèrtex dirigit en el sentit de la força, el desprendiment de partícules de desgast per ruptura es produeix a partir de l'angle de la "V" degut als esforços de flexió als que estigui sotmesa; quan el deteriorament es major, aleshores es desprenen petites i gruixudes làmines de metall, fenomen conegut com escamat.

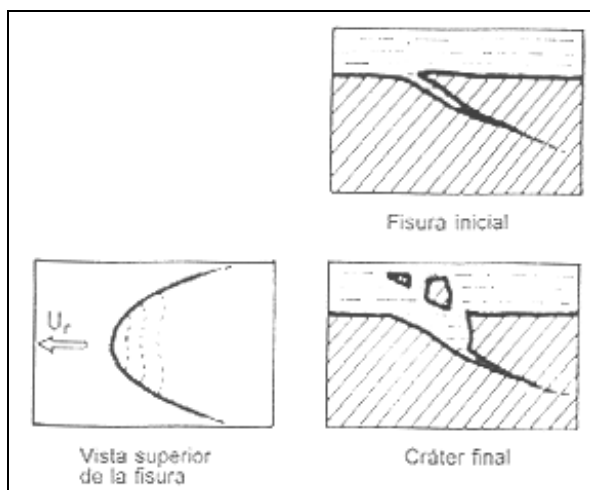


Figura 8: Evolució del desgast per fatiga. Font bibliogràfica [7].

La fatiga termomecànica afecta a les superfícies dures de materials fràgils (ceràmiques, carburs, nitrurs, etc) amb una resistència a la tracció menor que a la compressió i sotmeses a elevats gradients tèrmics. Aquest desgast afecta sobretot a les superfícies en lliscament pur, amb velocitat elevada i lubricades o no. El deteriorament produït es presenta en forma d'esquerdes repartides uniformement, de direcció perpendicular a la direcció del lliscament.

Els efectes continuats de friccions de rotació i de lliscament sota fortes càrregues i amb les deformacions corresponents, provoquen la creació i propagació d'esquerdes microscòpiques, que donen lloc al picat de coixinets i dents d'engranatges i que es mostra generalment sense previ avís a través d'una ruptura total per unió de les microfissures.

Aquest fenomen està molt relacionat amb els acabats de mecanització i amb la manca de duresa homogènia en tots els punts de la superfície metàl·lica, que generen desigualtats en la repartició de càrregues i contraccions exagerades en punts localitzats del metall, repetides en cada gir i que sobrepassen els límits elàstics d'aquest.

Desgast per fatiga iniciada en una superfície

Les ruptures i les fissures han estat freqüentment observades als microscopis. El mecanisme de desgast per fatiga iniciada en la superfície queda il·lustrat en la figura següent:

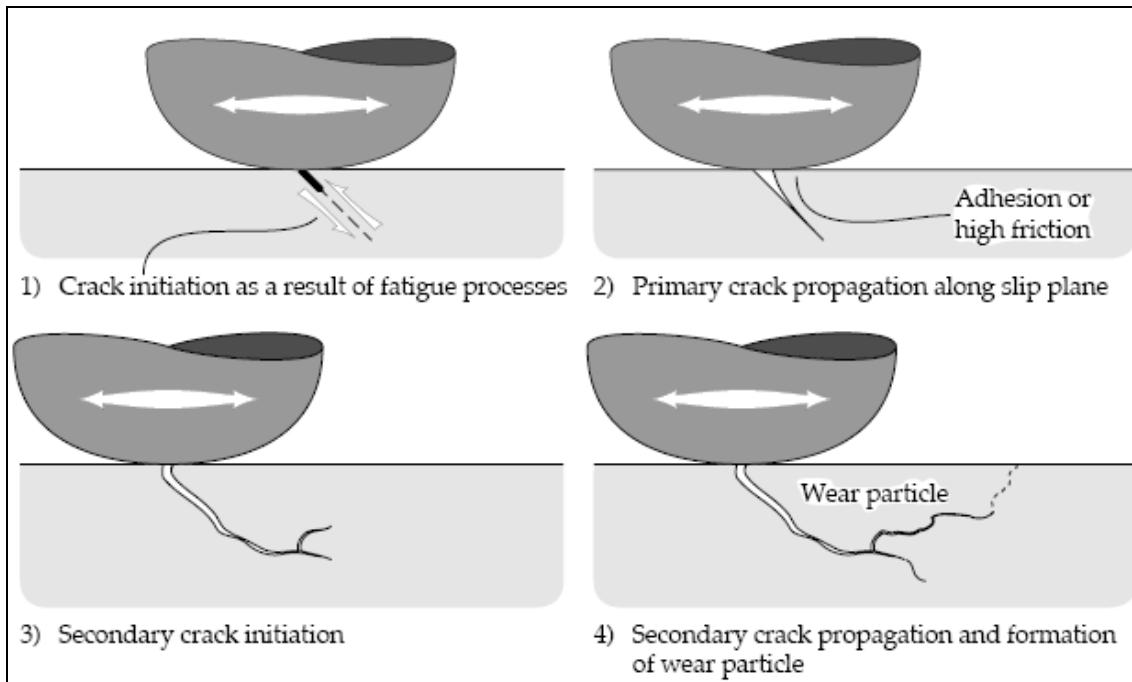


Figura 9: Il·lustració esquemàtica del procés d'inici i propagació de ruptura de superfície. Font bibliogràfica [9].

Una primera ruptura s'origina a la superfície en un punt dèbil d'aquesta i es propaga cap avall a través de dèbils camins esquerdats que va formant (Figura 9). Una ruptura secundària es desenvolupa des de la ruptura primària de manera que aquesta es connecta amb una ruptura a la subsuperfície. Quan la ruptura desenvolupada arriba a la superfície, es crea una partícula que es desprèn de la superfície a causa del desgast (Figura 10 i 11).

Per altra banda, s'ha trobat que durant el lliscament sense lubricació, en particular en el lliscament recíproc, es formen partícules de desgast a causa del creixement de ruptures iniciades en la superfície.

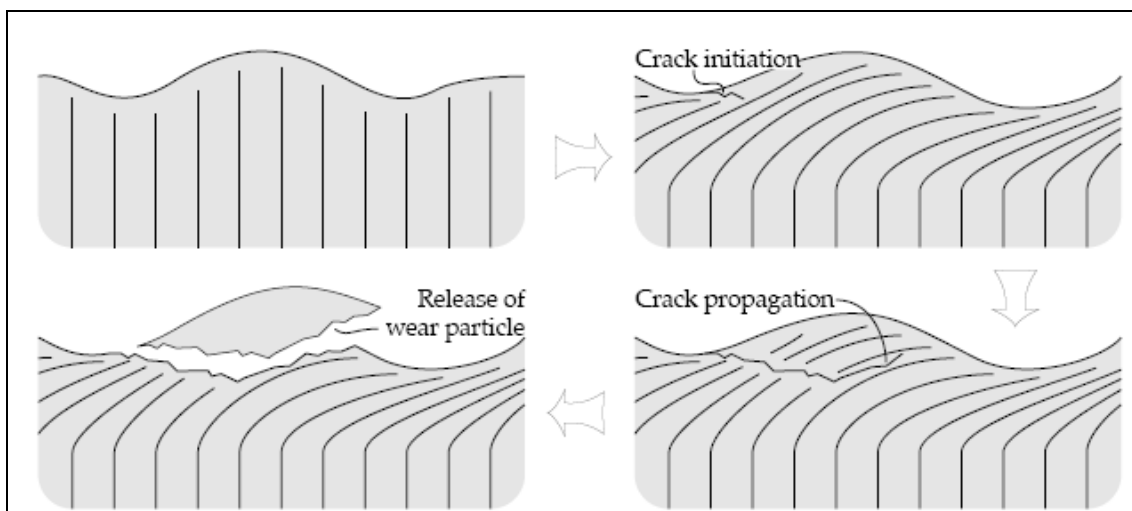


Figura 10: Il·lustració esquemàtica del mecanisme de formació de partícules de desgast a causa del creixement de l'inici de ruptures en la superfície. Font bibliogràfica [9].

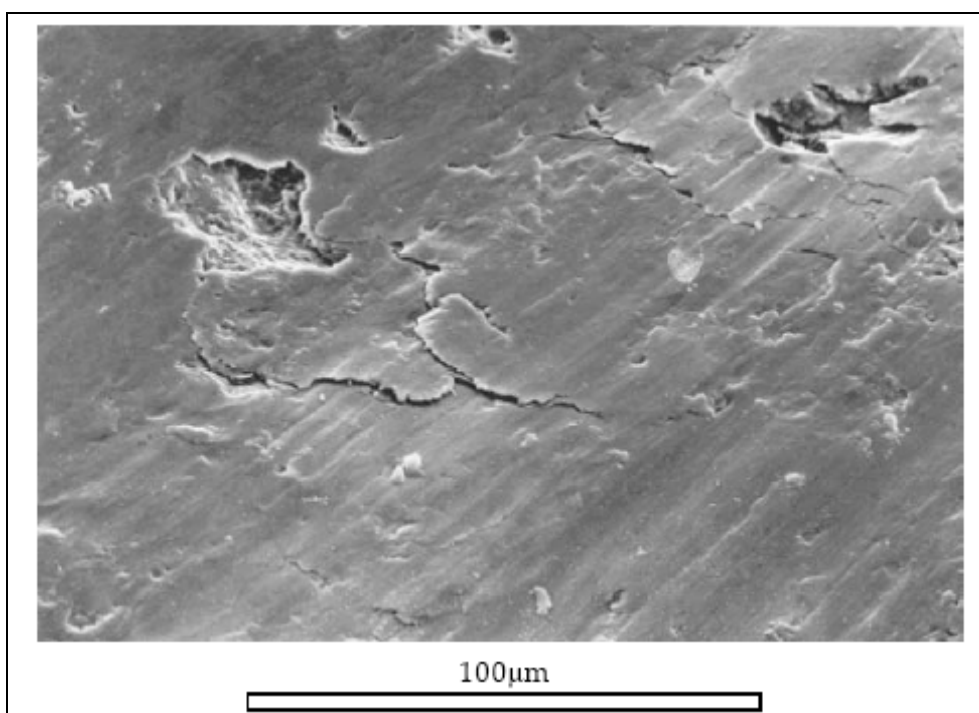


Figura 11: Vista microscòpica d'una superfície desgastada a causa de la fatiga. Font bibliogràfica [11].

Desgast per fatiga iniciada a l'esquerda d'una subsuperfície

Durant el lliscament que es produeix en el contacte entre dos cossos, la major part del dany originat al material de cada cos ocorre quan les dues superfícies de contacte llisquen entre elles. Podem veure-ho en la figura 13.

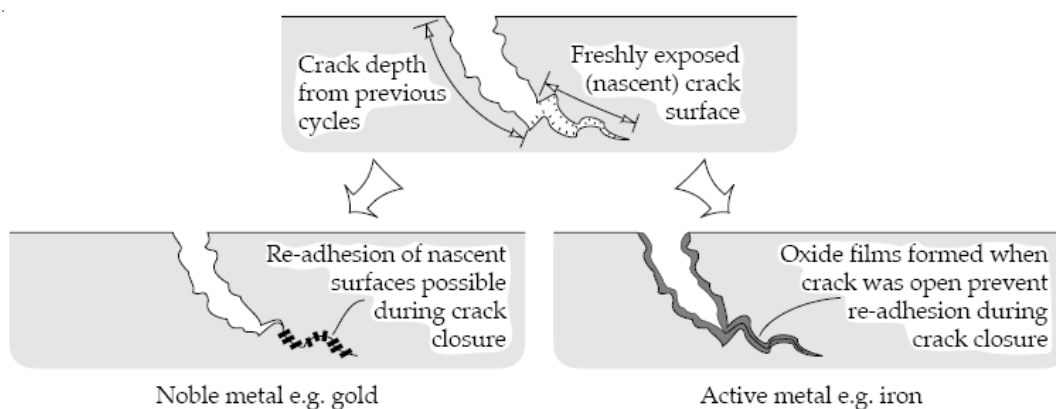


Figura 13: Efectes de pel·lícules d'òxid durant el desenvolupament d'esquerdes superficials. Font bibliogràfica [9].

Una superfície desgastada pot mantenir-se força absent de dany, mentre que uns micròmetres més enllà es pot veure com es comença a formar un desgast de partícules. La majoria dels materials utilitzats en enginyeria contenen inclusions i altres imperfeccions sota la deformació plàstica. Aquests espais o forats formen una ajuda complementària per iniciar el creixement d'esquerdes com està il·lustrat a la figura 14:

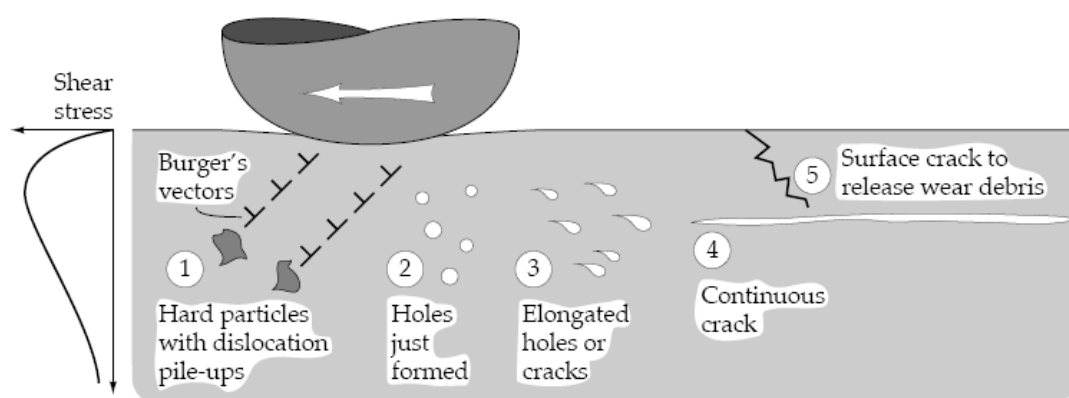


Figura 14: Il·lustració d'un procés de formació d'esquerdes subsuperficials a causa del creixement i la connexió de forats. Font bibliogràfica [9].

2.2.2.4 Desgast per contacte d'origen mecànic

El desgast per contacte es presenta quan dues superfícies carregades i en contacte es sotmeten a un moviment relatiu de baixa amplitud i alta freqüència que pot ser de torsió, lliscament o flexió. Les etapes es mostren a la figura 15. El mecanisme d'aquest tipus de desgast és el següent:

- Etapa1: Iniciació i formació de la ferritja de desgast per contacte adhesiu, transferència i cisallament de les unions.
- Etapa2: Les ferritges, sotmeses a elevades pressions i temperatures, s'oxiden al ser triturades i aixafades, produint partícules de menor grandària i més reactives, les quals s'acaben oxidant completament. Cal destacar que la poca magnitud de les vibracions no permet que les partícules de desgast surtin de l'àrea de contacte.
- Etapa 3: Les partícules d'òxid acumulades i comprimides poden donar a lloc a aglomerats d'alta duresa, produint el desgast de les superfícies per un doble

mecanisme: abrasió i fatiga per martelleig. Les superfícies sotmeses a corrosió per contacte són molt sensibles a la fatiga ja que les zones atacades constitueixen focus d'esquerdament intergranular.

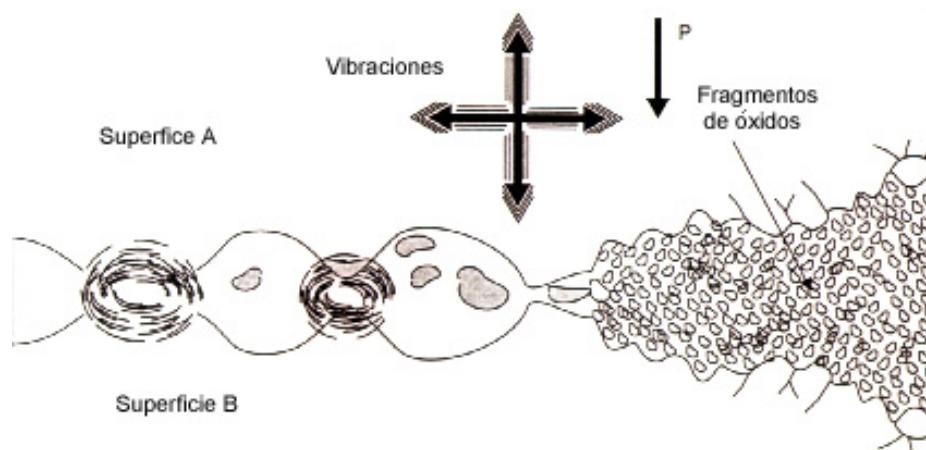


Figura 15: Etapes del desgast per contacte mecànic. Font bibliogràfica [11].

2.2.2.5 Desgast per cavitació

Es defineix cavitació com la continua nucleació, creixement i col·lapse violent de bombolles de gas dins d'un líquid. En la pràctica, la cavitació pot aparèixer en tot líquid en el qual es generin canvis de pressió per vibracions en el flux o canvis i irregularitats en les conduccions. El procés de cavitació es pot resumir en 4 fases (Figura 16):

- Fase 1: Formació de bombolles de vapor en les regions on la pressió és inferior a la pressió de vapor del líquid.
- Fase 2: Creixement de les bombolles de vapor, afavorit per les microbombolles d'aire atrapat, per altres gasos atrapats en el fluid i per les petites impureses transportades pel fluid.
- Fase 3: Compressió brusca de les bombolles al arribar el líquid a àrees de pressió superior.

- Fase 4: Les bombolles són totalment inestables esclatant de forma violenta en la majoria dels casos. El col·lapse de les bombolles desencadenen microprojeccions de fluid que incideixen directament sobre la paret del sòlid que conté el fluid.

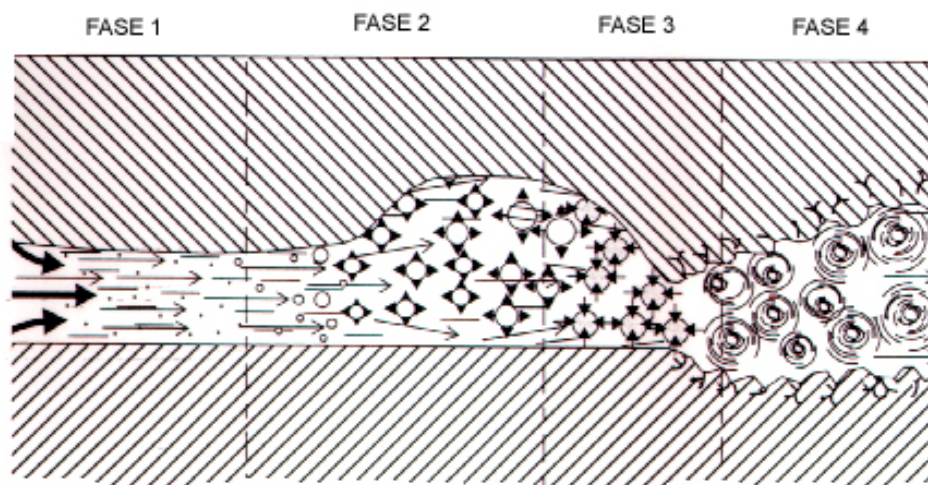


Figura 16: Etapes del desgast per cavitació. Font bibliogràfica [9].

Les àrees sotmeses a desgast per cavitació presenten diminuts pics que s'estenen progressivament sobre la superfície, arribant a desprendre fragments de material d'una grandària considerable. Aquest tipus de desgast es presenta en el circuit de refrigeració dels motors Diesel amb altes sol·licitacions tèrmiques, principalment en la bomba de l'aigua i en la cara exterior de les camises. També es presenta en els coixinets per l'explosió de les bombolles d'aire dissoltes en el lubricant, l'oli passa en primer lloc per la part divergent de la pel·lícula on hi ha baixes pressions i posteriorment passa a la zona convergent on el gradient de pressions és important.

El desgast per cavitació es pot evitar realitzant una selecció adequada de materials, els més resistents a aquest tipus són els materials amb alta ductilitat i resistència a la fatiga. En les estructures heterogènies la resistència al desgast per cavitació és baixa, tal i com ocorre en les foses perlítiques de grafit laminar, utilitzades en les camises de motor o en els materials antifregament dels coixinets

La cavitació és un fenomen que es dona a les bombes centrífugues quan la pressió absoluta a l'entrada del rodet és inferior a un determinat valor.

Si el líquid que es bombeja es mou per una regió on la pressió és menor a la seva pressió de vapor, es vaporitza a l'interior de la bomba.

Al vaporitzar-se es formen unes bombolles que són dirigides cap a una regió on la pressió es major i allà desapareixen instantàniament. En aquest instant el volum que ocupaven les bombolles passa a ocupar-se de forma violenta amb el líquid. Això provoca una sèrie de turbulències que es tradueixen amb unes vibracions als àleps que es transmeten als eixos, rodaments, tancaments, etc.

Si la bomba funciona amb aquestes condicions durant un cert temps es pot danyar greument (Figura 17).

La millor manera per prevenir la cavitació és un bon disseny amb la finalitat d'evitar, com sigui possible, les baixes pressions (sobretot les que estan per sota del punt de vaporització). Però, on no sigui possible degut a factors externs fora del nostre camp, es pot optar per introduir petites quantitats d'aire, injectades a la zona on es produeix el fenomen. Una altra solució pot ser la d'utilitzar protecció catòdica, per evitar que els cops de la rotació danyi les parets de la màquina. Segons l'equació de Bernouilli, quan la pressió augmenta, la velocitat disminueix i viceversa. Així que s'haurà d'evitar com sigui possible, que la pressió disminueixi, evitant que la velocitat augmenti.

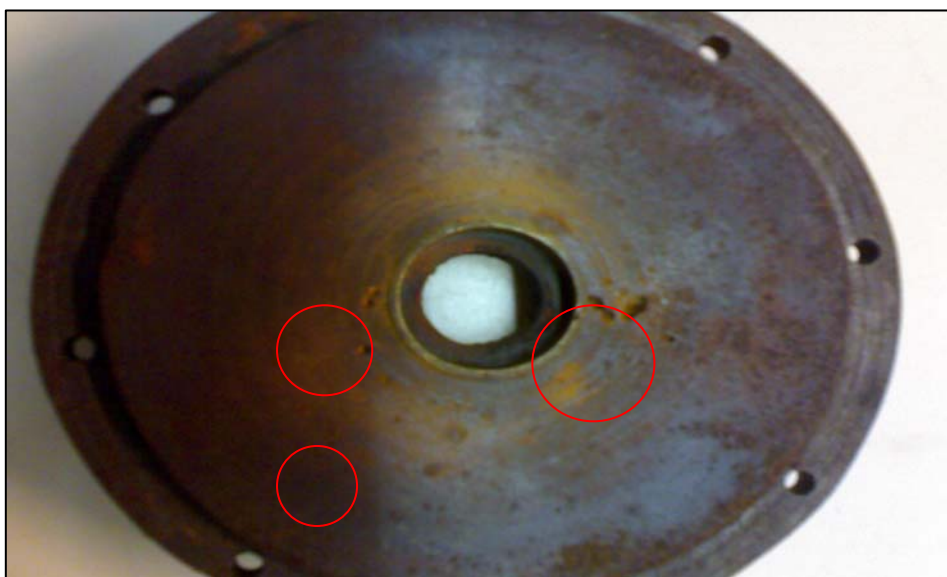


Figura 17: Imatge d'una de les parts d'una motobomba que ha sofert desgast per cavitació.

2.2.2.6 Desgast per oxidació i corrosió

El desgast corrosiu correspon a un aixecament per fregament mecànic dels productes de reacció formats per l'atac químic dels agents corrosius de l'entorn (com gasos de combustió en el cas dels motors tèrmics) o producte de degradació del lubricant (àcids resultants de processos d'oxidació, hidròlisi d'additius, etc).

El procés típic de formació del desgast corrosiu és el següent:

- Fase 1: Els dos materials estan en contacte però s'ha format una fina capa superficial d'òxid en un d'ells. El desgast adhesiu s'ha suprimit
- Fase 2: Durant el lliscament d'un dels material es produeix la ruptura de la capa superficial d'òxid i per tant, el desgast adhesiu encara està suprimit. La capa d'òxid ha augmentat la seva profunditat.
- Fase 3: Una intensa corrosió a causa de la dissolució anòdica entre esquerdes a la pel·lícula danyada.
- Fase 4: El lliscament suprimeix els productes de corrosió dèbils. Es produirà una ràpida corrosió a la superfície exposada que s'ha esquerdat anteriorment.

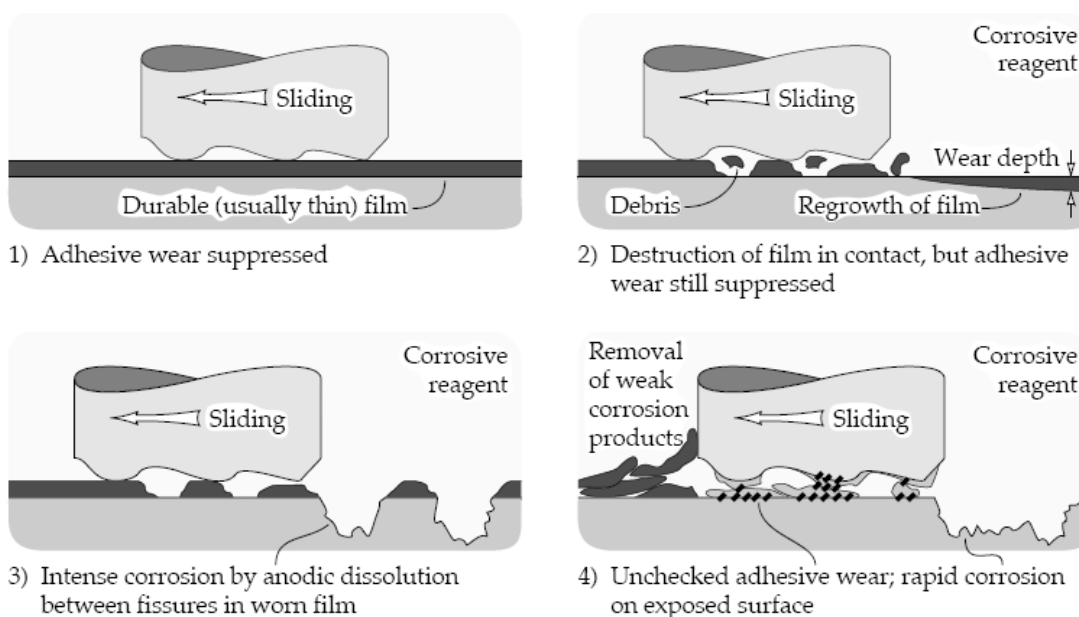


Figura 18: Models d'interacció entre un agent corrosiu i una superfície desgastada. Font bibliogràfica [9].

A la figura 18 podem veure 4 models d'interacció entre un agent corrosiu i una superfície desgastada. En el primer veiem que el desgast adhesiu s'ha suprimit. A la figura n°2 podem veure la destrucció de la pel·lícula en contacte. El desgast adhesiu encara està suprimit. A la figura n°3 podem veure una intensa corrosió a causa d'una dissolució anòdica entre fissures. Per últim, tenim un desgast adhesiu sense comprovar i una corrosió exposada en una superfície.

A la figura 19 veiem una formació d'enderrocs que consisteix en una barreja d'òxid i metall.

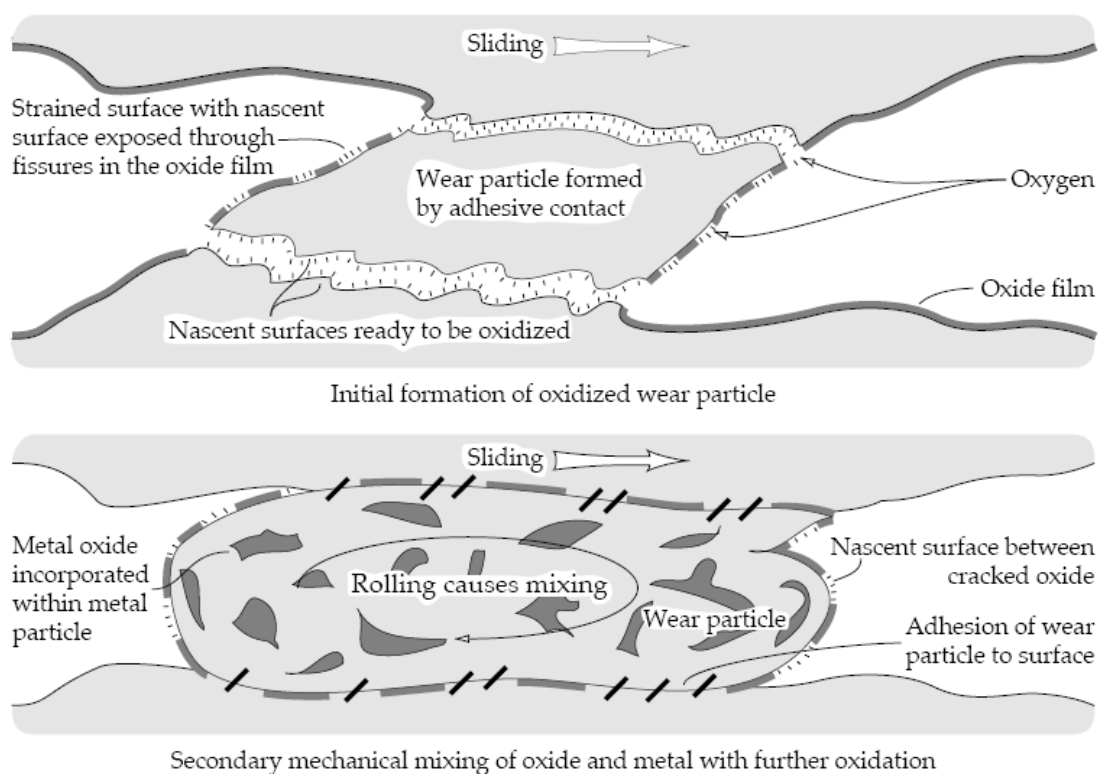


Figura 19: Formació d'enderrocs que consisteix en una barreja d'òxid i metall. Font bibliogràfica [9].

2.2.2.7 Desgast per erosió

El terme desgast erosiu es refereix a un nombre sense especificar de mecanismes de desgast que ocorren quan partícules relativament petites impacten contra components mecànics. Aquesta definició és empírica per la natura i relata més consideracions pràctiques que qualsevol altra comprensió fonamental de desgast.

El desgast erosiu involucra varis mecanismes de desgast els quals estan controlats per la partícula del material, l'angle d'inclinació de la partícula, la velocitat d'impacte i la grandària de la partícula. Si la partícula és dura i sòlida aleshores és possible que un procés similar al desgast abrasiu ocorri.

El desgast erosiu per partícules es defineix com la pèrdua de material a conseqüència de repetits impactes de petites partícules en suspensió en un medi líquid o gasós, sobre la superfície del metall sotmès a desgast, en aquest desgast les partícules piquen i reboten sobre la superfície, mentre que en el desgast abrasiu es produeix fer llicament sobre la superfície segut a l'aplicació d'una força externa.

El desgast erosiu per líquids (Figura 20) està produït per l'impacte de líquids a gran velocitat sobre superfícies (com àleps de turbines). La duració de l'impacte és molt petita i produeix una molt breu i violenta compressió pulsatòria que es transmet al material originant esquerdes en els components fràgils i deformacions plàstiques en superfícies toves.

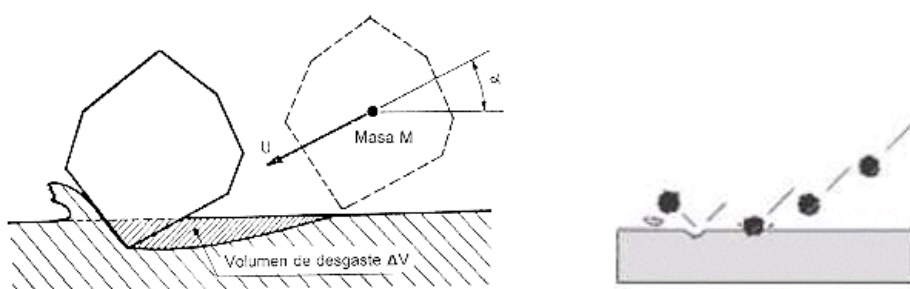


Figura 20: Efecte del desgast erosiu. Font bibliogràfica [7].

A la figura 21 podem veure diversos mecanismes d'erosió: a) Abrasió a un angle d'impacte lent, b) Fatiga superficial a velocitat baixa, gran angle d'inclinació de l'impacte, c) Múltiples deformacions plàstiques a velocitat mitja, gran angle d'inclinació, d) Gran velocitat

d'impacte a sobre d'una superfície tova, e) Erosió macroscòpica amb efectes secundaris, f) Degradació cristal·lina a causa d'impactes atòmics.

A la figura 22 apareix un mecanisme d'erosió a causa de partícules líquides sobre una superfície sòlida i a la figura 23 podem veure un exemple d'un anàlisi de la trajectòria que prenen les partícules per a prevenir el desgast erosiu en l'àlep d'una turbina.

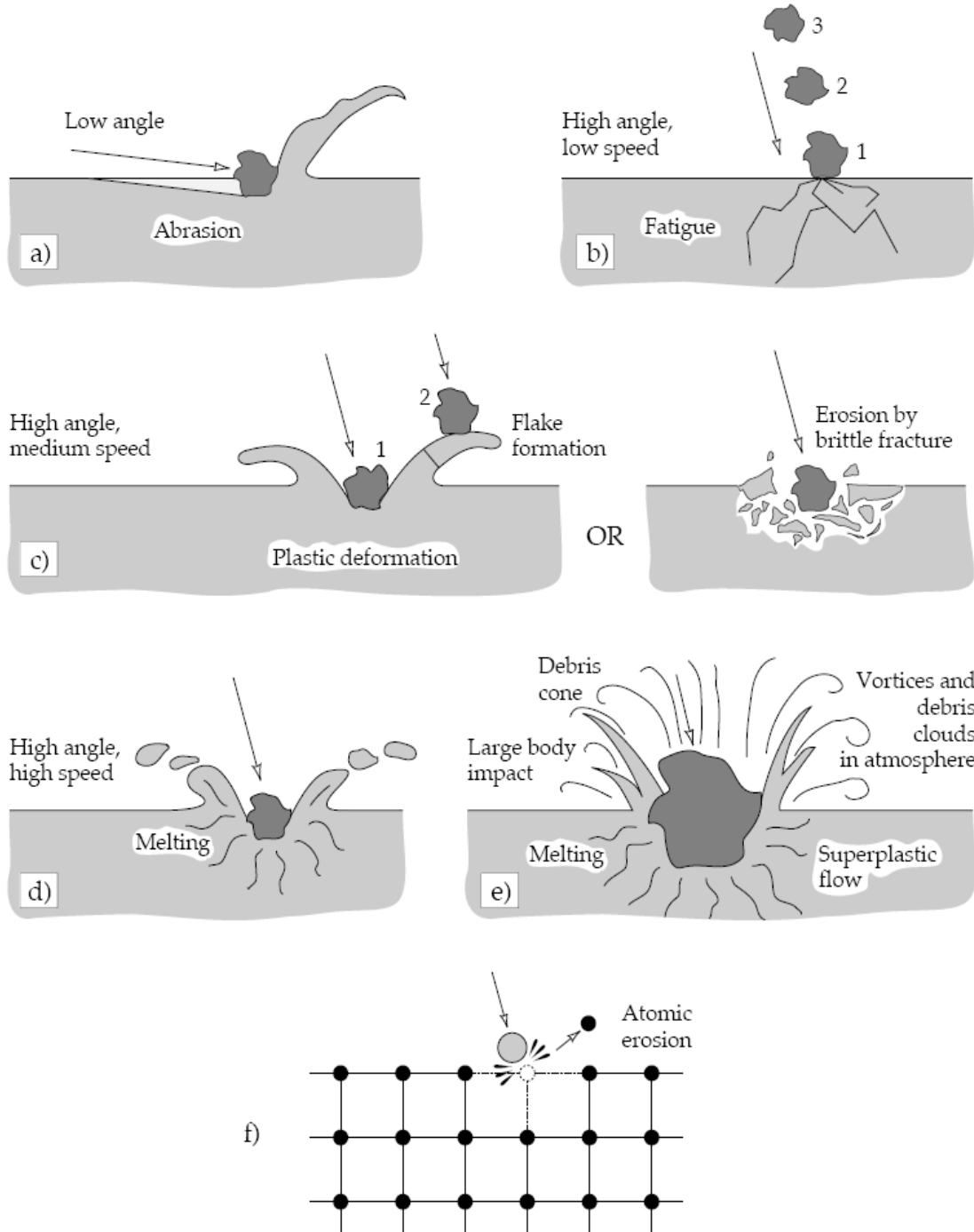


Figura 21: Possibles mecanismes d'erosió: a) Abrasió a un angle d'impacte lent, b) Fatiga superficial a velocitat baixa, gran angle d'inclinació de l'impacte, c) Múltiples deformacions plàstiques a velocitat mitja, gran angle d'inclinació, d) Gran velocitat d'impacte a sobre d'una superfície tova, e) Erosió macroscòpica amb efectes secundaris, f) Degradació cristal·lina a causa d'impactes atòmics. Font bibliogràfica [9].

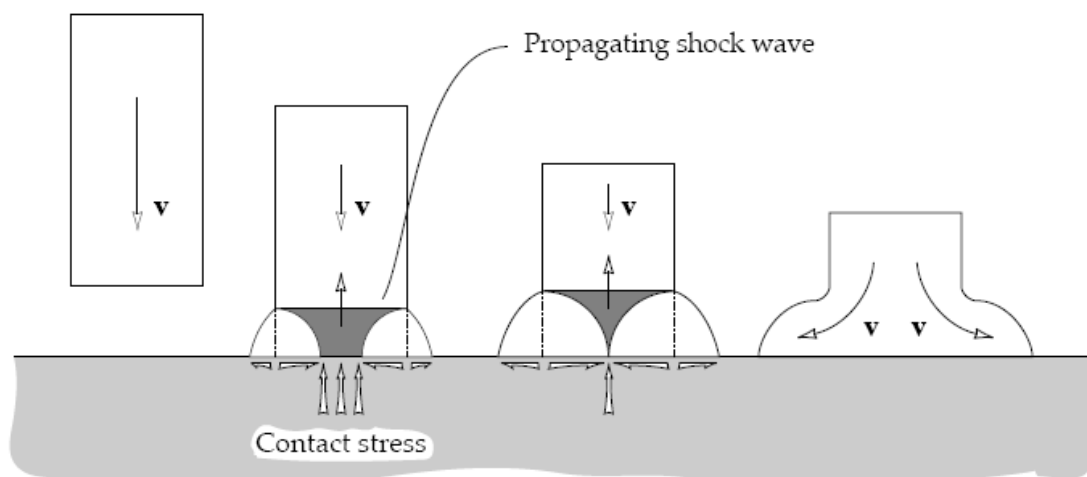


Figura 22: Mecanisme d'erosió a causa de partícules líquides sobre d'una superfície sòlida. Font bibliogràfica [9].

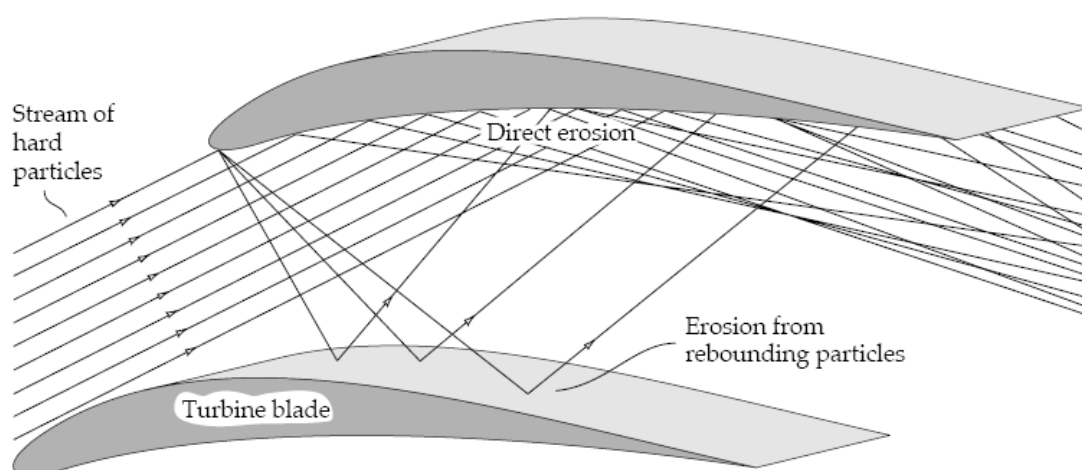


Figura 23: Exemple de d'un anàlisi de la trajectòria que prenen les partícules per a prevenir el desgast erosiu en l'àlepe d'una turbina. Font bibliogràfica [9].

2.2.3 Desgast en motors de combustió

Tots els anàlisis d'oli de motor usat reportaran elements de materials de desgast. L'important és minimitzar aquest desgast a través d'un programa de manteniment pro actiu.

Per a reduir el desgast utilitzant l'anàlisi d'oli, tenim que entendre de quines parts del motor provenen aquestes partícules de desgast. Existeixen molts dissenys de motors, utilitzant varis materials.

En general, els eixos i coixinets de l'arbre de lleves, martell, passadors i pistons són de bronze, mentre que els coixinets de bieles i bancada que reben forces més grans són de dos o tres metalls. L'última capa normalment és de plom per gastar-se en el assentat del motor i deixar millor la circulació de l'oli sense turbulència.

Per a aquests exemples, agafarem un motor normal.

Ferro: El primer element que mirem és el ferro. Normalment el ferro ve de la fricció entre les parets dels cilindres (siguin camises o el bloc mateix) i els anells. Però també pot ser de l'arbre de lleves, el cigonyal, les vàlvules, els coixinets, la bomba d'oli, els engranatges de la cadena, el turbo, les guies de vàlvules o les bieles.

El ferro pot provenir del desgast o de la ferramenta. Un motor que té oli contaminat per terra o falta de viscositat tindrà desgast per contacte o falta de lubricació hidrodinàmica. Si l'oli està amb aigua, totes les peces de ferro estan subjectes a emplenar-se de ferro. Si la ferramenta és severa, pot continua després de corregir el problema fins que l'oli aconsegueixi controlar-la.

- *Desgast d'anells i cilindres*: Cada hora que el motor està encès, els pistons pugen i baixen, raspant els anells contra les parets dels cilindres. En un viatge de 10 minuts en un automòbil normal, cada anell de cada pistó viatja 6 quilòmetres raspant les parets. Si l'oli perd la seva viscositat, el desgast és sever. Si l'oli està contaminat, els contaminants ratllen les parets. Molta d'aquesta lubricació és hidrodinàmica, depenent de la viscositat per evitar desgast. Quan falla la lubricació hidrodinàmica els anells depenen dels additius antidesgast que proveeixen lubricació límit. El treball de l'anell superior és escombrar l'oli al baixar el cilindre, deixant les parets seques per a la combustió. Aquest anell depèn al 100% de la lubricació límit.

- *Desgast de la bomba d'oli.* La bomba d'oli només pot gastar-se si existeix contaminació de l'oli, nivell baix d'oli (falta de lubricació), o nivell massa alt d'oli (causa escuma que es trenca en la bomba provocant cavitació i falta de lubricació).
- *Altres peces:* el desgast del cigonyal, arbre de lleves, vàlvules i altres peces similars no depèn tant de la càrrega o les pressions, sinó de la lubricació hidrodinàmica i la contaminació. Alt contingut de terra causa desgast sever d'aquestes peces.

Coure: El coure normalment prové de coixinets, refrigerant d'oli, abraçadora d'empenta, guies de vàlvules i de bieles.

Els coixinets i boixes normalment són aliatges i capes de diferents metalls tous dissenyats per absorbir impacte i desgast en lloc del cigonyal i les bieles. El residu d'aquests elements ve de desgast o corrosió.

- Desgast de coixinets i boixes: Quan falta lubricació hidrodinàmica per falta de viscositat o velocitat el motor depèn dels additius antidesgast en l'oli per provenir lubricació límit (també anomenat marginal o estàtica). Si l'oli no pot complir amb aquest requeriment per falta d'additius, a l'existir degradació o sobrecàrrega, el coixinet frega contra la seva contrapart (el cigonyal, biela, etc) i desgasta (Figura 24).



Figura 24: Desgast d'una boixa. Font bibliogràfica [7].

- Desgast de volandera d'empenta: Les volanderes d'empenta sempre estan en contacte amb el bloc quan exigim la màxima força del motor o el sobrecarreguem tractant d'accelerar ràpidament o pujar les

muntanyes. Aquest desgast normalment apareix com coure (Figura 25).

Figura 25: Desgast en volanderes d'empenta. Font bibliogràfica [7].

- Desgast de guies de vàlvules. Les guies de vàlvules haurien de durar molts anys. No obstant, quan l'oli és de baixa qualitat i comença a carbonitzar-se en les tiges, aquest carbó desgasta les guies, causant coure en els anàlisis i alt consum d'oli (Figura 26).



Figura 26: Desgast en guies de vàlvules. Font bibliogràfica [7].

- Corrosió: El refrigerant d'oli (si té) és subjectat a corrosió pels àcids i la humitat en l'oli. Aquest és més gran quan el motor és utilitzat en viatges curts (3 a 5 km) o no té termòstat, i el motor no té temps per a escalfar-se. També ocorre quan el motor queda estacionat varis mesos sense que s'utilitzi (hivern, entre collites, etc

Plom: El plom prové de coixinets, volanderes d'empenta o boixes de bieles. També pot arribar procedent de la gasolina.

La causa més comuna del plom en l'oli és la corrosió dels coixinets en motors que són guardats un mes o més amb oli usat o brut. Els contaminants i els àcids que es formen en l'oli causen corrosió quan no està circulant per a refrigerar els additius en contacte amb els coixinets. Observem molta corrosió de coixinets en equip agrícola i equip de construcció que s'utilitzen en certs períodes de l'any i es guarden mesos sense utilitzar (Figura 27).

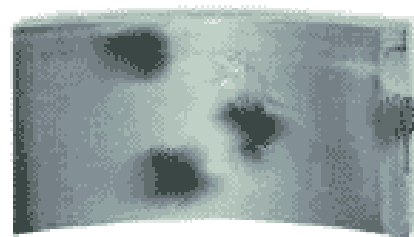


Figura 27: Superfície desgastada pel plom. Font bibliogràfica [7].

Aquí podem veure (figura 28) els resultats d'un Toyota 4-Runner que va quedar 6 setmanes sense utilitzar després de 7 mesos i 4000 quilòmetres en l'oli, i la pròxima vegada va quedar 4 setmanes parada amb 6 mesos i 5000 quilòmetres en l'oli.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
241613	04-NOV-03	5400	18	1	24	3	0	7	0	0	19	0	10	12	3251	0	1288	1311	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	46481																				
16895	26-NOV-02	4050	20	2	52	4	0	8	0	0	17	1	2	20	3163	0	1009	1102	0	0	0	0
Abnormal	21-JAN-03	34080			A																	
73966	20-MAR-02	6000	15	2	4	3	0	6	0	0	12	0	1	16	3431	0	1310	1448	0	0	0	0
Normal	16-APR-02	27600																				
148322	09-AUG-01	6000	23	1	11	10	0	7	0	0	19	1	6	15	2792	0	1204	1297	1	0	0	0
Normal	14-AUG-01	16500																				

Figura 28: Resultats de l'anàlisi espectroquímica d'un Toyota 4-Runner. Font bibliogràfica [d]

Alumini: Les partícules de desgast d'alumini (després d'eliminar el que ingressa com terra) prové dels coixinets, boixes, pistons, volanderes d'empenta i el turbo.

Normalment els coixinets i boixes treballen al 100% en lubricació hidrodinàmica. Només quan falla aquesta lubricació o es contamina l'oli té lloc contacte entre les peces i desgast adhesiu. El desgast d'alumini dels pistons ocorre quan hi ha falta de lubricació hidrodinàmica o s'obre més espai entre les parets dels cilindres i els pistons permetent el moviment lateral de la faldilla del pistó.

Crom: El crom ve de la camisa, les vàlvules d'escapament, els anells i alguns coixinets. El desgast de crom normalment s'origina amb la contaminació de l'oli.

Estany: L'estany prové dels aliatges de metalls en els coixinets i boixes i volanderes d'empenta. Aquests depenen 100% de la lubricació hidrodinàmica.

Plata: La majoria dels motors no tenen peces de plata, però els que en tenen (EMD) si utilitzen lubricants amb zenc els causarà corrosió de la plata.

Límits de desgast normal

La taula següent demostra uns valors típics o límits de silici i desgast. Nivells per sobre d'aquests haurien de ser investigats i prendre accions per a evitar escurçar la vida útil del motor. Mentre que es pot dir que aquests límits són acceptables, s'ha de reconèixer que quan més baix sigui el desgast, major serà la vida útil del motor.

Aquests valors són pel moment del canvi d'oli. Si tenim 50 ppm de partícules de ferro en 250 hores de treball i podem millorar el manteniment o l'oli per arribar a 40 ppm en 500 hores de treball, tenim un doble estalvi. A les figures 29 i 30 podem veure alguns exemples de mostres amb bons resultats.

Element	ppm	Comentaris
Silici	5-10	Nivells per sobre de 15 ppm es comencen a mostrar amb un desgast significatiu
Ferro	5-50	Un motor petit hauria de ser entre 5 i 15 ppm, mentre que un motor gran pot ser entre 10 i 50 ppm
Crom	1-8	Depèn molt de la quantitat de peces cromades en el motor
Alumini	2-15	Després de descartar el que va entrar amb la terra, dependrà molt del disseny del motor. Un bloc d'alumini ensenyarà més desgast d'alumini i menys partícules de ferro
Coure	2-5	Acceleració forta o refrigerador d'oli mostrarà valors més alts. Molts motors poden quedar prop de 5 ppm
Sodi	0-10	Depèn del combustible i medi ambient. Valors majors són contaminacions per aigua
Plom	2-10	Acceleració forta o llargs períodes sense utilitzar el motor
Estany	1-2	Acceleració forta en alguns motors

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
224546	01-OCT-03	10000	20	1	3	3	0	2	0	0	5	168	14	235	2535	3	1213	1390	128	0	0	0
Normal	17-OCT-03																					

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
224552	08-OCT-03	6700	16	1	1	2	0	2	0	0	3	140	3	197	2290	3	1205	1398	106	0	0	0	
Normal	17-OCT-03																						
203461	29-AUG-03	8400	25	2	4	3	0	3	0	0	5	23	4	38	2782	0	1077	1137	15	0	0	0	
Normal	22-SEP-03																						

Figura 29 i 30: Aquí es mostren alguns exemples de mostres amb bons resultats. En aquests reports d'anàlisi podem veure nivells molt baixos en desgast de coixinets i anells, mentre que el desgast de ferro també està controlat. Font bibliogràfica [d].

2.2.4 Degradació del lubricant

La degradació de l'oli comença quan s'obre l'envàs i permet l'entrada d'aire. L'aire oxida l'oli. Un tambor d'oli obert i utilitzat durant el curs de varis mesos serà més fosc al final que al principi. Aquest nivell d'oxidació afecta l'aparença de l'oli, però no afecta al seu comportament.

En el moment del canvi d'oli, sempre el nou oli es barrejarà amb un residu d'oli vell. Aquesta barreja no causarà cap mal en sí, però la mostra acusarà residus d'aquest oli i pot semblar degradat.

- Si l'oli anterior era un oli nacional amb 2000 ppm de calci, 1000 ppm de zenc, 900 ppm de fòsfor i col·loquem oli American Supreme 15W-40 amb 3300 ppm de calci, 1550 ppm de zenc i 1450 ppm de fòsfor, la primera mostra del American Supreme semblarà degradat pel que acabarà prop de 2600 de calci, 1300 de zenc i 1200 de fòsfor al final de l'ús. Quan arribem al tercer canvi aquests valors després de 6000 quilòmetres seran prop de 3000 calci, 1450 zenc, 1350 fòsfor. En aquest cas els valors del nou oli baixen més del simple percentatge, pel que el calci del American Supremes menjarà els àcids i el llotim deixat per l'oli nacional.
- No s'han d'usar productes de neteja en el moment del canvi. Aquests productes i hàbits tradicionals de rentar amb diesel, kerosé, gasolina o detergent ocasionen alt desgast al motor i deixen residus perjudicials.

- Quan el motor està amb llotim o vernís, causant alta temperatura o tacleig de tiges de vàlvules hidràuliques, es pot netejar utilitzant American Supreme Engine Cleaner (i un filtre nou) pels últims 2000 quilòmetres abans de fer el canvi d'oli. No val la pena analitzar la mostra amb el netejador.

Una vegada col·locat l'oli en el motor, els additius comencen a dissoldre el llotim i vernís residu de l'oli vell. Aquesta neteja no és total, però a la llarga absorbirà molts residus deixats per olis d'inferior qualitat. El calci o la mescla de calci i magnesi tractaran de netejar, mentre el compost de zenc i fòsfor (ZDDP) s'anirà col·locant en els llocs crítics per a ser gastat en lubricació límit. Si la formulació té molibdè, cobrirà les superfícies on existeixen majors pressions i temperatures.

Un oli nou col·locat en un motor que no té termòstat començarà la seva neteja de llotim (creat per la falta de termòstat) i s'espessarà ràpidament, mentre es consumeix el seu calci o magnesi.

S'ha de considerar que quantes més partícules de desgast metàl·liques hi hagi, major degradació d'additius sofrirà. Les partícules metàl·liques com coure, ferro i plom augmenten la velocitat d'oxidació de l'oli. També elimina de l'oli els seus additius polars, incloent els d'anti-desgast, extrema pressió, inhibidors de ferritja i dispersants.

2.2.4.1 Degradació dels additius

Calci i magnesi: Aquests dos additius detergents dispersants són utilitzats per a combatre el sutge, neutralitzar els àcids formats per la humitat en la combustió, mantenir els contaminants i llotims en suspensió fins arribar al filtre, sense deixar que s'aglomerin i formin grumolls, ni que s'adhereixin a les superfícies metàl·liques. Com qualsevol antiàcid, aquests es consumeixen. Quant més àcid es forma per la qualitat de combustible, falta de temperatura en el motor o combustió incompleta, més ràpid es degraden els detergents dispersants. Ambdós additius treballen bé per a aquest propòsit, però el magnesi deixa un 45% més de cendres sulfatades al cremar-se, causant problemes de vàlvules i dipòsits en el motor. Per aquesta raó normalment es troba calci o una barreja amb un màxim de 30% de detergent dispersant en forma de magnesi.

Cal conèixer el valor inicial de cada additiu per a poder determinar la seva degradació. Un bon oli (API CI-4) per a motors diesel tindrà prop de 3300 ppm de detergent dispersant. Un bon oli (API SL) certificat només per a motors de gasolina tindrà prop de

2200 ppm de detergent dispersant pel que la combustió de gasolina no forma tants àcids ni sutge.

En el recorregut dels quilòmetres, aquests additius es consumeixen. És normal que en el curs de 6000 quilòmetres aquests additius baixin un 5% a 10%. Quan baixen més del 15% hauríem de buscar la causa o escurçar l'interval entre canvis per aquesta marca de lubricant. Hi ha additius en el mercat que perden més d'un 30% del seu detergent dispersant en 6000 quilòmetres en el mateix ús o motor que altres on els seus olis només perden un 8,5% amb el mateix recorregut i combustible. Les causes de pèrdua de detergent són les següents:

- Additius de mala qualitat. Hi ha pressions en les fàbriques d'olis per baixar costos de producció. La manera escollida per algunes d'elles és de formular productes el més barat possible.

- Combustible de mala qualitat o adulterat.

- Mala combustió
 - La temperatura del motor hauria d'estar sempre per sobre de 80°C. Si està operant sense termòstat, no arriba a aquesta temperatura i aleshores la humitat forma llotim en comptes d'evaporar-se.
 - Pressions excessives en la bomba injectora
 - Injectors bruts o mal col·locats en la cambra de combustió
 - Vàlvules mal regulades
 - Desgast d'anells, camises o bloc
 - Mala sincronització de la guspira o injecció de combustible

- Neteja de llotims deixats per l'oli anterior

- Contaminació per altres olis inferiors.

Zenc i fòsfor (ZDDP): El zenc i el fòsfor treballen en conjunt per a proveir lubricació límit quan la lubricació hidrodinàmica no arribi a les necessitats de pressions i fregament. Aquesta protecció s'anomena antidesgast.

ZDDP (Dialquil ditiòsulfat de zinc) és una sal organometàl·lica, composta de zinc, sofre i fòsfor. Forma una capa de sulfat de ferro en la superfície de les peces, on el sofre pot actuar per atraure el zinc, deixant tres capes suaus per a evitar contacte acer-acer.

Un bon oli per un motor diesel (API CI-4) haurà de tenir prop de 1450 ppm de zinc i 1350 ppm de fòsfor. Olis formulats només per a motors de gasolina (API SL) normalment tenen menys, prop de 1000 ppm de zinc i 900 ppm de fòsfor. Aquesta reducció és pel que les compressions en la cambra de combustió en el motor a gasolina varien entre 8:1 a 12:1, mentre que les compressions en el motor diesel varien entre 13:1 i 20:1, causant molt més estrès en les peces. Un oli formulat per ambdós combustibles (API SL/CI-4) té tota la protecció necessària pel motor diesel més els additius especials pel motor de gasolina.

Els valors de ZDDP no varien molt amb l'ús dins del motor podent arribar al final de la seva vida útil sense haver estat adherits a les superfícies, en aquests casos el laboratori no ho reporta.

La majoria de la variació que es veu en l'oli usat és cremat o evaporat. Moltes vegades la disminució del nivell de zinc o fòsfor és per la volatilitat (qualitat) de l'additiu utilitzat. Aquesta evaporació o crema del ZDDP és perjudicial al medi ambient, contamina el catalitzador de l'automòbil i redueix la protecció a les peces del motor. L'altra part és absorbida per el sutge i forma part del llotim extret pel filtre o adherit a les peces metàl·liques. Quant menys sutge, menor serà el deteriorament del zinc i fòsfor. Aquí tenim un exemple d'un oli que no va aguantar el recorregut esperat:

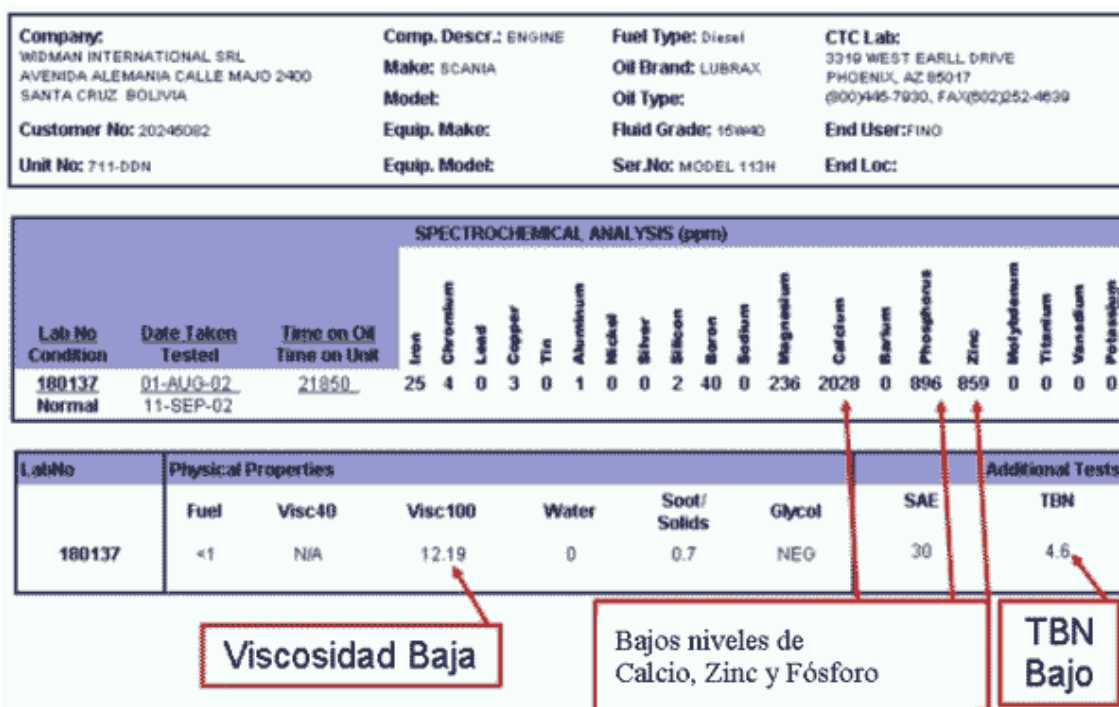


Figura 31: Exemple d'un oli que no va aguantar el recorregut esperat. Font bibliogràfica [d].

Molibdè: Alguns olis per a motors contenen disulfur de molibdè per a reduir els desgast en altes temperatures i pressions. En aquestes formulacions el molibdè actua amb el ZDDP per a proveir la màxima protecció possible. Hi ha formulacions sense molibdè i altres amb 40 ppm, 100 ppm, etc. Els millors olis per a motors a gas natural comprimit (GNC) contenen més de 300 ppm.

- La primera mostra d'oli amb molibdè pot tenir fins a un 20% menys molibdè que el valor inicial. Això és el molibdè que va quedar enganxat a les peces del motor. Un oli amb 100 ppm pot aparèixer amb solament 80 ppm després de 6000 quilòmetres. La segona mostra (després d'altres 6000 quilòmetres) mostrarà prop de 100 ppm.
- Si canvia d'un oli amb molibdè a un que no en té, les primeres mostres de l'oli sense molibdè tindran residus del mateix pel que comença a gastar prop de 100 ppm.
- Si canvia d'un oli amb molibdè a un que no en té, les primeres mostres de l'oli sense molibdè tindran residus del mateix pel que comença a gastar de les superfícies cobertes i queda a l'oli.

Bor: El bor utilitzat en algunes formulacions és un oli sintètic grup V que actua com additiu antidesgast i modificador de fregament. Existeixen diverses formes de bor i cadascuna té els seus avantatges i inconvenients. També existeixen formulacions d'olis sense bor.

En aquest motor Perkins de la figura 32 s'utilitzava una formulació d'oli amb molibdè i bor. Quan van canviar per una formulació sense aquests additius, la següent mostra encara tenia el 18% del valor original de molibdè i el 20% de bor. El tercer anàlisi tenia ja pocs residus d'ambdós.

Es pot notar que no hi havia problemes de desgast amb qualsevol dels dos olis, en més de 400 hores entre canvis.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
Condition	Tested	Time on Unit																					
241596	23-OCT-03	406	7	0	3	0	0	1	0	0	2	1	0	14	3283	0	1276	1391	1	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	10185																					
224610	30-SEP-03	484	9	0	4	1	0	2	0	0	4	2	0	20	3153	0	1182	1299	3	0	0	0	0
Normal	17-OCT-03	9779																					
203448	31-AUG-03	431	8	1	2	1	0	1	0	0	3	20	4	60	2323	0	1288	1418	18	0	0	0	0
Normal	22-SEP-03	9295																					
186391	01-AUG-03	408	9	1	1	1	0	2	0	0	5	101	3	198	2404	0	1079	1252	104	0	0	0	0
Normal	28-AUG-03	8864																					

Figura 32: Anàlisi espectroquímica d'un motor Perkins

En conclusió, l'anàlisi d'oli és una eina per a millorar el manteniment i estendre la vida útil del motor. Un sol anàlisi per a un motor normal no ajuda molt per a veure els resultats, és la seqüència dels anàlisis el que genera una tendència. Al saber els valors originals de l'oli i comparar-los amb els valors de l'oli usat, relacionant els resultats amb el programa de manteniment i augment de productivitat. Font bibliogràfica [d].

2.3- Tècniques de diagnosi

En aquest capítol es tractaran les tècniques de diagnosi de lubricants. L'extensió del capítol anirà des de la captació de dades, el seu tractament, els instruments d'anàlisi, l'anàlisi del tipus de partícules, l'origen dels metalls i el tractament tèrmic de les partícules.

2.3.1 Introducció

La ferrografia és una tècnica analítica i principalment qualitativa, basada en la visualització de partícules i residus procedents del desgast, que han estat separades del lubricant per la influència d'un camp magnètic i dipositades en un portaobjectes, on es formarà el ferrograma.

En el cas dels motors tèrmics o altres tipus de màquines que disposen d'un lubricant en estat líquid, les partícules generades per aquest desgast passaran al fluid, essent retingudes pel sistema de filtrat del circuit o bé, permanent en suspensió en el fluid.

La ferrografia aïlla i identifica les partícules presents en el lubricant, per a posterior realització d'un diagnosi del motor en base a les mateixes. La ferrografia es divideix en dos grups principals:

- Ferrografia de lectura directa
- Ferrografia analítica

2.3.2 Ferrografia analítica

Aquesta tècnica analitza de manera exhaustiva les partícules presents en el lubricant, podent inferir el tipus de desgast que està sofrint l'element lubricat, a més de la composició metàl·lica de les partícules, la qual està directament relacionada amb la zona específica que s'està desgastant.

2.3.2.1 Tècniques de ferrografia analítica

La contaminació present en el lubricant es pot aïllar mitjançant les següents tècniques:

- Ferrografia tradicional: Es realitza una separació magnètica de les partícules, fent-les fluir per un pla inclinat
- Ferrògraf rotatori: També es realitza una separació magnètica, juntament amb l'ús d'una força centrífuga (en lloc de la força gravitatòria) per a realitzar una ordenació de les partícules.
- Filtrat amb membranes: Les partícules queden retingudes sobre un filtre de membrana d'un grandària de por definit



Figura 1. Ferrograf tradicional (Spectre).

Font bibliogràfica [7]



Figura 2. Ferrograf rotatori. Font bibliogràfica [7]



Figura 3. Instrumental pel filtrat amb membranes. Font bibliogràfica [7]

2.3.1.1 Ferrograf tradicional

A través d'aquesta tècnica, les partícules són aïllades mitjançant l'efecte d'un camp magnètic generat per un imant permanent. El procés consisteix bàsicament en fer fluir una mostra de l'oli a analitzar sobre un cobreobjectes de vidre, el camp magnètic fa que les partícules s'orientin sobre el vidre. Una vegada acabat l'assaig, el cobreobjectes es pot portar a un microscopi per a l'anàlisi en detall de les diferents partícules dipositades sobre ell. Es pot observar la fotografia d'un ferrograf tradicional a la figura 1.

Les partícules dipositades sobre el cobreobjectes de vidre adopten la següent distribució (Figura 4):

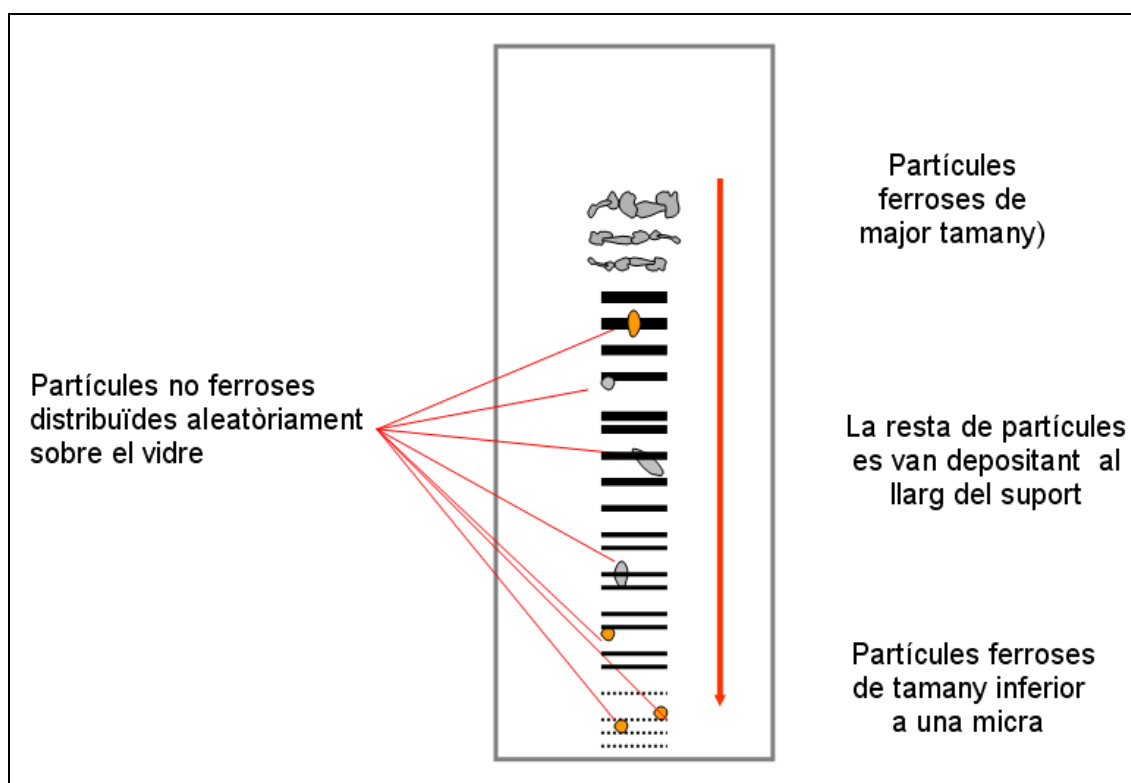


Fig 4: Exemple de ferrograma.

Les raons per a la selecció del vidre com a substrat el lloc d'altres materials són les següents:

1. És un material totalment transparent permetent la posterior observació de les partícules en el microscopi mitjançant llum transmesa.

2. Una vegada realitzada la separació magnètica, el vidre pot ser escalfat per sobre dels 330°C sense que sofreixi alteracions estructurals que dificultin el posterior anàlisi visual de les partícules.
3. És el suficientment rígid per a ser manipulat sense que es deteriori així com per a suportar el flux de l'oli sense deformar-se per la càrrega aplicada sobre ell.
4. El vidre no és alterat químicament pel dissolvent i els diferents tipus de lubricants utilitzats en el procés, tampoc envelleix amb el temps, mantenint les seves propietats òptiques i la seva estabilitat estructural per temps indefinit.

2.3.1.2 Ferrògraf rotatori

Aquest ferrograf (Figura 2) és una variant més actualitzada del ferrograf tradicional, amb la mateixa base de funcionament per a la separació magnètica de les partícules, però utilitzant la força centrífuga com forma d'aïllar-les.

L'equip deixa caure la mostra en el centre d'un vidre circular, on en llur base existeix un imant permanent, les partícules s'orienten formant cercles concèntrics en funció del tipus de material que les compona.

2.3.1.3 Filtrat amb membranes

El filtrat de l'oli lubricant es realitza amb membranes orgàniques d'acetat (o nitrat) de cel·lulosa amb una grandària de poro que pot anar des de les 0,45 micres fins a les 8 micres de diàmetre (Figura 3).

El procés consisteix bàsicament en fer circular la mostra d'oli a través de la membrana calibrada, utilitzant l'aspiració per buit per a facilitar el flux de lubricant.

La membrana polimèrica, una vegada finalitzat el procés de filtrat, presenta una aparença pràcticament opaca, dificultant el pas de la llum a través d'ella. Per a reduir la opacitat del nitrat de cel·lulosa es pot usar un oli d'immersió que mulla la membrana, aconseguint que el material polimèric (inicialment blanc) es torni pràcticament transparent i permeti el pas de la llum a través del mateix. El procés de transparentat permet l'obtenció d'imatges amb llum transmesa a més d'una major qualitat en les realitzades amb llum reflexada al ser eliminades les brillantors provocades pel fons blanc de la membrana.

2.3.1.4 Comparativa dels mètodes

A continuació es presenta una taula (Taula 1) comparant els avantatges i els inconvenients dels mètodes de separació magnètics i mitjançant membranes:

	SEPARACIÓ MAGNÈTICA	SEPARACIÓ PER MEMBRANES
AVANTATGES	<ul style="list-style-type: none"> • Ordenament de les partícules segons composició. • Possibilitat d'observar amb llum transmesa les mostres. • Possibilitat de tractaments tèrmics de les partícules sobre el vidre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mètode senzill de realitzar i sense necessitat d'equips costosos. • Distribució homogènia de totes les partícules sobre la membrana.
INCONVENIENTS	<ul style="list-style-type: none"> • El cost de l'equip d'anàlisi és elevat. • Les partícules no ferromagnètiques no responen al camp magnètic. • En ocasions es perden partícules degut a arrastrament de flux. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'anàlisi amb llum transmesa no és possible. • Els tractaments tèrmics no són possibles. • Si la concentració de partícules és molt elevada la membrana es pot arribar a obstruir.

Taula 1: Quadre comparatiu dels mètodes de separació magnètica i membranes respectivament.

2.3.3 Ferrografia de lectura directa

Mitjançant aquesta tècnica es calcula el nombre de partícules ferroses grans i petites presents en el lubricant.

Una mescla d'oli lubricant i oli fixador es vessa per un tub de precipitats a través de la zona d'assaig. En el tub, una petita secció de vidre es recolza sobre un gran imant permanent. A mesura que la mostra flueix a través del tub, les partícules de desgast precipiten segons la seva grandària relativa (Figura 5).

En el punt d'entrada a la zona d'assaig s'acumulen les partícules més grans (Large), de grandària superior a les 5 micres, en un punt 5 mil·límetres cap avall des del punt d'entrada es concentren les partícules més petites (Small), d'una grandària de 1 micra o 2 micres. Aquests punts són els llocs més sensibles per a detectar un canvi en la condició de desgast de la màquina.

Durant l'assaig, el ferrograf quantifica les partícules en aquestes classificacions de grandària, separant partícules de fins a 800 micres. A mesura que la mostra de lubricant passa a través del tub, totes les partícules de brutícia de carbó no desitjades, s'eliminen per l'acció del flux.

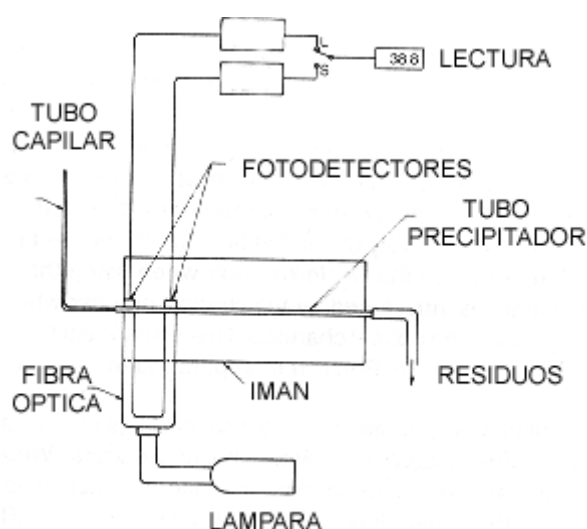


Figura 5. Esquema de funcionament del ferrograf de lectura directa. Font bibliogràfica [7]

La zona d'assaig inclou també dos feixos de llum, cadascun dels quals està dirigit contra els dos punts on es dipositen les partícules grans i petites. A mesura que les partícules es precipiten, una mesura en la reducció de la intensitat de la llum indica la quantitat de partícules deteriorades dipositades a cada lloc. El nivell d'il·luminació es percep, amplia, tradueix i visualitza sota el control del circuit intern del ferrograf (Figura 6).

Si una mostra només conté partícules petites, les mesures dels canals L i S poden ser pràcticament iguals. Quan les partícules entren en el tub de precipitats són influenciades pel camp magnètic; el vector de moviment en la direcció del flux és igual per a totes les partícules (grans o petites) no obstant, el vector de moviment en direcció vertical és superior

en les partícules grans perquè la força d'atracció del camp magnètic és proporcional al volum mentre que la resistència al flux en direcció horitzontal és proporcional a la superfície.

Les partícules de major grandària es desplacen molt ràpidament cap avall, per això totes les partícules de grandària superior a 5 micres es dipositen en la posició del primer sensor. Les partícules de menor grandària migren de manera més lenta a través del fluid, recorrent més espai abans de dipositar-se sobre el tub de vidre. S'ha de ressenyar que si les lectures de L i S són similars, això seria indicatiu de que només existeixen partícules petites en el lubricant.

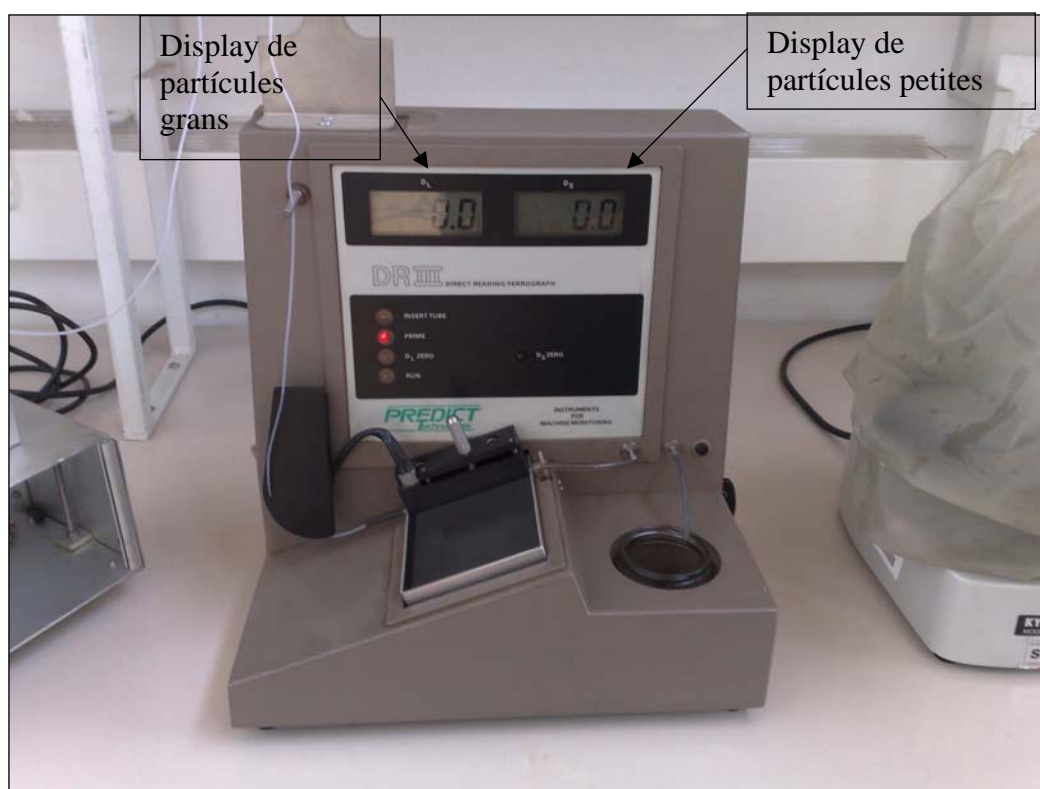


Figura 6. Ferrògraf de lectura directa

2.3.4 Microscopi òptic

Una vegada s'ha realitzat la ferrografia, procedim a observar el resultat del portaobjectes en el microscopi òptic. La finalitat de l'ús del microscopi òptic és la de poder estudiar més correctament la morfologia de les partícules sedimentades. Aquest estudi òptic es pot realitzar de diverses maneres, una d'elles seria amb una simple lupa de laboratori, el problema és que les partícules magnètiques no serien gairebé apreciables. Una altra manera d'obtenir millors resultats seria la utilització d'un microscopi. Els microscopis

convencionals utilitzen llum transmesa a través d'un mirall per tal d'examinar cossos translúcids i llum reflexada per examinar cossos opacs.

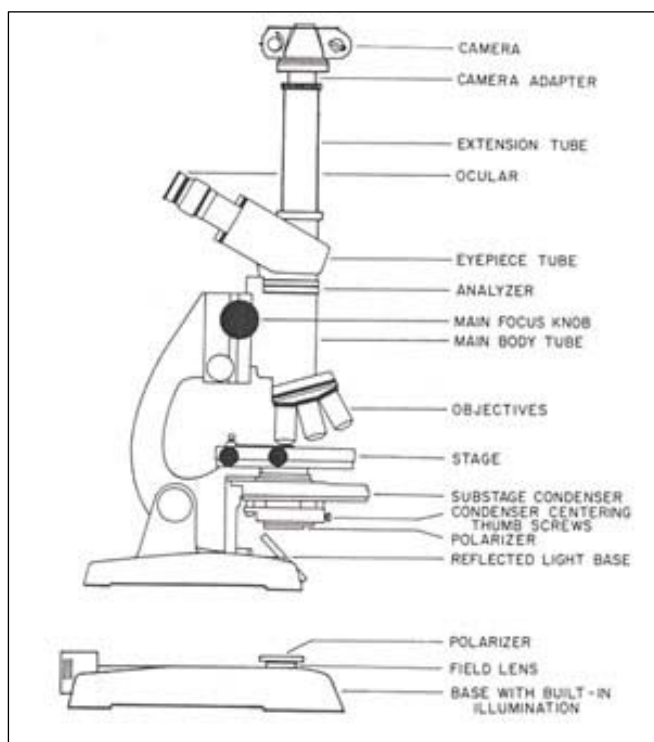


Figura 7: Esquema de les parts d'un microscopi convencional amb càmera. Font bibliogràfica [7].

El microscopi òptic podem dividir-lo en les següents parts:

- *Ocular:* Lent situada prop de l'ull de l'observador que amplia la imatge dels objectius.
- *Revòlver:* Permet, al girar, el canvi d'objectiu sense perdre l'enfocament.
- *Objectius:* Lents que amplien la imatge de la preparació en funció dels seus augments.
- *Braç metàl·lic:* Part metàl·lica que uneix i fixa la part superior del microscopi amb la inferior.
- *Pinces fixadores:* Fragments metàl·lics que fixen la preparació.
- *Platina:* Plataforma on es disposa la preparació.
- *Cargol macromètric:* Cargol regulador que serveix per modular l'enfocament.
- *Cargol micromètric:* Cargol regulador que aconseguix l'enfocament correcte.
- *Diafragma:* Regulador de la quantitat de llum que entra en el condensador.
- *Condensador:* Lent que concentra els rajos lluminosos sobre la preparació.
- *Focus:* Font d'il·luminació.
- *Peu:* Base del microscopi.

A l'observar, hem de tenir en compte que l'ocular, quan més petit, més ens augmentarà la imatge rebuda i que els objectius, quan més llargs, més augments. L'objectiu produeix un efecte de doble inversió en la imatge.

També hem de tenir en compte que quan més augments hi posem més camp de visió hi perdem. La il·luminació ha de ser flexible, uniforme i mat. En les mides: mida real \times augments = mida aparent i també podem calcular els augments, $\text{augment} = \text{objectiu} \times \text{ocular}$.

Ex :

OBJECTIUS	4	20	40
OCULARS (12'5 augments)	50 augments	250 augments	500 augments

El microscopi té un límit i és el valor de la meitat de la longitud d'ona de la llum que utilitzem, és a dir, no podem augmentar indefinidament.

2.3.4.1 Microscopi bicromàtic

En ferrografia existeix una tècnica diferent per tal d'observar i estudiar els ferrogrames. Aquesta tècnica s'utilitza amb un microscopi bicromàtic, el qual transmet i reflecteix llum acolorida simultàniament. El microscopi bicromàtic disposa de dos focus diferents de llum, L1 i L1, que solen estar construïts de tungstè. La llum provinent de L1 travessa un filtre vermell i és transmesa a la part inferior del canó del microscopi.

Les partícules metàl·liques apareixen de color vermell brillant mentre que les partícules que no són metàl·liques i els compostos apareixen de color verd a groc, depenent del grau d'atenuació de la llum. Les partícules gruixudes no metàl·liques, que hagin bloquejat la majoria de la llum transmesa verda per sota del microscopi, poden aparèixer com núvols vermells, però no apareixen vermelles brillants com ho fan les superfícies altament reflexives de partícules metàl·liques.

La il·luminació bicromàtica s'utilitza principalment per a permetre la detecció fàcil de les partícules metàl·liques més importants. Aquesta il·luminació és particularment útil per a examinar polímers o partícules amorfes. Les partícules lliures metàl·liques incorporades en una matriu amorfa són difícils d'observar amb qualsevol altra il·luminació.

L'examen sota llum blanca transmesa ens dóna certesa de si una partícula és transparent, translúcida o opaca. L'atenuació de la llum en les partícules de metall lliures és tal que serà opaca fins a espessors de submicres. Per tant, les partícules metàl·liques apareixen fosques quan s'examinen amb aquesta il·luminació. Per altra part, tots els

compostos apareixen translúcids o transparents, exhibint cada material un color característic propi.



Figura 8: Fotografia del microscopi òptic bicromàtic del laboratori de lubricants de l'EPS de Girona

El microscopi bicromàtic (Figura 8) disposa de dos focus independents de llum, L1 i L2, que solen ser de tungstè. La llum provinent de L1 travessa un filtre vermell i és transmesa a la part inferior del canó del microscopi. L'objectiu del microscopi actua com a condensador, igualment com en els microscopis metal·lúrgics d'alta potència. Per altra banda, la llum transmesa des de L2 travessa un filtre verd i arriba a la zona d'observació gràcies a un altre objectiu condensador.

La regulació del color és una consideració molt important en el disseny del microscopi, i s'aconsegueix pel control independent de les intensitats de L1 i L2 per mitjà de filtres neutres de densitat. L'ús d'aquesta combinació del contrast de colors fa possible distingir la llum transmesa de la reflexada. Els cossos opacs només retornen llum reflexada i

per tant apareixen vermells. Pel contrari, els cossos transparents reflexen molt poc la llum vermella incident, però deixen passar molta llum transmesa verda, de manera que apareixen amb diverses tonalitats de groc-verd. Els cossos translúcids amb inclusions opaques apareixen de color groc-verd, però les inclusions són vermelles.

El tipus de microscopi utilitzat en l'observació és bicromàtic, el qual posseeix dues fonts lluminoses, una transmesa i una altre de reflectida que poden ser utilitzades per separat o simultàniament; a continuació es detallen ambdós tipus:

- *Llum transmesa*: La il·luminació travessa la mostra, per tant només s'observa la silueta de les partícules si aquestes són opaques, mentre que si són translúcides es possible detectar la llum que les travessa. A més amb la llum transmesa és possible detectar fissures i esquerdes internes en partícules opaques. Es pot il·luminar amb llum verda per a millorar el contrast entre partícules i fons o bé utilitzar llum blanca la qual adquireix una major intensitat lluminosa al no interposar-se el filtre entre la mostra i la font.

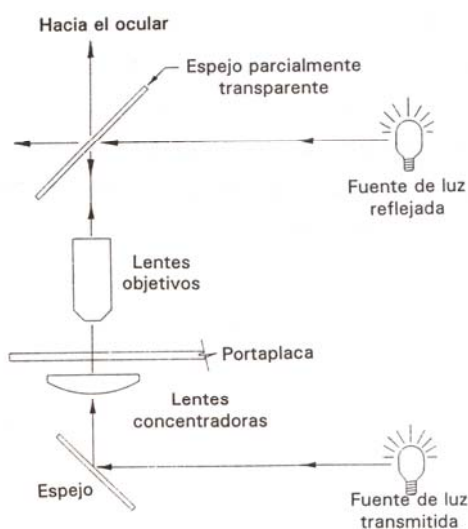


Figura 9. Trajectòria òptica en un microscopi bicromàtic. Font bibliogràfica [7]

- *Llum reflectida*: La il·luminació incideix sobre la mostra, de manera que l'operador observa la mostra amb els seus colors reals. Es pot utilitzar de manera simultània amb la il·luminació transmesa, permetent obtenir imatges de major qualitat. També es recorre a l'ús de filtres gamma que faciliten l'observació de partícules metàl·liques llises, ja que el filtre acoloreix de magenta les àrees que reflecteixen la llum. Els filtres gamma són principalment utilitzats en l'anàlisi de partícules sobre membranes.

- *Llum polaritzada*: L'observació amb llum polaritzada és una eina eficaç per a identificar partícules no metàl·liques com plàstics, òxids o pols, degut a que al posseir una estructura cristal·lina despolaritzen la llum incident. S'utilitzen dos polaritzadors, un situat entre la font lluminosa i la mostra i l'altre, desfasat 90° situat entre la mostra i l'observador, tal i com s'aprecia a la figura 10. Els polaritzadors presenten una millor resposta quan es visualitzen els tapa-objectes de vidre ja que al ser completament plans les partícules cristal·lines apareixen brillants sobre un fons negre (el vidre al ser amorf no desvia la llum); quan es treballa amb membranes polimèriques, al tenir aquestes una superfície molt irregular, no es genera un fons fosc i per tant no és tan fàcil la detecció de cossos cristal·lins.

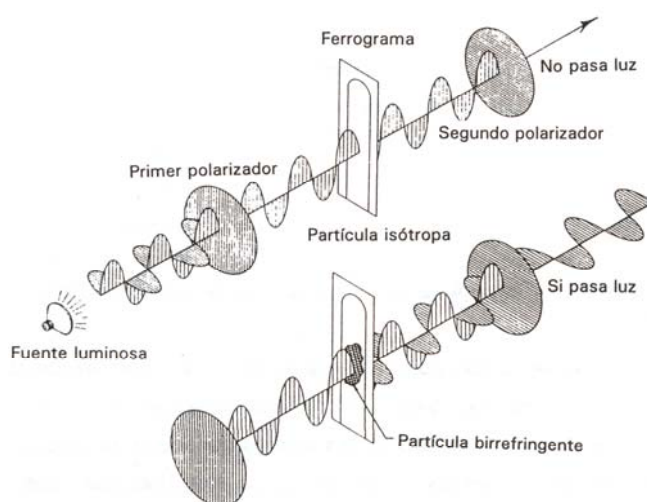


Figura 10. Disposició dels polaritzadors. Font bibliogràfica [7]

2.3.5 Microscopi electrònic

El microscopi electrònic és una de les aplicacions de la teoria quàntica que diu que tota partícula en moviment s'associa sempre a una ona. L'ona esdevé visible quan la velocitat de les partícules és molt elevada. Els electrons són les partícules que es mouen i aconseguen una velocitat igual a la tercera part de la velocitat de la llum. Així doncs, en augmentar la velocitat de la partícula, disminueix la longitud d'ona associada i augmenta el poder de resolució.

Els microscopis electrònics contenen, bàsicament, els mateixos components que els òptics però fets d'uns altres materials. Per exemple, la font d'il·luminació consisteix en un feix

d'electrons accelerats. Les lents poden ser electrostàtiques o electromagnètiques i generen, respectivament, un camp elèctric o magnètic per on es desplacen els electrons, i aquest flux d'electrons incidirà sobre la mostra; els electrons viatgen en el buit. Pel que respecta a la nomenclatura, es deixen iguals tot els noms de lents i parts.

2.3.5.1 Descripció

El microscopi electrònic es essencialment un tub de raigs catòdics en el que es fa el buit. Des del càtode, que és un filament de tungstè escalfat pel pas d'un corrent elèctric, s'emeten electrons que són atrets per l'alt potencial elèctric positiu de l'ànode que conté un forat per on passa el feix electrònic. Aquest feix s'enfoca mitjançant una o dues lents, anomenades condensadores, sobre la preparació de la mostra. En aquest punt, en xocar els electrons amb la preparació, com que aquesta no és uniforme, uns electrons es dispersen del feix i altres no. Els que no es dispersen continuen la seva trajectòria fins a una lent anomenada objectiu, que obté la corresponent imatge augmentada, i els electrons continuen el seu curs a través d'una o dues lents més anomenades projectors, les quals proporcionen imatges encara més grans que són recollides sobre una pantalla fluorescent o sobre una placa fotogràfica amb la finalitat de fer-les visibles.

Degut a que el microscopi òptic és suficientment conegut en l'àmbit científic, tot seguit en farem una comparació amb el microscopi electrònic. A la Taula 2 es mostren les diferències més importants entre els dos tipus de microscopis.

Microscopi		Òptic	Electrònic	
Radiació		Llum	Electrons	
Medi		Aire	Buit	
Lent	Naturalesa	Vidre	Camp elèctric o magnètic	
	Distància focal	Fixa	Variable	
	Sistema d'enfoc	Mecànic	Elèctric	
Augments	Màxim	1.500-2.000 X	200.000-500.000 X	
	Control	Canvi de lents	Si	No
		Continu	No en general	Si
Poder resolutiu		2.000 Å	5 Å	
Formació de la imatge per		Absorció diferencial	Dispersió d'electrons	
Contrast de la imatge		Elevat	Reduït	
Penetració de la radiació		Gran	Petitíssima	

Taula 2: Característiques dels microscopis electrònic i òptic

Es pot dir que l'estructura d'un microscopi òptic (Figura 9) no difereix excessivament de la d'un microscopi electrònic. Tots dos microscopis estan dividits essencialment en tres parts: el sistema d'il·luminació, el microscopi pròpiament dit i el sistema de visualització de la imatge.

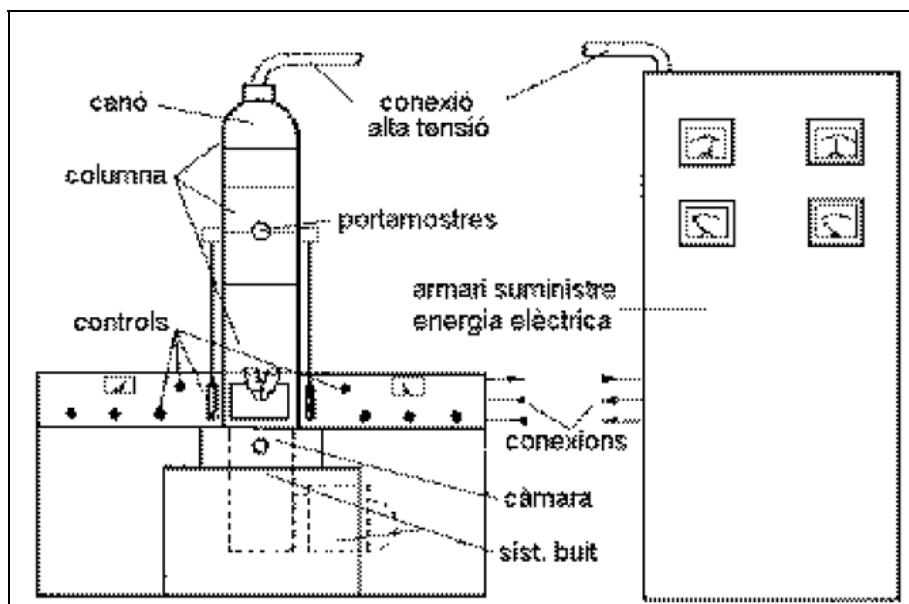


Figura 9: Estructura d'un microscopi electrònic. Font bibliogràfica [7]

Generalitzant, podem dividir el microscopi electrònic en 5 parts la columna (inclou la part essencial del microscopi, és a dir la font d'electrons, les lents, la preparació, etc.), el sistema de buit, la font d'energia elèctrica, sistemes auxiliars (refrigeració, etc.) i els controls de l'aparell.

2.3.5.2 Preparació de la mostra

En aquesta tècnica s'anomena **preparació** al resultat final de la preparació de la mostra, i està constituïda per tres elements:

- *Reixeta*: és la base del portaobjectes en microscòpia electrònica.
- *Membrana de suport*: situada damunt de la reixeta i a sobre de la qual es col·loca l'objecte a estudiar. Aquesta membrana ha de ser molt fina i pot ser de diferents materials. En l'estudi realitzat en aquest treball les membranes utilitzades eren de formar (nom comercial d'un compost plàstic de polivinil formol).
- *L'objecte a estudiar*.

Un dels problemes més importants d'aquesta tècnica és la necessitat de que les mostres siguin el més primes possibles. Aquesta necessitat es fonamenta en l'escassa penetració dels electrons i en la gran profunditat del focus del microscopi electrònic. Per altre banda però, l'observació de mostres molt primes comporta el problema de la falta de contrast de les imatges obtingudes. Aquests fets han provocat la introducció de tècniques especials per obtenir objectes aptes per a ser observats mitjançant el microscopi electrònic, de les quals destacaríem la **tinció**, les **rèpliques** i l'**ombrejat**.

Tinció: en microscopia electrònica és freqüent obtenir imatges dolentes per falta de contrast. La tècnica de la tinció consisteix en augmentar el contrast sotmetent una mostra prima a un tractament amb solucions de metalls pesants o amb les seves sals. És important remarcar que aquestes substàncies es dipositen sobre les estructures i els proporcionen la propietat d'incrementar la dispersió dels electrons del feix quan són observades pel microscopi. Substàncies d'aquest tipus són per exemple compostos d'urani (acetat), de tungstè (sals de l'àcid fosfotúngstènic) o de plom (òxid, hidròxid, etc.).

Rèpliques: són motlles o empremtes molt perfectes i primes de l'objecte (mostra) a estudiar (Figura 10). Aquestes rèpliques es realitzen mitjançant la irradiació de la mostra amb vapors d'un metall pesant (or, pal·ladi, platí, tungstè, platí-carboni, etc.) i una posterior irradiació amb vapors de carboni (suport físic). Després es separa la rèplica de la mostra per dissolució d'aquesta.

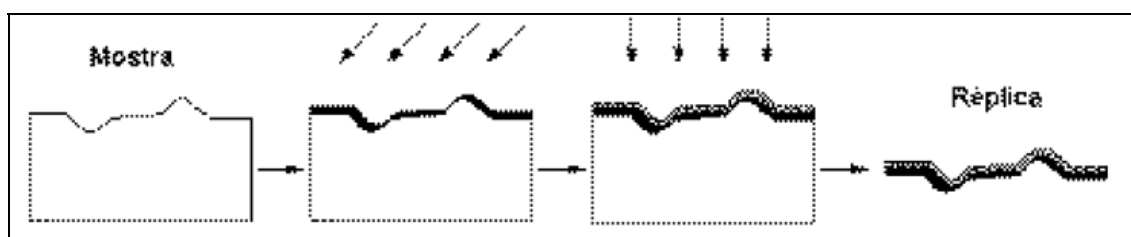


Figura 10: Esquema de formació del procés d'una rèplica. Font bibliogràfica [7]

Ombrejat: consisteix en irradiar l'objecte amb vapors d'un metall pesant, col·locant-lo de tal forma que rebí la radiació en un angle suficientment petit com perquè es formi una ombra al costat de l'objecte que rebel·li les característiques de la seva estructura (exemple a la Figura 11). Actualment l'ombrejat és una tècnica complementària a la formació de les rèpliques.

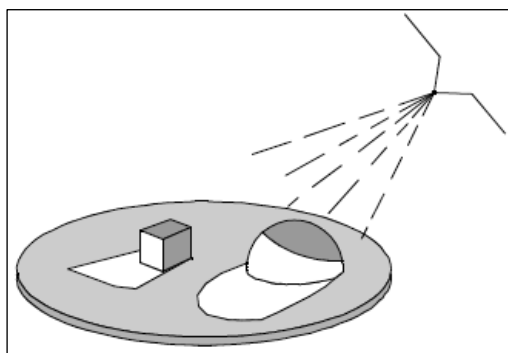


Figura 11: Ombrejat. Font bibliogràfica [17]

Per tal de poder aplicar alguna de les tècniques anteriors, el que s'ha de fer en primer lloc és fixar la mostra. La **fixació** consisteix a sotmetre la mostra a uns processos físics o químics que permetin conservar indefinidament l'estructura de la mostra. La fixació permet en mostres biològiques observar-les com si estiguessin vives. La fixació química és la que s'utilitza més freqüentment en mostres biològiques i com a fixadors s'utilitzen: tetraòxid d'osmi, permanganat potàssic, paraformaldehid, etc. En canvi en les mostres de tensioactius, s'utilitza un tipus de fixació física anomenada **criofixació**, en la qual la fixació és per congelació sobtada de la mostra. Una tècnica que utilitza aquest tipus de fixació és la criofractura.

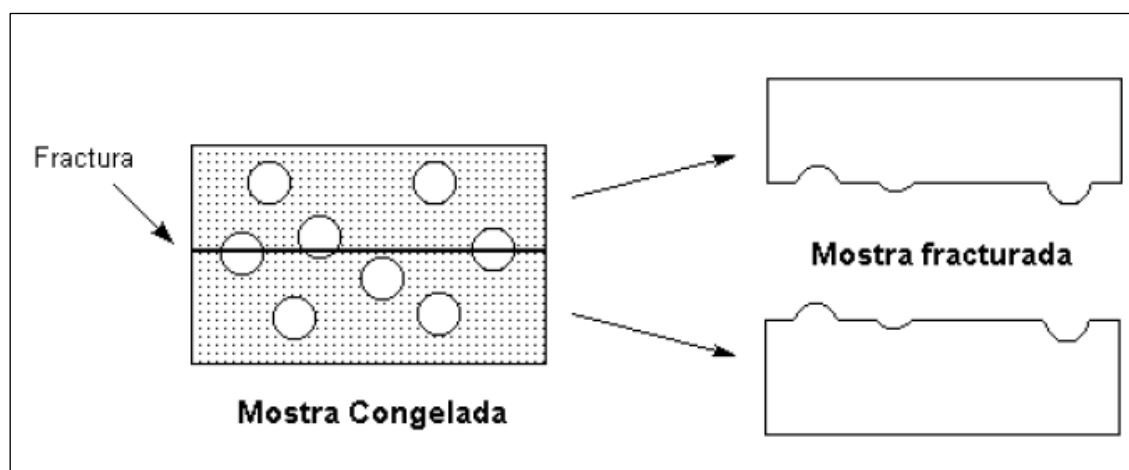


Figura 12: Procés de fractura d'una mostra congelada. Font bibliogràfica [7]

Criofractura: en primer lloc, cal no oblidar que no és possible observar mostres en solució mitjançant el microscopi electrònic perquè a dins de l'aparell s'hi realitza el buit. La tècnica de la criofractura pretén solucionar aquest problema mitjançant l'observació d'una rèplica de la mostra congelada (Figura 12). S'utilitza un gas líquid (età o propà), el qual provoca una congelació molt ràpida de la solució aquosa de la mostra (criofixació). Així s'aconsegueix

que l'aigua no formi cristalls sinó que esdevingui sòlida amb una estructura que s'acosta a una vitrificació. A continuació es fractura la mostra (Figura 204), i finalment es realitza la rèplica.

2.3.5.3 Diferències entre el microscopi electrònic i l'òptic

- El microscopi òptic utilitza les ones lluminoses, o radiació electromagnètica, naturals (o artificials) com a font d'il·luminació i es troba projectada al medi ambient. Però, un microscopi electrònic té com a principal font d'il·luminació un feix d'electrons conduït cap a la mostra que necessiten el buit per propagar-se, per tant, hi ha tota una maquinària per disposar d'aquesta font d'il·luminació.
- Una altra diferència és el poder de resolució. El poder resolució màxim en un microscopi electrònic és de 200 nanòmetres degut al tipus d'il·luminació entre d'altres factors envers al poder de resolució de l'electrònic, que pot arribar als 0,005 nanòmetres.
- Una altra diferència recau en el tipus de preparacions. El microscopi òptic, degut a les seves condicions, permet observar tan preparacions vives com mortes en contrapunt al microscopi electrònic que només en pot observar de mortes.
- Una diferència molt important és que en la varietat de microscopi electrònic d'escaneig podem observar imatges tridimensionals, envers a que en qualsevol tipus de microscopi òptic només en podem observar de dues dimensions.
- Una diferència aplicada a àmbits més pràctics és que un microscopi òptic és més mal·leable, més fàcil de transportar i d'adquirir (relativament), en resum, és més fàcil d'accedir-hi. Però un microscopi electrònic és un aparell molt voluminós que necessita de diversos elements per interpretar-ne les imatges i molt difícil i car d'adquirir. Per tant, és menys accessible.
- Una altra diferència que podríem deduir d'aquesta és que el microscopi òptic s'utilitza més com a instrument d'observació de mostres que poden ésser observades dins els seus límits i per tant, té unes aplicacions diferents, com per exemple l'escolar, que no pas l'electrònic que és més utilitzat per exemple en els camps de la investigació i la salut.

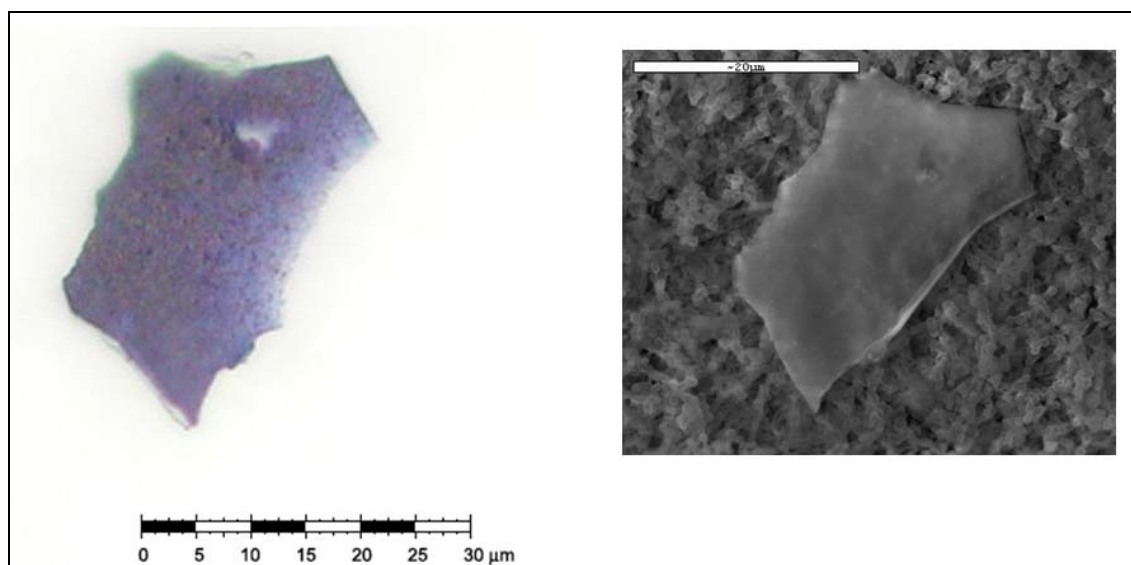


Figura 13: Comparativa mitjançant l'observació en el microscopi òptic (esquerra) i el microscopi electrònic (dreta). Font bibliogràfica [7]

2.3.6 Microanàlisi de raigs X

L'anàlisi de raigs X és possible realitzar-lo degut a que els àtoms de cada element emeten un característic raig X quan són ionitzats amb una gran radiació d'energia. Això passa perquè es creen buits en els electrons quan els àtoms són bombardejats amb radiació que tingui suficient energia per a traslladar l'electró des del seu nivell d'energia normal. Després es produeix un altre buit d'electró i un altre electró es relaxa en el buit. La relaxació dels electrons es produeix en l'emissió de raigs X a un cert nivell d'energia. Podem detectar en un escut el raig X característic emès per cada àtom, que podem processar electrònicament i analitzar per mitja d'ordinador perquè ens doni una determinació qualitativa i quantitativa dels elements presents en l'escut.

Els elements per sota del nombre atòmic de 11 (Na) no poden ser detectats degut a que els raigs X emesos per aquests nombres atòmics no tenen suficient energia per penetrar la finestra de Berili comunament utilitzada en el detector de raigs X.

Quan realitzem l'anàlisi de raig X cal tenir atenció al voltatge del feix d'electrons, degut que a alts voltatges, els electrons penetren profundament dins l'estructura de les partícules i els raigs X són emesos des de la superfície més llunyana. Com que la majoria de les partícules de desgast tenen menys de $3\mu\text{m}$ de gruix, les emissions poden ser rebudes des de la superfície del vidre portaobjectes o des de partícules per sota de la que ens interessa. Això ens donaria resultats erronis, diferents als desitjats. El vidre del ferrograma sol contenir Si, Na, K, Ti, Al i Zn, però aquesta composició pot variar d'uns als altres.

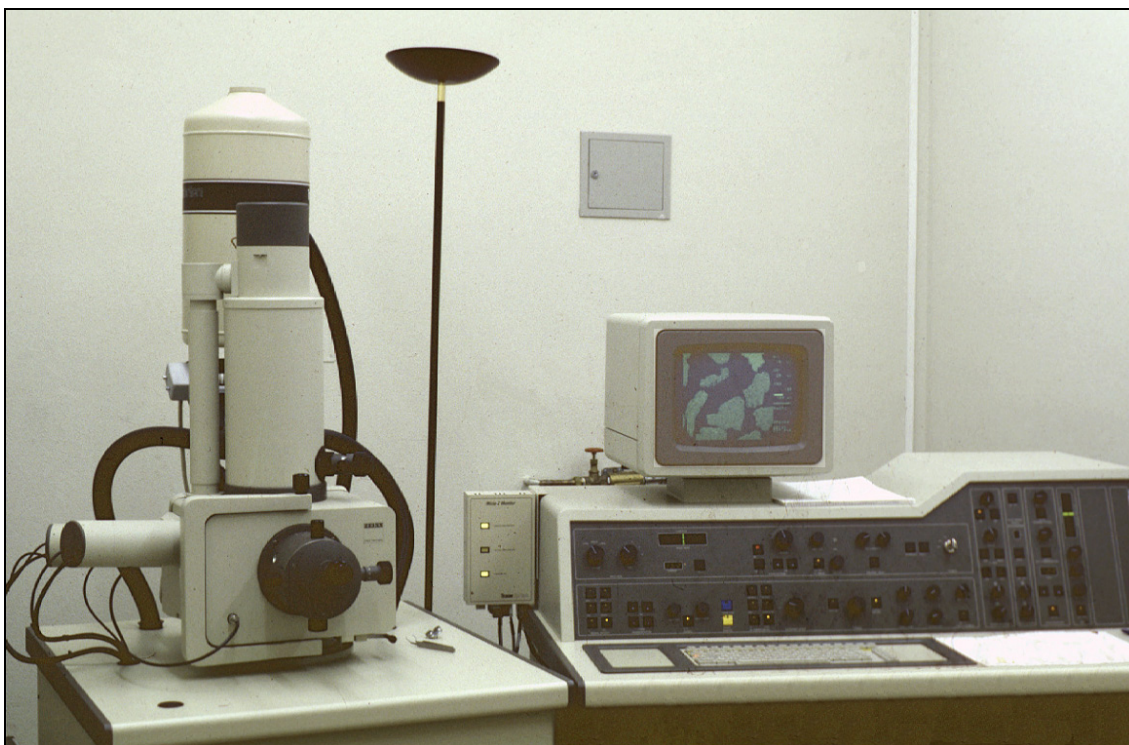


Figura 14: Imatge més clara de l'equip de microanàlisi electrònic amb energia dispersiva de raigs X. Font bibliogràfica [4]

Per realitzar unes bones fotografies amb el S.E.M. (Figura 14) el material recomanat per a recobrir els ferrogrames és l'or. En canvi, per a un anàlisi de raigs X es recomana el carbó, degut a que amb el seu baix nombre atòmic no contribueix dins de l'espectre d'energia del raig X, mentre que l'or i d'altres elements amb un nombre atòmic alt poden produir pics d'energia que es poden confondre amb els elements presents en el ferrograma. A més, els recobriments de carbó són suficientment translúcids com per no perdre tota la informació si fos necessari tornar a examinar òpticament el ferrograma després d'analitzar-lo amb el microscopi electrònic.

També podríem utilitzar portaobjectes que no siguin de vidre. Portaobjectes elèctricament conductors eliminarien la necessitat de recobrir els ferrogrames. Per aquests portaobjectes s'utilitzen metalls purs però aquests metalls no poden ser detectats posteriorment en les partícules quan realitzem un anàlisi de raigs X.

A més, els metalls amb un nombre atòmic més alt que el metall del portaobjectes tindriem un espectre complicat en l'anàlisi de raigs X degut a l'emissió de molts més pics. També podríem escollir el carbó vegetal com a material pel portaobjectes, que és força convenient a l'hora de treballar-hi, ja que és suficientment conductor com perquè no sigui necessari recobrir el ferrograma.

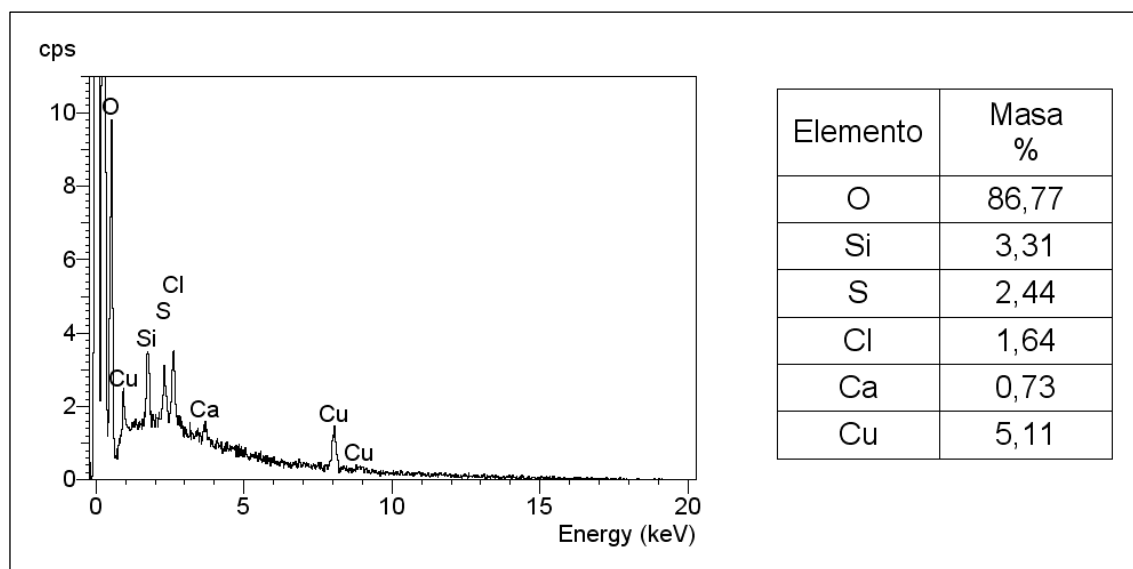


Figura 15: Espectre de raigs X corresponent a la partícula de la figura 13. Font bibliogràfica [7]

Si el plàstic és escollit convenientment, en els resultats del ferrograma no hi haurà pics en l'espectre de raigs X que ens dificultin l'estudi, si està solament compost d'hidrogen i carbó. L'inconvenient d'aquests ferrogrames és que són opacs i això dificultaria l'estudi amb el microscopi òptic, podent ésser observats solament amb llum reflexada, de manera que les partícules cristal·lines no metàl·liques apareixeran brillants en contrast amb el fons de color fosc.

Els recobriments de carbó per sobre de plàstics transparents combina els avantatges d'aquests últims opacs a l'hora d'examinar-los amb raigs X, amb l'avantatge de poder ser examinats amb llum bicromàtica en el microscopi òptic, però poden presentar problemes al estudiar-los amb altres tècniques com el tractament tèrmic de ferrogrames.

2.3.7 Tractament tèrmic de les partícules

El tractament tèrmic de les partícules que ja han estat aïllades del lubricant permet dilucidar la composició metàl·lica de les mateixes, segons la seva resposta física a l'augment de temperatura al que han estat sotmeses.

Per mitjà del tractament tèrmic en els ferrogrames podem obtenir informació significativa sobre la composició de partícules de desgast. Un progressiu escalfament del ferrograma causa canvis en l'aparença de les partícules assignant informació addicional per a deduir la composició de les partícules.

Aquest tractament només és aplicable a les partícules aïllades mitjançant camp magnètic, ja que les membranes orgàniques no suporten les altes temperatures usades en l'assaig. El ferrograma és dipositat sobre una planxa calenta a la temperatura de l'assaig i es manté a aquesta temperatura durant 90 segons. A la taula 3 podem veure una comparació.

MATERIAL	TEMPERATURA DE L'ASSAIG			
	330°C	400°C	480°C	540°C
Acers al carboni i aceris de baixa aleació	Blau	Gris brillant	---	---
Acers de mitja aleació	Bronze	Bronze i algunes zones blavoses poc definides	---	---
Acers aleats amb níquel	Sense canvis	Sense canvis	Bronze amb un color blavós en bastants partícules.	Totes les partícules blaves o gris blavós.
Acers inoxidable	Sense canvis	Generalment sense canvis, lleu groc en algunes partícules.	Bronze amb lleuger color blavós en algunes partícules.	La majoria de les partícules continuen amb color bronze; algunes partícules mostren un blau poc definit
Partícules d'origen orgànic	Carbonització, contracció, vaporització depenent del tipus de material.			

Taula 3: Colors de les partícules depenent de la temperatura en què es troben. Font bibliogràfica [7]

A més del tractament tèrmic, pel cas de metalls no ferromagnètics principalment, es fan reaccionar les partícules amb dissolucions d'àcid clorhídric (HCl) 0,1N i sosa càustica (NaOH) 0,1N. amb la finalitat de facilitar la seva diferenciació. Per a la realització dels assajos d'atac químic es dipositarà el ferrograma sobre una placa calefactora a 90°C, afegint una gota d'àcida o base sobre les partícules i deixant que la gota s'evapori.

Material	0,1 N HCl	0,1 N NaOH	TEMPERATURA DE L'ASSAIG			
			330°C	400°C	480°C	540°C
Al	Sol.	Sol.	S. C.	S. C.	S. C.	S. C. (*)
Ag	Insol.	Insol.	S. C.	S. C.	S. C.	S. C.
Cr	Insol.	Insol.	S. C.	S. C.	S. C.	S. C.
Cd	Insol.	Insol.	Marró.	---	---	---
Mg	Sol.	Insol.	S. C.	S. C.	S. C.	S. C.
Mo	Insol.	Insol.	S. C.	Marró o amb tonalitats morades fosques.		---
Ti	Insol.	Insol.	S. C.	Marró clar.	Marró.	Marró fosc.
Zn	Sol.	Insol.	S. C.	S. C.	Marró	Marró y blau.

Taula 4: Taula comparativa de partícules segons la temperatura que assoleixen. Font bibliogràfica [7]

Abreviatures:

(*) : pot tornar-se brillant en alguns casos.

Sol: soluble.

Insol: insoluble.

S.C.: sense canvis

A continuació es mostren alguns exemples de tractaments tèrmics:

- Cas 1: Al aplicar el tractament a una mostra de partícules ferroses orientades pel camp magnètic (Figura 16), es poden diferenciar les compostes d'acers poc aliats (que agafen colors blavosos) de les partícules ferroses mitjanament aliades (les quals agafen colors marrons).

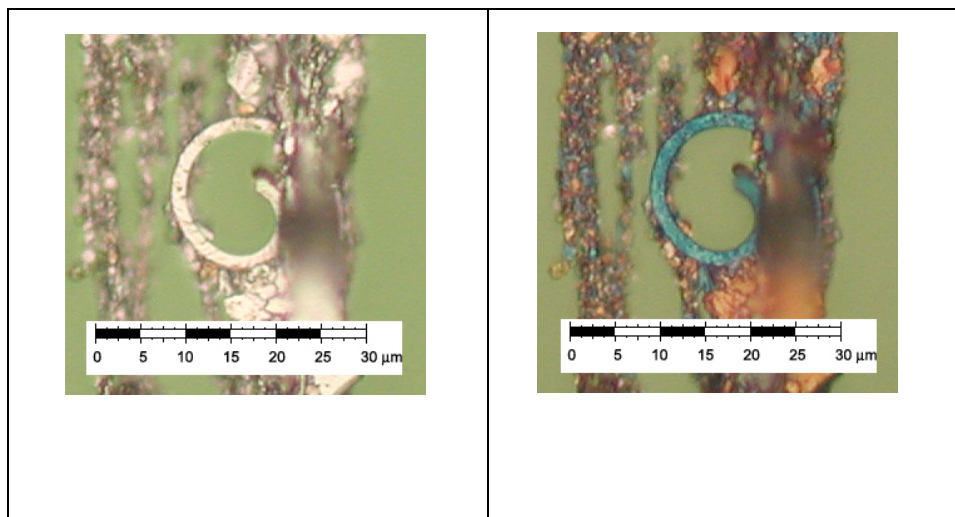


Figura 16: Fotografies de partícules abans (esquerra) i després (dreta) del tractament tèrmic. Font bibliogràfica [7]

- Cas 2: S'ha aplicat el tractament tèrmic a una partícula de color marró semblant al coure, però que es podria confondre amb una partícula ferrosa sobreescalfada (Figura 17) Després del tractament tèrmic, la partícula ha pres un color grisós típic de les aliatges de coure.

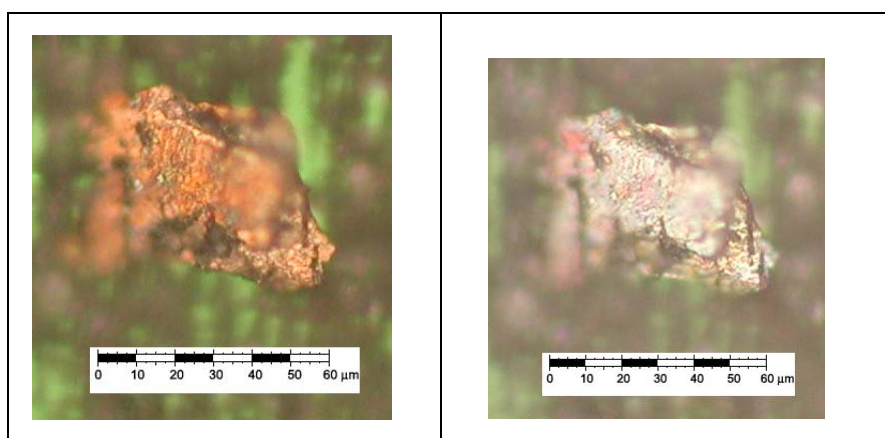


Figura 17: Fotografies de partícules abans (esquerra) i després (dreta) del tractament tèrmic. Font bibliogràfica [7]

2.3.8 Origen dels metalls

A continuació a la taula 5 es detalla la procedència dels diferents metalls presents en l'oli lubricant:

METALL	ORIGEN
Alumini (Al)	Coixinets. Pistons de MCIÀ. Alguns tipus de gàbies de rodaments. Contaminació externa amb pols de l'ambient.
Antimoni (Sb)	Aliatges de coixinets. Grasses lubricants.
Bari (Ba)	Additius detergents del lubricant. Fugues del circuit de refrigeració.
Bor (B)	Additiu del lubricant. Traces de inhibidors del refrigerant (tetraborat de sodi). Pols ambiental.
Calci (Ca)	Additiu detergent del lubricant.
Coure (Cu)	Coixinets (Cu-Pb, Sn-Cu). Entrada de fluid refrigerant (radiadors de coure). Refredadors de lubricant.
Crom (Cr)	Segments, camises, pistons. Barres de vàlvules. Inhibidors de corrosió del refrigerant (cromats de sodi o de potasi)
Estany (Sn)	Coixinets (Pb-Sn, Cu-Sn, Al-Sn). Conductes del lubricant. Segells i restes de soldadures.
Fòsfor (P)	Additiu antidesgast i antioxidant del lubricant. Fuga d'aigua de refrigeració.
Ferro (Fe)	Segments i camises de cilindres. Lleves i balancins. Engranatges i cadenes. Recolzaments i canyelleres del cigonyal.
Magnesi (Mg)	Additius detergents del lubricant. Entrada d'aigua de mar.
Manganés (Mn)	Vàlvules. Sistemes d'admissió i escapament.
Molibdé (Mo)	Pistons i segments. Additiu antifricció de grasses i lubricants (MoS ₂).
Níquel (Ni)	Cilindres. Elements de la distribució. Àleps de turbines.
Plata (Ag)	Recobriments de coixinets. Dents d'engranatges amb recobriments antifricció.
Plom (Pb)	Coixinets. Additiu del lubricant. Traces de contaminació per gasolina. Restes de pintures.
Silici (Si)	Pols atmosfèrica (SiO ₂) Camises de fosa. Additius antiespumants del lubricant. Inhibidors de corrosió de l'aigua de refrigeració. Restes de pastes de juntes y tubs (silicones).

Taula 5: procedència dels diferents metalls presents en l'oli lubricant. Font bibliogràfica [7]

2.4 – Anàlisi de partícules

En aquest apartat es realitzarà una descripció de les diferents partícules que es poden trobar presents en un lubricant tan per a motors tèrmics com per a qualsevol altre sistema de lubricació en general. A la figura 1 podem veure un gràfic amb diferents distribucions de grandària que ens indica en quin estat es troba la màquina.

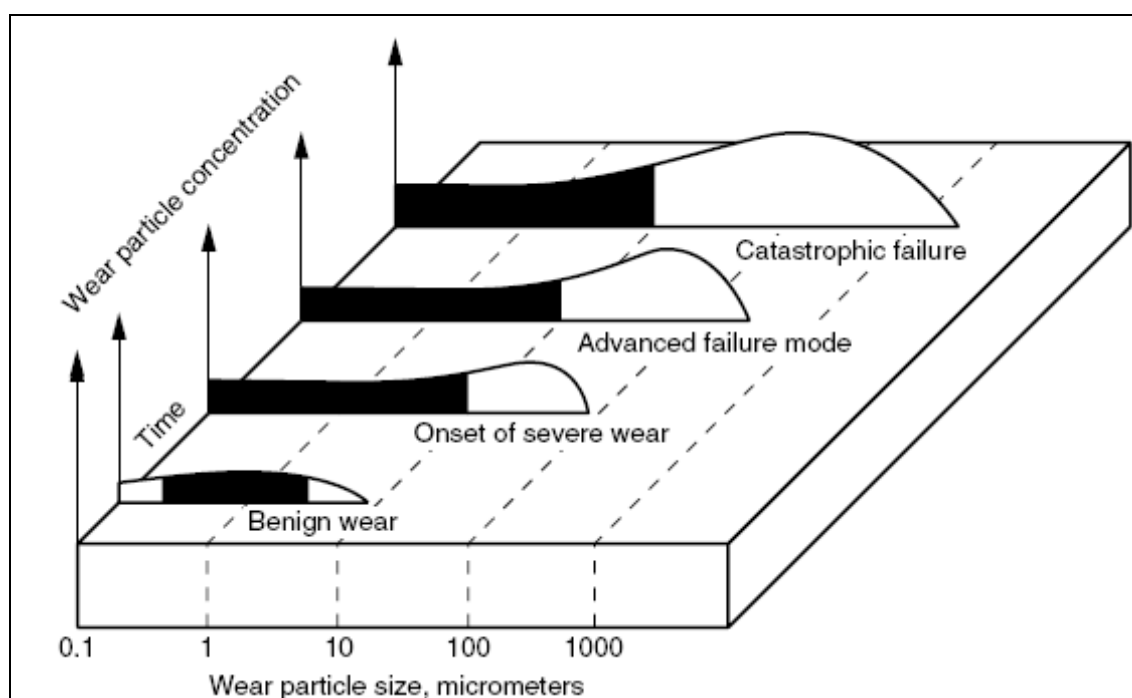


Figura 1: Distribucions de grandària de partícules que indiquen l'estat en què es troba la màquina.

Font bibliogràfica [2].

2.4.1 Partícules de desgast normal (Rubbing wear)

Les partícules de desgast normal, en anglès “Rubbing wear”, són generades com a resultat del desgast per lliscament normal entre dues superfícies. Són les que generen els cossos metàl·lics quan estan en contacte (desgast adhesiu). Tenen una forma semblant a petites escames metàl·liques, d'una grandària mai superior a les 20 micres. La seva superfície és llisa i no solen presentar colors d'oxidació. Es forma una petita capa a sobre de la superfície a causa del desgast. Mentre aquesta capa és estable, la superfície es desgasta de manera normal. Si la capa desapareix més ràpidament del que ha estat generada, el desgast augmenta considerablement i la grandària de les partícules també. Quantitats excessives de contaminant, en un sistema de lubricació, pot comportar en un augment de desgast normal més gran de magnitud, sense que doni temps a crear-se la capa superficial.

Encara que les màquines que tenen aquest desgast tinguin un coeficient estàtic molt alt, es poden deteriorar per desgast molt ràpidament.

La presència d'aquestes partícules és totalment normal, només quan la seva concentració és superior a unes 100 partícules per mil·lilitre comença a indicar un desgast anormal de la màquina. Normalment, la màxima grandària del desgast normal és d'unes 15 micres per partícula. Tenim un exemple a la figura 2.

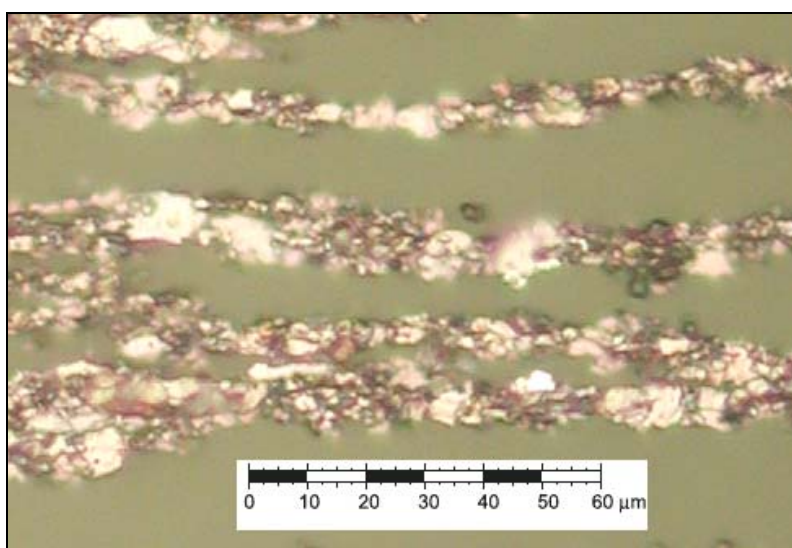


Figura 2: Exemple de partícules de desgast normal. Font bibliogràfica [7]

2.4.2 Partícules a causa del tall (Cutting)

Les partícules de tall són generades com a resultat d'una superfície que penetra a una altra. Aquestes partícules estan produïdes quan una superfície dura, desalineada o fracturada produeix una esquerda que talla una superfície més tova. També es generen quan contaminants abrasius s'aglomeren en una superfície més tova i produeixen un efecte de tall a la superfície oposada.

L'aparició d'aquestes partícules és anormal i són indicatives d'una avaria o d'un mal funcionament de la màquina. Si només apareixen uns pocs microns llargs, la causa és probablement la contaminació. En quantitats majors, el més segur és que tinguem una avaria imminent d'algun component.

Les partícules de tall tenen un aspecte de virutes rectes, corbades o fins i tot, en forma d'espiral, tal i com es pot observar a la figura 3, amb una relació entre longitud i amplada elevada (habitualment de 20-50:1) existeixen dos tipus principals:

- Bicós: Són partícules relativament grans, de 2 a 5 μm d'amplada i una longitud superior a 30 μm .
- Tricós: Són partícules petites, de 1 μm d'amplada com a màxim i d'una longitud inferior als 30 μm .

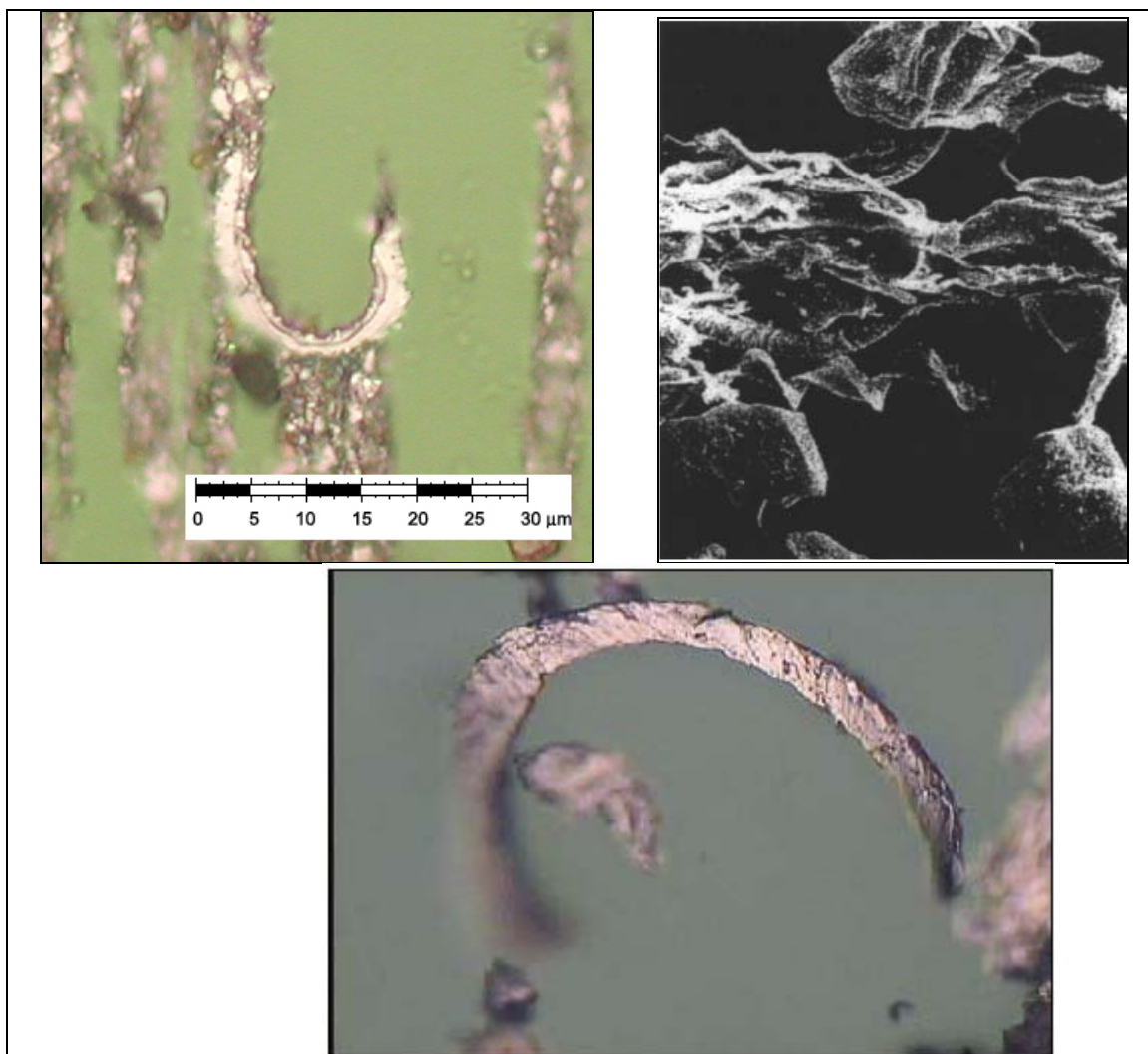


Figura 3: Partícules de tall. Font bibliogràfica [7]

2.4.3 Partícules de lliscament

Les partícules de lliscament procedeixen del desgast generat per fenòmens d'adhesió i abrasió, principalment a velocitats o càrregues excessives o a una avaria en la lubricació de l'element.

Les partícules de lliscament, alguns exemples de les quals es poden veure a la figura 4 presenten les següents característiques:

- Estries paral·leles a la superfície, generalment en la direcció de la dimensió major.
- Cantonades rectes
- Superfície irregular
- Oxidació per sobreescalfament, en ocasions presenten colors de revingut
- Ocasionalment, s'observen partícules amb aparença de decapat i allargades.

En alguns casos apareixen òxids acompanyant a les partícules de lliscament pròpiament dites. En situacions de desgast sever per lliscament, es donen simultàniament desgast per tall bicós, pel que la presència de partícules dels dos orígens es barregen.

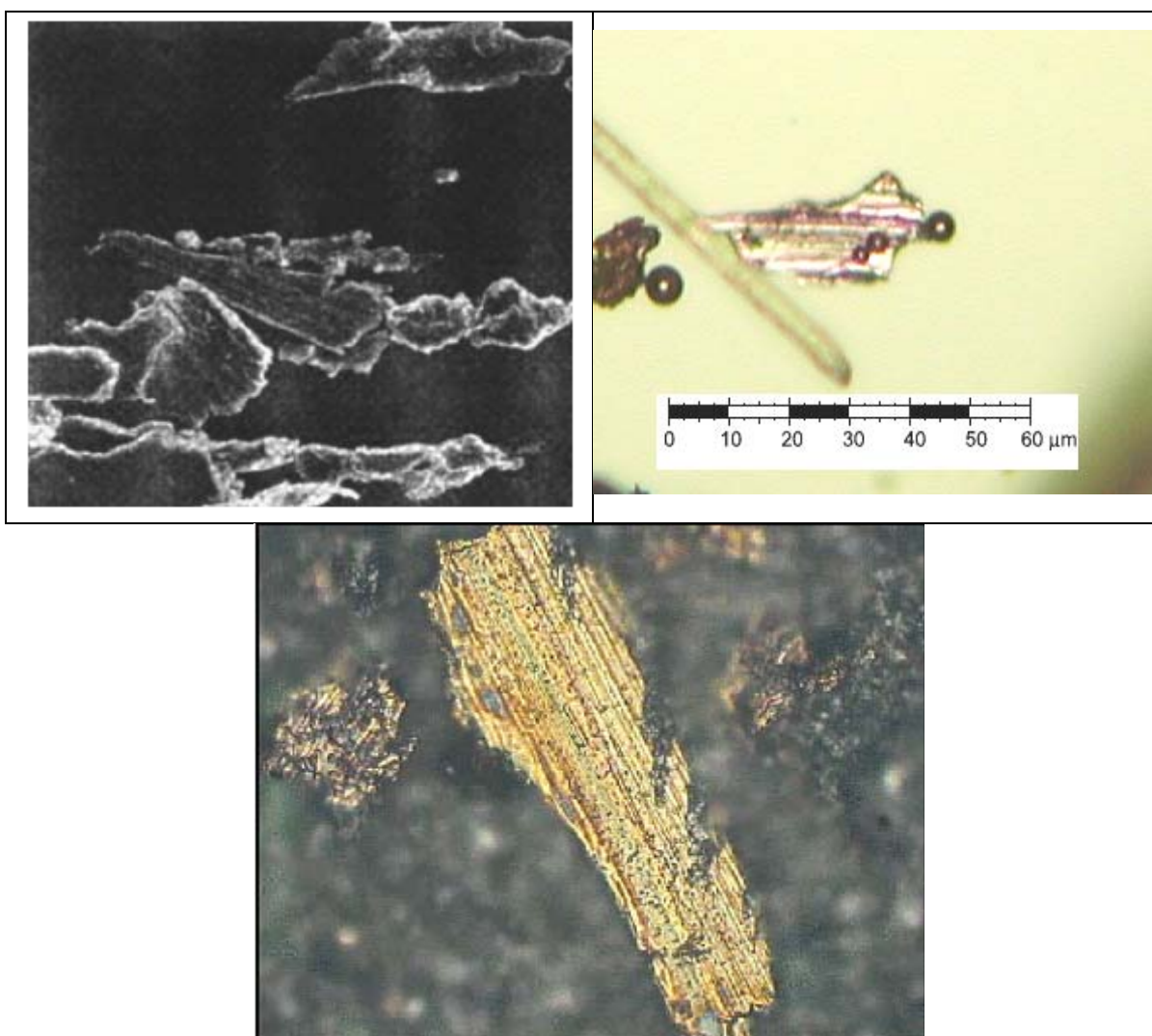


Figura 4: Exemple de partícules en lliscament. Font bibliogràfica [7]

2.4.4 Partícules de fatiga

Les partícules de fatiga tenen el seu origen en elements amb sobrecàrregues cícliques principalment, encara que també poden aparèixer amb un muntatge incorrecte de les peces (falta d'alineació o desequilibrat). Aquestes partícules són també típiques en coixinets, així com en elements amb fricció per rodament.

L'aparició de microesquerdes subsuperficials que es van unint i fent més grans, progressant fins a la superfície, moment en el que es desprenen fragments (chunks) de material deixant una picadura o foradet a la superfície. Quan aquests fragments són aixafats entre les superfícies en rodament s'originen les partícules laminars. Dins de les microesquerdes es generen esferes (spheres), les quals augmenten de grandària conforme la fatiga mecànica augmenta. Si apareixen esferes d'un diàmetre superior a 100 µm en el sistema de lubricació són indicatives d'una avaria catastròfica imminent.

Característiques de les partícules de fatiga:

- Fragments de fatiga: presenten una morfologia equiaxial, amb la superfície sense irregularitats pronunciades, tal i com es pot apreciar a la figura 5, la seva relació de dimensió major davant del gruix és inferior a 10:1 arribant fins i tot a 5:1.

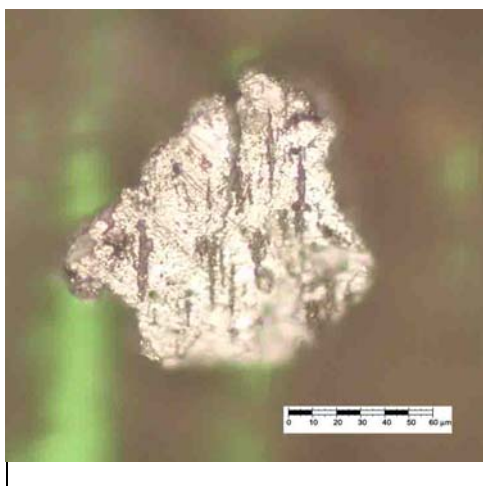


Figura 5: Fragments de fatiga. Font bibliogràfica [7]

- Laminars: Presenten un aspecte aplanat, amb la superfície suau (sense cantonades rectes), en ocasions presenten forats tal i com es pot observar a la figura 6. El seu rang es comprèn entre 20 i 50 micres i un radi de gruix de 30:1. Aquestes partícules es formen pel pas d'una partícula de desgast per un contacte rodant. Les partícules

laminars es poden produir durant tota la vida d'un rodament i la quantitat augmenta amb el temps. Un augment de partícules laminars i de partícules esfèriques (explicades en el proper punt) són indicatius de microesquerdes.

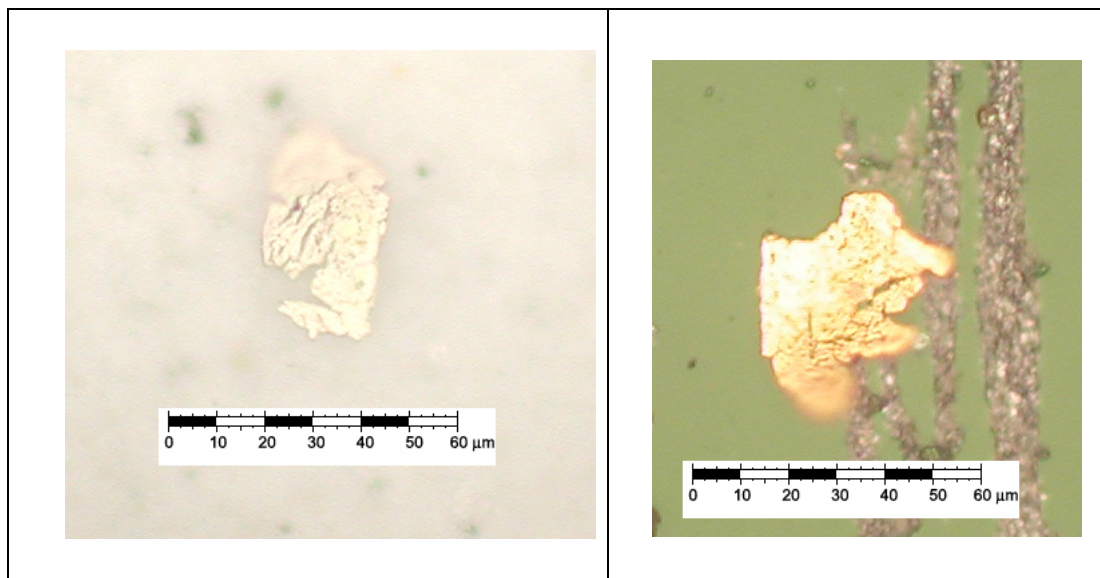


Figura 6: Partícules laminars. Font bibliogràfica [7]

- Esferes: La seva forma característica permet la seva ràpida diferenciació, la seva grandària sol estar entre les 1 i 10 micres de diàmetre, tal i com s'observa a la figura 7. Si existeixen problemes de fatiga en l'equip, la concentració d'esferes sol ser molt elevada. La detecció d'aquestes partícules comporta problemes. Es generen en processos de contaminació. Les esferes produïdes es diferencien de les generades en altres processos en la seva grandària.

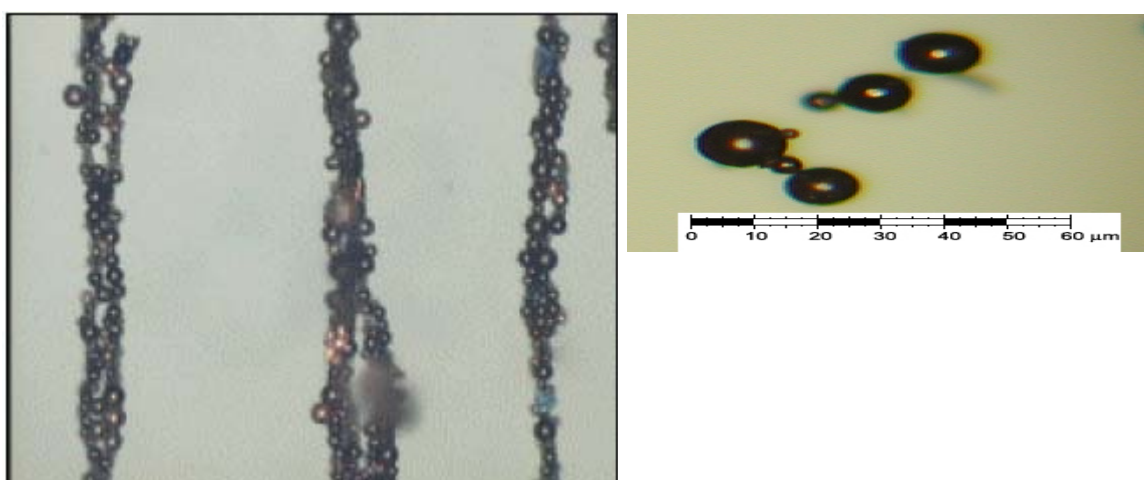


Figura 7: Partícules esfèriques. Font bibliogràfica [7]

2.4.5 Pols ambiental

Les partícules de pols en suspensió en l'atmosfera poden passar al sistema de lubricació, sobretot si no existeix una correcta estanquitat. Es poden diferenciar dos tipus principals de partícules de pols, on a la figura 8 es poden apreciar ambdós:

- Pols de silicats: Són partícules brillants, s'assemblen a petits fragments de vidre. Tenen una elevada duresa podent arribar a ratllar l'acer.
- Pols calcària: Partícules translúcides amb aspecte terrós, en algunes ocasions presenten brillo, tenen un poder abrasiu inferior als silicats.

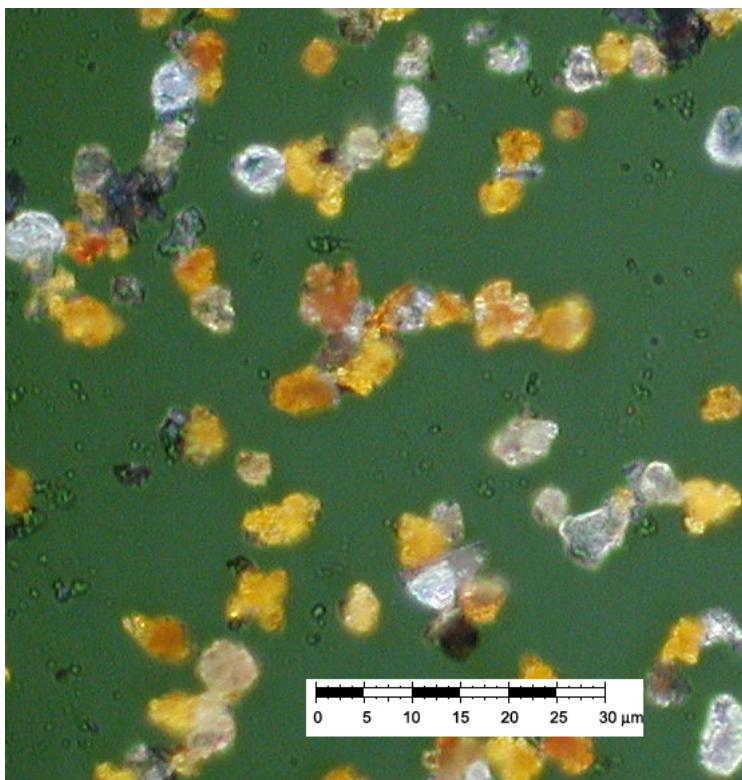


Figura 8: Partícules de pols ambiental. S'observen silicats (de color blanc) i pols calcària (tonalitats marrons). Font bibliogràfica [7]

2.4.6 Òxids de ferro

Es diferencien tres tipus d'òxids ferrosos:

- Òxids negres: Són partícules ferroses d'un color fosc generades per un sobreescalfament, tal i com s'observa a la figura 9. Sobre les partícules es detecten irisacions i s'observen algunes zones amb colors de temple.

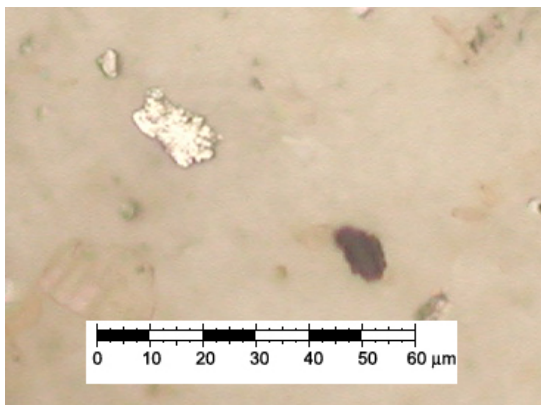


Figura 9: Òxid negre. Font bibliogràfica [7]

- Òxids vermells: Tenen una tonalitat roja característica, com es pot observar a la figura 10. Són semitransparents a la llum transmesa, responen amb un color taronja brillant davant de la llum, el qual permet identificar-les fàcilment sobre el ferrograma.

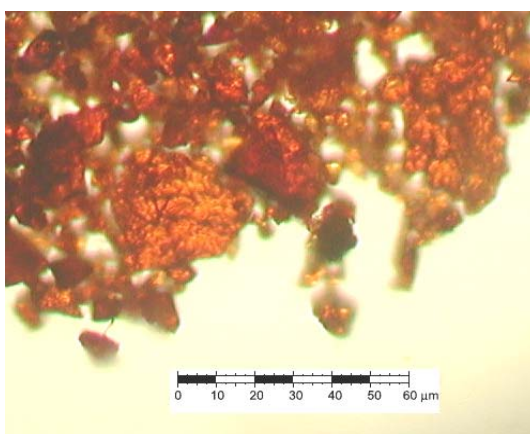


Figura 10: Òxids vermells.

- Partícules de corrosió: Aquestes partícules tenen una grandària inferior a 1 micra, solen aparèixer en elevadíssim nombre i són indicatives d'una contaminació del lubricant per aigua o per algun àcid. A la figura 11 en tenim un exemple.

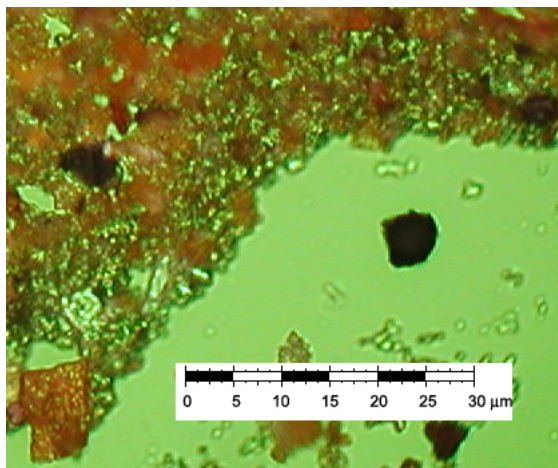


Figura 11: Partícules de corrosió. Font bibliogràfica [7]

2.4.7 Fibres

Les fibres són un tipus de contaminants del lubricant fàcilment detectables, ja que són molt allargades, solen ser translúcides o de colors brillants. Es poden classificar en tres tipus:

- Fibres tèxtils (orgànic): Són corbades, amb els extrems esgarrats, els tractaments tèrmics les carbonitza o les fon, tal i com es pot observar a la figura 12.
- Amiant (mineral): Són partícules d'una longitud considerable i d'un gruix inferior a una micra, tal i com es pot observar a la figura 13.
- Fibra de vidre (mineral): Són fibres llargues i rectes, el seu gruix es de varies micres, tal i com es pot observar a la figura 14.

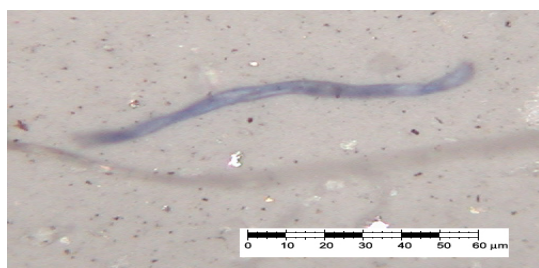


Figura 12. Fibra tèxtil. Font bibliogràfica [7]

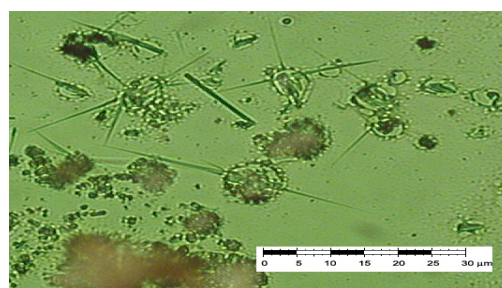


Figura 13 Amiant. Font bibliogràfica [7]

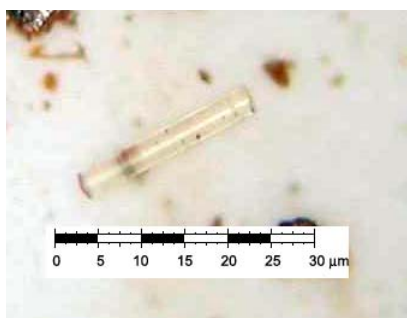


Figura 14. Fibra de vidre. Font bibliogràfica [7]

2.4.8 Polímers de fricció

Els polímers de fricció procedeixen de la polimerització de part de les molècules del lubricant, sobretot degut a les altes temperatures i pressions de treball. La seva presència en elevades concentracions augmenta la viscositat de l'oli i pot donar lloc a l'obtenció dels filtres.

El seu aspecte és translúcid i de forma irregular, similar a restes d'adhesius, té tonalitats que van des de l'àmbar fins a ser totalment transparents, tal i com es pot observar a la figura 15. Els polímers de major grandària contenen en el seu interior partícules metàl·liques.

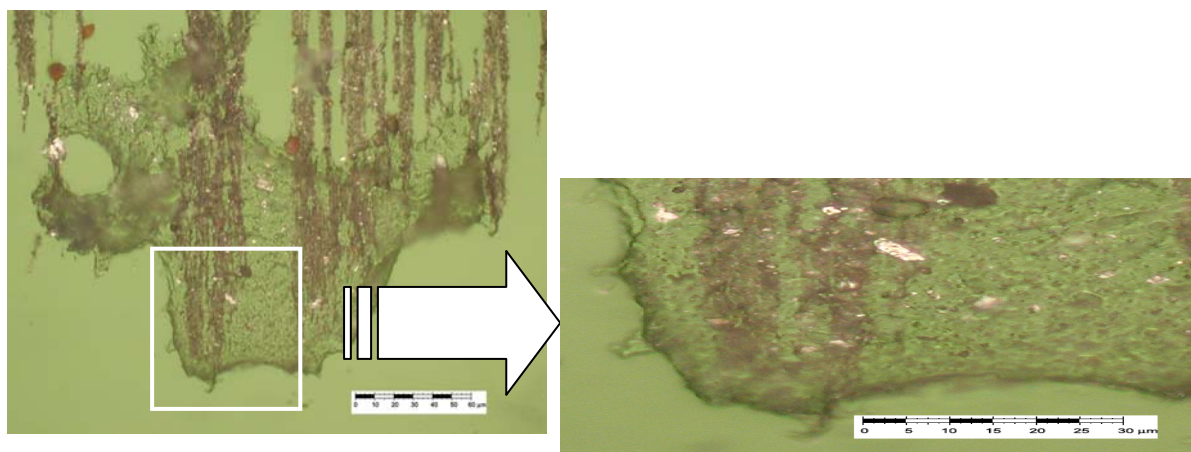


Figura 15: Polímer de fricció i un detall del mateix. Font bibliogràfica [7].

2.4.9 Additius

Els additius que s'afegeixen a l'oli milloren les propietats lubricants del mateix. El més utilitzat és el disulfur de molibdè (MoS_2), les seves partícules presenten un color gris blavós característic. La seva forma és similar als fragments de fatiga, tal i com es pot observar a la figura 16. A la taula 1, podem observar la procedència de cada tipus de partícula.

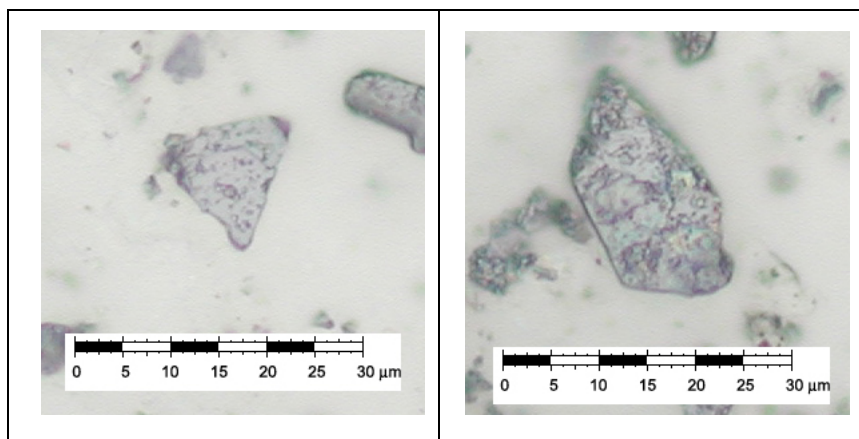


Figura 16: Partícules de disulfur de molibdè. Font bibliogràfica [7]

Font de materials trobats en l'anàlisi de partícules	
Material	Font
Alumini	Pistons d'aleació lleugera
	Cigonyals
	Peces de fosa
Antimoni	Rodaments plans de metall blanc
Bor	Additius d'olis
	Fugues de refrigerant
Crom	Anells de pistons
	Cilindres
	Ajustament de vàlvules
Cobalt	Ajustament de vàlvules
	Banys de pintura
Coure	Rodaments de bronze o recoberts de coure
Indi	Cigonyals
Ferro	Engranatges
	Arbres de lleves
Plom	Rodaments plans
Magnesi	Desgast de components plàstics
	Intrusió d'aigua de mar
Níquel	Ajustament de vàlvules
	Acers d'aleació
Silici	Intrusió de minerals en forma de pols
Plata	Rodaments recoberts de plata
	Desgast de juntes soldades de plata
Sodi	Fugues de refrigerant

	Intrusió d'aigua de mar
Llautó	Rodaments plans
Zinc	Additius d'olis

Taula 1: Font de materials trobats en l'anàlisi de partícules

2.5 EL MANTENIMENT

2.5.1 Introducció

El manteniment avarca tants aspectes diferents, que és fàcil trobar en la literatura multitud de definicions. El concepte està íntimament relacionat amb l'objectiu de tota indústria i la seva manera de funcionament, el qual a la vegada depèn de la situació del mercat en què es troba. El manteniment és, apart d'una disciplina, una estratègia que pot ser aplicada de forma intensiva, moderada, modesta o res en absolut; depenent d'un gran nombre de variables llur constitució habitualment està més enllà de solucions immediates o òbvies. En la pràctica, dins del teixit industrial de qualsevol comunitat existeix una distribució quasi contínua del nivell d'intensificació del sistema de manteniment implantat. És possible trobar des dels sistemes d'implantació més extrems es el que existeix expressament un departament de manteniment amb una gestió extensiva de les operacions; fins a indústries en les que el manteniment es realitzi de forma erràtica perseguint més sobreviure a la producció diària que maximitzar l'eficiència.

Per altra banda, la implantació d'un sistema de manteniment en una indústria no és una feina fàcil. S'ha de tenir un recolzament sòlid per part de la direcció i ha de comptar amb l'ajuda de tots. La importància del manteniment és que sense ella resulta impossible arribar a uns nivells alts d'eficiència en la producció. A la figura es pot observar el cicle de vida general d'una màquina

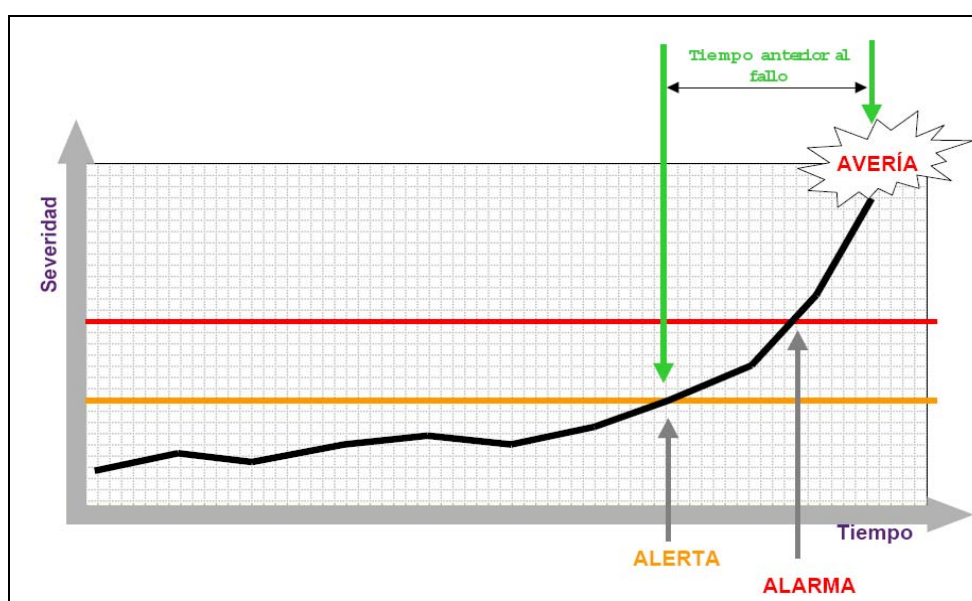


Figura 1 Cicle de vida d'una màquina. Font bibliogràfica [14]

D'acord amb els principis bàsics de l'enginyeria de la fiabilitat, les causes d'error en els equips varien amb el pas del temps. D'aquesta manera s'entén que al principi de la vida d'un equip els errors vindran de la posta en marxa i de l'arrencada, mentre que al cap d'un temps els errors seran imputables al desgast.

CATEGORIA	ERRORS D'ARRENCADA	ERRORS ACCIDENTALS	ERRORS DE DESGAST
CAUSA	Errors de disseny/fabricació (imputables a proveïdor)	Errors d'operació	Desgast
CONTRAMESURES	Assaig per acceptació i control d'arrencada	Elecció de l'operació apropiada	Millora preventiva i de mantenibilitat

Per eliminar els errors (avaries) hem de descobrir els defectes ocults i tractar l'equip abans que s'espatlli. Quan les aturades no es poden evitar i els costos de manteniment es disparen s'ha de pensar amb el Cost del Cicle de Vida, i s'ha de començar a pensar en una nova inversió doncs l'equip en qüestió ja no és rendible per l'empresa.

- Mantenir les condicions bàsiques ben regulades

Algunes contramesures que ajuden a eliminar errors:

- Procediments d'operació apropiats
- Restaurar el deteriorament
- Millorar els punts dèbils de disseny
- Millora d'operacions i capacitats del manteniment

A la figura 2, tenim un esquema on ens mostren les tasques a fer de manteniment per part del departament de producció i manteniment respectivament.

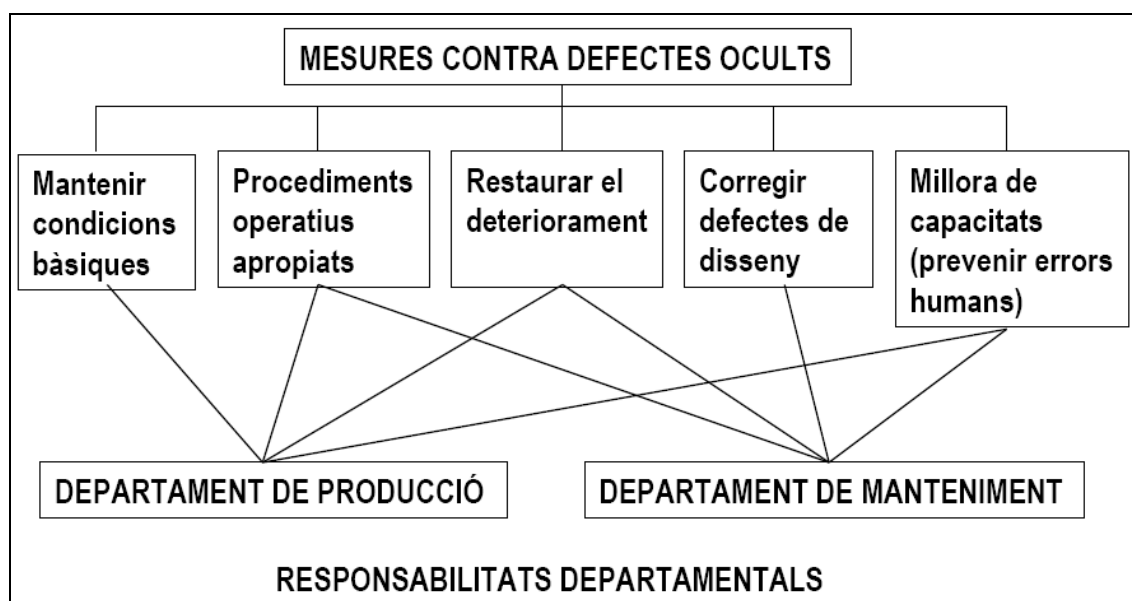


Figura 2: Tasques a fer de manteniment per part del departament de producció i manteniment respectivament. Font: Lluís Ripoll, Apunts de manteniment industrial.

2.5.2 Tipus de manteniment

Existeixen varis tipus de manteniment amb diferències en quant a objectius, planificació, recursos necessaris, etc. En l'actualitat, en les grans indústries, cap d'aquests tipus s'utilitza exclusivament, sinó que es realitza un manteniment planificat que combina els diferents tipus amb l'objectiu d'optimitzar els costos globals i la disponibilitat dels equips. Les tipologies bàsiques de manteniment són les següents:

2.5.2.1 Manteniment davant de fallada (o davant d'avaría).

També conegut com manteniment davant a ruptura (Breakdown Maintenance), es refereix a les operacions de manteniment que tenen lloc després de la fallada i llur objectiu fonamental és la ràpida devolució de la màquina a les condicions de servei. Per això es posa èmfasi en substituir o reparar ràpidament les peces que han fallat. Si bé és un tipus de manteniment correctiu degut, en alguns casos, a un desconeixement més avançat de les tècniques de manteniment i a la falta d'organització encara que, en altres casos, està plenament justificat per ser el mètode més eficient. L'avantatge fonamental d'aquest mètode és la rapidesa de la posta en funcionament de la màquina i que les diferents peces s'utilitzen fins que fallen, esgotant d'aquesta manera la seva vida útil. Tanmateix, els desavantatges que presenta aquest mètode són nombrosos, destacant-ne els següents

- En aquest tipus de manteniment no es busca la causa o l'origen de l'avaria (que no necessàriament es troba en la peça que ha fallat) pel que, després de la reparació, l'avaria es tornarà a repetir en un curt espai de temps. Per exemple, si existeix un desequilibri en un eix d'una màquina es produirà un desgast ràpid dels rodaments i com a conseqüència un deteriorament dels mateixos. L'acció reparadora es limitarà a substituir els rodaments defectuosos. Tanmateix, el problema de fons no es solucionarà si no es corregeix del desequilibri existent.
- El treball de manteniment no es pot planificar, donat que no se sap quan es produirà la fallada (impossibilitat de previsió). Així la fallada pot produir-se quan el personal tècnic de manteniment no estigui a la planta (durant la nit per exemple) el que retarda la reparació i posta en servei. A més, en el cas de que varies fallades es produeixin simultàniament, el personal de manteniment pot sofrir una acumulació puntual de treball que impedeixi el restabliment normal de la fabricació de forma immediata.
- Obliga a l'existència de recanvis suficients per a cobrir les eventuais reparacions i evitar llargues parades esperant que els recanvis arribin a la planta, el que incrementa el cost de materials immobilitzat i de magatzem.
- Si la reparació no és ràpida la fallada de la màquina pot donar lloc a una pèrdua econòmica important al produir-se una parada de producció, especialment en màquines crítiques dins de la línia.
- Les avaries, al ser imprevistes, poden ser greus per la màquina, ja que la fallada d'un element pot donar lloc a la fallada de quelcom element més connectat al mateix. En ocasions, l'avaria d'una petita peça i poc costosa provoca una avaria catastròfica a la màquina que es tradueix en una pèrdua econòmica important.
- Les avaries imprevistes poden donar lloc a sinistres amb conseqüències greus pel personal o la resta de les instal·lacions. Així, aquest tipus de manteniment no redueix el perill de danys en els treballadors ni en les instal·lacions.

2.5.2.2 Manteniment correctiu.

Aquest tipus de manteniment té les mateixes característiques que l'anterior (manteniment davant avaria) a menys que es consideri necessari no només reparar la màquina avariada sinó també buscar, diagnosticar i corregir la causa real que va provocar l'avaría. Els avantatges i inconvenients d'aquest mètode són els mateixos que en el manteniment davant de fallada, amb la diferència que, al reparar la causa original de l'avaría, es preveu la ràpida reparació del mateix. Aquest mètode, més indicat que el manteniment davant de fallada (no correctiu), només és aplicable quan existeix disponibilitat suficient d'equips de recanvi i la substitució és ràpida, econòmica i no suposa interrupcions ni perjudicis en el procés productiu. Sol ser així en el cas de màquines senzilles i barates i de les quals existeixen varies unitats en la planta industrial, el que permet amb un recanvi reduït, cobrir gran part de les avaries eventuais. En aquests casos, probablement el manteniment correctiu sigui més econòmic i eficient que qualsevol altre.

2.5.2.3 Manteniment preventiu.

És un tipus de manteniment llur objectiu consisteix en prevenir l'avaría. El manteniment preventiu més comú és el planificat (PPM, Planned Preventive Maintenance). Es basa en restabliment d'una rutina de substitució de peces a intervals periòdics de temps. En la majoria de casos la substitució d'un component es realitza sistemàticament, independentment de l'estat de la peça, basant-se en el nombre de cicles realitzats o el temps de treball de la màquina i en la informació històrica del temps mig entre avaries (MTBF, Mean Time Between Failure) del component. D'aquesta manera es tracta d'evitar les avaries inesperades. L'èxit del mètode radica en una adequada elecció dels intervals de substitució de les peces. Aquest tipus de manteniment també inclou les operacions preventives que s'executen aprofitant alguna conjuntura (màquina parada per qüestions de producció, màquina parada per avaría d'una altra peça, etc) que permeti obtenir un benefici al realitzar en aquest moment la substitució de la peça a la que s'aplica la prevenció (manteniment preventiu d'oportunitat). L'avantatge d'aquest mètode, davant del manteniment correctiu, és que la planificació del manteniment és més senzilla, produint-se un menor nombre d'imprevistos i parades no programades de producció. A més, redueix la necessitat d'emmagatzematge de recanvis, ajustant l'adquisició dels mateixos als períodes planificats d'inspecció. El mètode és especialment indicat per a aquells components que tenen una corba de deteriorament clarament depenent del nombre de cicles, com per exemple els filtres. De fet, el canvi d'oli i filtres o bugies en un automòbil és un clar exemple

de l'aplicació d'una estratègia de manteniment preventiu. No obstant, aquest mètode té alguns inconvenients, entre les que cal remarcar:

- Pot resultar antieconòmic si els períodes de substitució de peces no estan correctament definits (no s'esgota la vida útil de les peces), feina complicada donat l'elevat nombre de factors variables que poden afectar a la vida d'algunes peces.
- La intervenció preventiva sobre la màquina per un operari pot produir noves avaries en la mateixa, deguts a errors humans en els treballs de substitució, avaries que no s'haurien produït sense aquesta intervenció.
- En màquines on llur funcionament no és continu, aquesta estratègia obliga a incorporar comptadors de diversos tipus per a controlar els períodes d'intervenció.
- La probabilitat d'avaria del sistema no es redueix si la substitució es realitza dins del rang de vida útil de la peça (zona plana de la corba de la banyera), produint-se en canvi, un cost econòmic al canviar una peça que encara podria funcionar correctament per molt de temps.
- Les parades de producció necessàries per a realitzar les operacions de manteniment preventiu afecten al ritme normal de producció i poden suposar un cost elevat que en alguns casos pot ser que no es recuperi. Això pot paliar-se, en part, en els casos en que la substitució es realitza aprofitant parades de la producció que igualment s'hagin de realitzar per altres motius tècnics.

A la figura 3 podem observar un gràfic que mostra una relació entre el cost i el % de manteniment preventiu aplicat.

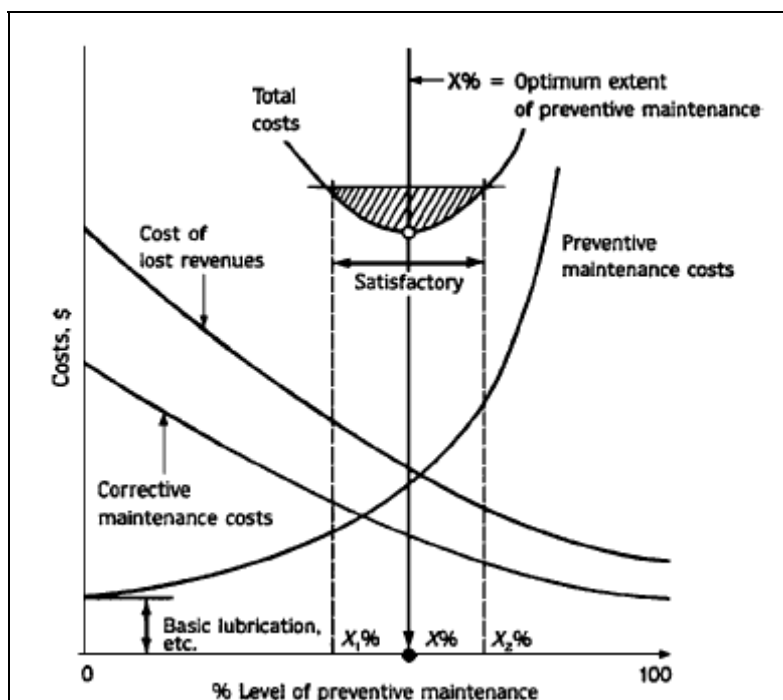


Figura 3: Relació entre el cost i el % de manteniment preventiu aplicat. Font bibliogràfica [3].

Per l'elecció dels equips conflictius es disposa de diferents sistemes, dels quals els més utilitzats són els diagrames de Pareto (Figura 4) i la valoració paramètrica o selecció per atributs.

En el manteniment preventiu és molt freqüent la utilització dels anomenats Diagrames de Pareto: es tracta de confeccionar els diagrames "Hores d'intervenció en els equips", "Nombre d'intervencions en els equips" i "Costos de manteniment dels equips". Per obtenir uns bons resultats cada equip haurà de ser considerat com una unitat individual. A través dels resultats percentuals de la incidència dels tres conceptes corresponents a cada equip respecte el total, els equips quedaran ordenats en forma descendent per cadascun dels tres conceptes. Els equips que apareguin en els tres grups seran motiu d'estudi prioritari igual que el que es consideri d'obligat compliment. Com ja s'ha comentat, en base als històrics d'avaries i d'intervencions es podrà ajustar un PMP eficaç i ajustat a la realitat.

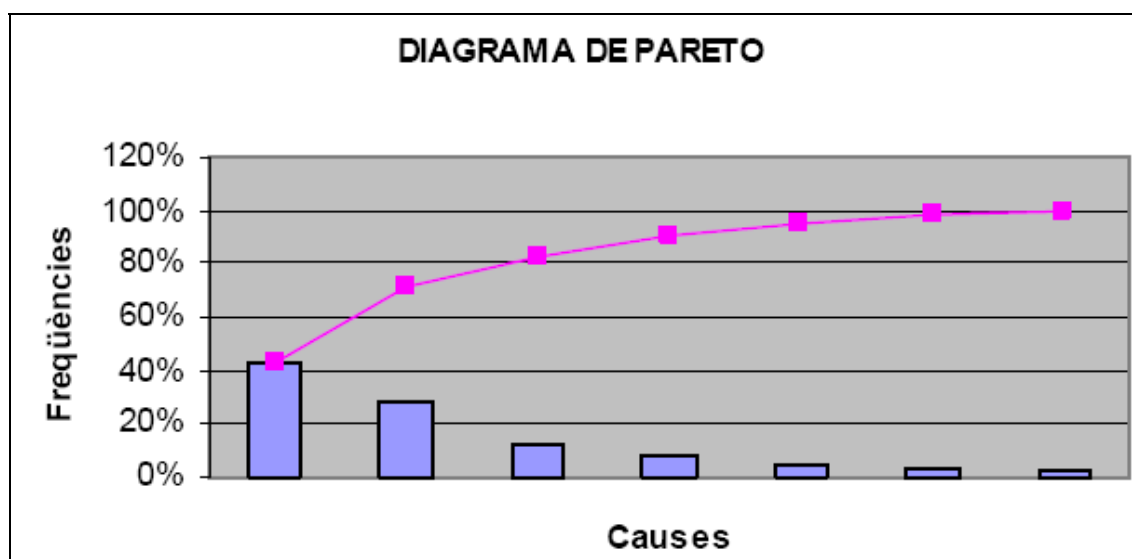


Figura 4: Diagrama de Pareto. En aquest exemple podem veure que les tres primeres causes acumulen més del 80% del problema, per tant la primera acció de millora recaurà sobre aquestes. Font: Lluís Ripoll, Apunts de manteniment industrial.

2.5.2.4 Manteniment predictiu

Aquest mètode, també anomenat manteniment basat en la condició (*condition-based maintenance*, o *condition monitoring*) corregeix els inconvenients del manteniment preventiu, canviant les substitucions periòdiques per inspeccions periòdiques en les que no es substitueixen peces, només s'analitza l'estat de la màquina mitjançant la mesura d'una sèrie de paràmetres objectius. Quan els paràmetres mesurats demostren la imminència d'una avaria, s'actua amb una operació correctiva que arregla la causa de l'avaría i repara o substitueix les peces malmeses o desgastades.

La mesura dels paràmetres es realitza sense necessitat d'aturar la màquina ni interrompre la producció. En alguns casos la mesura del valor d'aquests paràmetres es realitza de forma contínua, donant a lloc al manteniment predictiu *online* o continu; en altres la mesura es realitza amb una periodicitat definida. L'interval d'inspecció ha de fixar-se en un temps que permeti detectar variacions de l'estat de la màquina, en cas de que n'hi hagi, i corregir o substituir els elements necessaris abans de que es produeixi l'avaría.

Alguns dels paràmetres més usats com indicador de l'estat de la màquina o d'alguns dels seus components són el nivell de soroll, el nivell de vibració, el nivell de partícules metàl·liques en el lubricant, la temperatura, o altres paràmetres característics del funcionament de cada màquina en concret (cabal, pressió en el cas de bombes, intensitat o voltatge per a màquines elèctriques). De tots ells el nivell de vibració és el més utilitzat de

manera universal en el manteniment predictiu de maquinària, per ser un dels que permet detectar amb major fiabilitat un gran nombre d'avaries potencials.

El manteniment predictiu està especialment indicat en aquelles màquines en les que una avaria produeix un elevat risc per a la seguretat (grans màquines, màquines que treballen amb materials perillosos, vehicles de transport de persones, instal·lacions d'energia nuclear) o té un cost elevat, bé per la possibilitat d'avaría catastròfica de la màquina (màquines úniques, cares) bé per provocar una parada de producció (màquines crítiques en una línia de producció).

Els avantatges més destacats d'aquest tipus de manteniment són:

- Els períodes de vida de les peces poden esgotar-se al màxim, disminuint el nombre d'intervencions i evitant avaries inesperades.
- Es redueix la necessitat d'emmagatzemar peces, ja que les que s'hagin de substituir es poden adquirir amb la suficient antelació.
- La inspecció amb tècniques adequades permet detectar l'origen dels problemes de la màquina i no només els seus símptomes i, a més, sense necessitat d'aturar el seu funcionament.
- La informació històrica sobre l'evolució dels paràmetres permet un millor coneixement de les màquines, del seu funcionament i de les seves maneres d'avaría.
- Quan s'ha de realitzar l'operació, aquesta és més ràpida perquè s'ha detectat prèviament el punt en el que s'ha de treballar.
- Millora la seguretat de la planta al reduir-se la probabilitat de producció d'accidents a conseqüència d'avaries o errors imprevistos.

No obstant, la introducció d'aquest mètode de manteniment no està exempta d'inconvenients. Alguns d'ells són:

- La necessitat d'una major formació per part del personal en les diferents tècniques d'inspecció i en la interpretació dels valors dels paràmetres obtinguts, de manera que s'eviti l'aparició d'avaries o la realització d'aturades innecessàries a conseqüència d'una mala interpretació dels paràmetres.
- La inversió necessària en diferents equips de mesura i registre de paràmetres i en l'elaboració d'una base de dades adequada.

- La falta d'experiència sobre el valor dels paràmetres que indica un estat perillós de la màquina, especialment en les etapes inicials, amb els conseqüents dubtes sobre el moment en que la parada per reparació és obligada.
- El possible avorriment dels operaris per la presa de dades que normalment es van repetint, sense produir-se canvis en grans períodes de temps, abans de que aparegui una situació crítica.

Com s'ha vist, cada un dels quatre tipus de manteniment que s'han descrit tenen avantatges i inconvenients que el fan indicat o no en cada situació. La taula 1 ens mostra un resum de les seves característiques, indicant si cada aspecte avaluat és positiu (+) o negatiu (-).

	Manteniment davant d'avaría	Manteniment correctiu	Manteniment preventiu	Manteniment predictiu
Evita que es produeixi l'avaría	NO (-)	NO (-)	Sí (+)	Sí (+)
Corregeix la causa real de l'avaría	NO (-)	Sí (+)	Sí (+)	Sí (+)
Les operacions solen costar molt temps degut a la imprevisió	Sí (-)	Sí (-)	NO (+)	NO (+)
Les operacions poden ser innecessàries i poden ser causa de noves avaries	NO (+)	NO (+)	Sí (-)	NO (-)
Permet planificar el manteniment	NO (-)	NO (-)	Sí (+)	Sí (+)
Exigeix disposar d'un magatzem de recanvis	Sí (-)	Sí (-)	NO (+)	NO (+)
Permet esgotar la vida útil de les peces	Sí (+)	Sí (+)	NO (-)	Sí (+)
Requereix el coneixement de tècniques complexes	NO (+)	NO (+)	NO (+)	Sí (-)
Exigeix un important inversió en mitjans pel manteniment	NO (+)	NO (+)	NO (+)	Sí (-)
Contribueix a millorar la seguretat global de la planta	NO (-)	NO (-)	Sí (+)	Sí (+)

Taula 1: Diferències fonamentals entre els diferents tipus de manteniment. Font: Lluís Ripoll, Apunts de manteniment industrial.

2.5.3 Operacions de manteniment mecànic

En una primera classificació, les operacions de manteniment es poden distingir per seu objectiu. Excloent les operacions d'ampliació i reconstrucció de maquinària (que no són de manteniment pròpiament dit), existeixen operacions de correcció, llur objectiu és subsanar alguna deficiència en els elements i assemblatges que componen la màquina (geometria o massa inadequades, posició incorrecta, etc.) operacions de reparació d'elements danyats i operacions de substitució d'elements quan aquests estan massa danyats per a poder ser reparats.

Per altra banda, les operacions de manteniment també es poden distingir pel moment en què es realitzen amb relació al moment d'avaría. Així, existeixen operacions que es realitzen abans de l'avaría llur objectiu sol ser prevenir aquesta avaría i operacions que es realitzen després de l'avaría, llur objectiu sol ser reparar l'avaría (o la causa que l'ha originat) i tornar la màquina al seu estat de funcionament.

Tenint en compte aquestes consideracions, les operacions de manteniment mecànic es classifiquen habitualment en:

- *Operacions de manteniment de reparació darrera l'avaría.* Són operacions que es realitzen com a reacció davant l'avaría d'una màquina. Normalment aquestes operacions estan destinades a tornar a la màquina a les condicions de servei. Així, per exemple, quan falla un rodament les operacions de desmuntatge, substitució i muntatge d'un nou rodament són d'aquest tipus. El servei de manteniment serà més efectiu quant menor sigui el temps de posta en marxa en servei per sobre del nivell mínim de fiabilitat exigida.
- *Operacions de manteniment correctiu després de l'avaría.* Com les anteriors, aquestes operacions es duen a terme també després de l'avaría. No obstant, l'objectiu és la busca i reparació de la causa origen de fallada, que no necessàriament es troba en la peça que ha fallat. Per exemple, la fallada d'un rodament pot ser a causa d'una mala alineació dels eixos. Les operacions de manteniment correctiu són aquelles que busquen la causa de la fallada del rodament i corregeixen aquesta causa.
- *Operacions de manteniment preventiu.* Són operacions de substitució o correcció de components destinades a prevenir la fallada de la màquina. Existeixen dos tipus

d'operacions de manteniment preventiu: les planificades i les d'oportunitat. Les operacions planificades són operacions llur moment d'execució ha estat programat amb antelació i solen estar incloses en un programa de manteniment. La relubricació de diferents punts d'una màquina o la substitució periòdica del lubricant són clars exemples d'operació de manteniment preventiu planificat. Les operacions de manteniment preventiu d'oportunitat ocorren durant reparacions després d'una fallada o a interval fix, però sobre altres elements diferents dels que són l'objectiu principal de la reparació. És a dir, s'aprofita la conjuntura de la fallada o de la reparació a interval fix per a realitzar manteniment sobre altres peces. Els motius per a aquest tipus de manteniment són fonamentalment dos: substitució de peces amb mala accessibilitat però, que han quedat al descobert amb motiu de la reparació principal i aprofitament de l'aturada per la reparació per a substituir altres peces, en màquines que funcionen contínuament que tenen un alt cost d'aturada i indisponibilitat.

- *Operacions de manteniment predictiu a d'anàlisi de l'estat de la màquina.* Són operacions llur objectiu és estimar l'estat de funcionament de la màquina i la proximitat en el temps d'una possible fallada. Aquestes operacions solen estar destinades a mesurar un o varis paràmetres de la màquina i utilitzar la informació històrica per a avaluar la situació de la màquina i la seva evolució cap a una fallada potencial (és a dir, prevenir la fallada). Aquestes operacions es duen a terme periòdicament aconseguint realitzar un seguiment de l'estat de la màquina. Quan es preveu que la fallada és imminent, és necessari realitzar operacions de manteniment correctiu abans de que aquest es produeixi.
- *Operacions de manteniment correctiu basat en l'estat de la màquina.* Són operacions de correcció que es realitzen per a reparar deficiències que estan a punt de provocar una fallada en la màquina. Es realitzen, per tant, abans de la fallada i la necessitat de realitzar aquestes operacions sol estar indicada pels resultats de l'anàlisi de l'estat de la màquina (manteniment predictiu). Dins d'aquestes operacions de correcció de deficiències (alineació d'eixos, equilibrat de rotors, etc.) com les de reparació o substitució d'elements defectuosos (rodaments, corretges, cadenes, etc.)

2.5.4 Manteniment mecànic de màquines

El manteniment industrial involucra una gran quantitat d'especialitats des de la gestió de la producció industrial fins a l'energètica, passant per l'elèctrica, l'automàtica, etc. Una d'aquestes especialitats és la mecànica i el conjunt d'operacions de manteniment relacionades amb ella es coneix com a manteniment mecànic de màquines. Dins del manteniment mecànic s'engloben les accions destinades a la conservació i reparació de màquines i mecanismes, els seus elements i dispositius, tenint en compte la funció per a la que van ésser dissenyats.

El manteniment mecànic ha cobrat una gran importància des de la revolució industrial fins a l'actualitat degut al continu desenvolupament científic. Aquest desenvolupament ha comportat l'avanç de la tecnologia de l'equipament industrial, caracteritzant-se aquest últim per una major complexitat, sofisticació i velocitat. Conseqüentment, s'ha generat la necessitat de professionals destinats a la cada vegada més especialitzada tasca de conservació (manteniment) dels equips moderns industrials.

D'acord amb el grau de complexitat actual de les màquines i d'una forma generalista, l'enginyer de manteniment mecànic ha de tenir coneixements extensius en tres àrees fonamentals: maquinària, funcionament físic i instrumentació. Els coneixements sobre maquinària fan referència al disseny i construcció de màquines, procediments de reparació de les mateixes i tipologies de funcionament. Els coneixements de funcionament físic inclouen camps tècnics tals com estàtica, dinàmica, cinemàtica, mecànica de materials, dinàmica de fluid, transferència de calor, física, matemàtiques, etc. Finalment, els coneixements d'instrumentació estan vinculats als sistemes de mesura electrònics necessaris per a documentar i entendre el funcionament de la màquina.

La competència de l'enginyer de manteniment depèn de la combinació de coneixements i experiència. Els coneixements poden obtenir-se durant un llarg període de formació que inclou cursos impartits per centres privats, cursos en universitats, etc. No obstant, l'experiència només es pot adquirir enfrontant-se als problemes diaris de manteniment en una indústria.

Donat que no totes les màquines d'una indústria són igualment importants pel procés productiu, tampoc totes elles requereixen la mateixa atenció per part del grup de manteniment. En aquest sentit, les màquines de producció (i assistència a la producció) de qualsevol organització industrial poden ser classificades en tres categories fonamentals per a la realització de manteniment mecànic. Habitualment, el manteniment de les màquines dins de cada una d'aquestes categories és realitzat sota un únic programa, estratègia o

filosofia global per a tota la indústria. Tanmateix, els recursos destinats al seguiment estan en relació directa amb la crítica que és la màquina en el procés de producció.

- *Maquinària crítica.* Aquest primer segment inclou les màquines que són crítiques dins del procés productiu. En la majoria de casos, la planta industrial (o una part important d'ella) no pot funcionar si una d'aquestes màquines falla. Aquestes màquines són habitualment de gran envergadura i potència. Solen instal·lar-se en elles de forma permanent sistemes de mesura de vibracions, posició, temperatura i altres amb el fi de detectar qualsevol desviació del punt de funcionament òptim. La monitorització és permanentment realitzada per analitzadors amb dedicació exclusiva, incloent sistemes d'alerta quan la situació o condició de funcionament canvia.
- *Maquinària essencial.* Respecte a les màquines del segment anterior, aquestes màquines són habitualment de menor envergadura i menor potència. Solen ser màquines que assisteixen (mitjançant treball o servei) a la producció i es caracteritzen perquè, a pesar de que una unitat individual no és crítica, és possible que el conjunt format per dos o tres màquines sí sigui crític pel procés productiu. Tanmateix, tal agrupació permet que una d'aquestes màquines falli sense que per això es produeixi interrupció en la producció. Aquestes màquines habitualment estan monitoritzades en un grau de intensitat similar, encara que per sota del de les màquines crítiques.
- *Maquinària de propòsit general.* Dins d'aquesta categoria s'inclou la resta de màquines de la planta industrial. La funció que desenvolupen presenta una de dues característiques; o no és crítica pel procés productiu o està duplicada per l'existència d'altres màquines que poden desenvolupar-la. D'aquesta forma, la fallada en una d'aquestes màquines no és, en cap cas, crític pel procés productiu. Les màquines dins d'aquesta categoria solen estar dotades d'escassos sistemes permanents de mesura. L'equip és habitualment monitoritzat amb equips portàtils de mesura. En molts casos, les màquines més petites no estan subjectades a processos d'anàlisi i diagnosi detallats.

2.5.5 Fallada mecànica

S'entén per fallada d'una màquina qualsevol canvi en la mateixa que impedeixi que aquesta realitzi la funció per a la que va ser dissenyada. Dins d'aquesta definició hi entren un gran nombre de diferents tipologies de fallada. Aquestes estan classificades segons la causa que la va generar: fallada mecànica, fallada elèctrica, fallada en la instrumentació de mesura, fallada en els dispositius de control, etc.

Les causes de fallada d'una màquina són també nombroses i molt diverses. No solen ser les mateixes quan la fallada es produeix a l'inici de la vida útil de la màquina que quan es produeix al final de la seva vida útil. Així, les fallades poden classificar-se segons la probabilitat associada e l'edat de la màquina.

2.5.5.1 Classificació de fallada segons l'edat de la màquina

En funció de la probabilitat de que apareguin fallades i de la dependència d'aquesta probabilitat del moment al llarg de la vida útil de la màquina, aquestes fallades poden classificar-se en:

- *Fallades infantils.* Solen ser degudes a defectes de fabricació d'alguna de les peces o a algun muntatge incorrecte. La probabilitat d'aparició d'aquestes fallades decreix amb el temps, pel que són més probables a l'inici de la vida útil de la màquina o durant el període de rodatge inicial. En alguns casos, el rodatge és necessari perquè les peces amb moviment relatiu ajustin les seves geometries (l'ajust es produeix per desgast o deformació del material). Durant aquest rodatge, la falta d'ajustament pot produir vibracions que disminueixin la qualitat del producte fabricat, podent ser considerat un tipus de fallada funcional.
- *Fallades produïdes pel desgast i l'envelliment.* Aquestes fallades poden tenir diversos orígens. Alguns d'ells poden estar vinculats a errors durant la fabricació que donen lloc a un creixement progressiu de l'efecte (esquerdes, tractaments tèrmics incorrectes, fallades en les soldadures, acabats superficials defectuosos, inclusions de gas en la fosa). Altres poden ser a causa de variacions en les propietats del material per motius químics (corrosió) o tèrmics (dilatacions, contraccions, canvi de propietats). En altres casos el seu origen pot ser un inadequat disseny mecànic o un canvi en les característiques de les peces (desgast, fatiga, desequilibri) o un incorrecte muntatge (desalineació). Finalment, aquestes fallades poden ser

produïdes a causa d'un manteniment inexistent. Les fallades d'aquest tipus tenen una probabilitat d'aparició creixent exponencialment amb el temps, ja que solen tenir un caràcter acumulatiu.

- *Fallades aleatòries.* Les fallades aleatòries poden tenir orígens diversos i es produeixen a l'atzar, pel que la seva probabilitat d'aparició es manté constant durant tota la vida de la màquina.

La figura 5 representa de forma qualitativa la corba de probabilitat d'aparició de cada un d'aquests tipus de fallada (infantil, envelliment i aleatori) davant del temps de vida de la màquina. Es representa també la probabilitat total de fallada, obtinguda com a suma de les altres tres. A aquesta última corba se l'anomena habitualment, per la seva forma, corba de banyera.

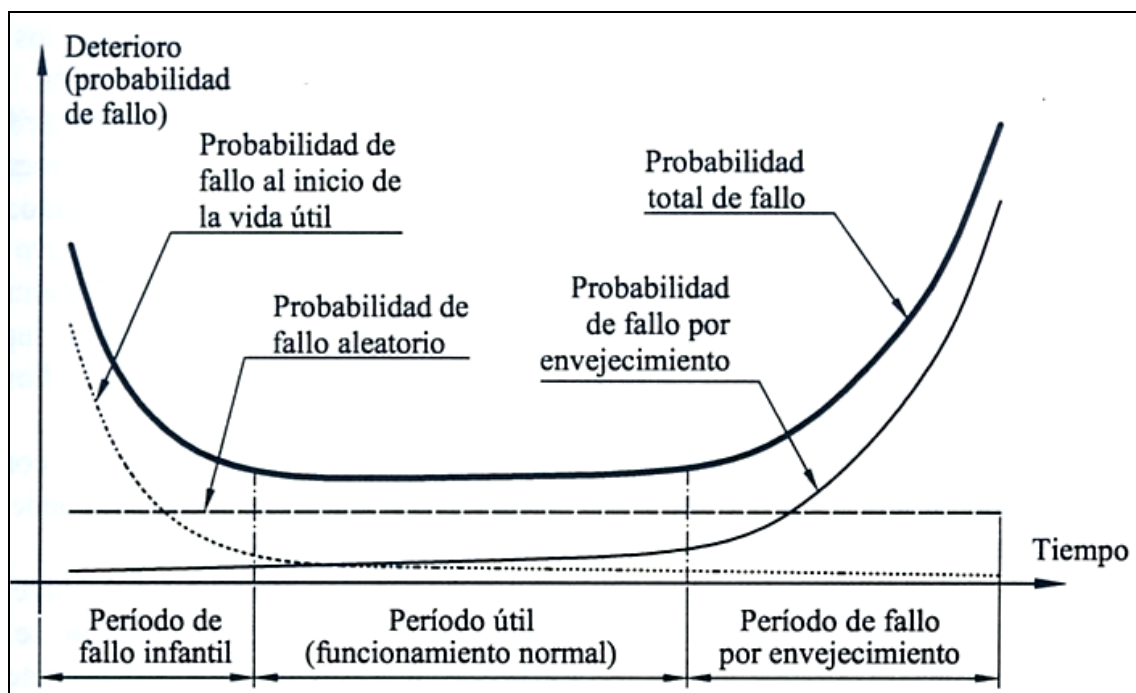


Figura 5: Corba de vida d'una màquina. Font bibliogràfica [5]

2.5.5.2 Classificació de les fallades mecàniques

Partint de la definició de fallada d'una màquina, la definició de fallada mecànica es pot deduir per reducció. Així, de forma estricta s'entén per fallada mecànica qualsevol canvi en la grandària, forma o propietats del material d'una estructura, màquina o part d'una màquina que impedeix que aquesta pugui realitzar la funció per a la que va ser dissenyada.

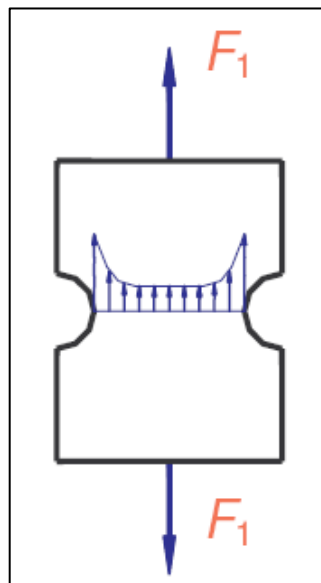
No obstant, en la pràctica, dins del concepte de fallada mecànica es solen incloure altres tipus de fallades causades per la fallada de sistemes vinculats al funcionament mecànic, tals com sistemes de lubricació, sistemes hidràulics, etc. Tenint en compte això, tota fallada mecànica està inclosa en una de les dues grans categories: fallada estructural i fallada funcional.

Fallada estructural

Apareix pel canvi de grandària, forma o propietats mecàniques d'una o varies parts de la màquina. El deteriorament pot produir-se a nivell superficial o en punts no superficials.

- *Fallada superficial:* Ocorre quan la superfície de la peça es deteriora. Pot estar causat per desgast degut a un contacte amb altres sòlids en el que existeix moviment relatiu, per oxidació o corrosió de materials metàl·lics, per fatiga superficial, etc. La fallada superficial canvia la geometria de la peça generalment creant o incrementant la folgança. Això provoca, en el millor dels casos, un decreixement de la precisió de treball de la màquina i, en el pitjor dels casos, una fallada no superficial (ruptura) degut a la reducció de la secció. Existeixen tècniques específiques per a evitar cadascuna de les causes que produeixen la fallada superficial. El desgast es pot evitar mitjançant tractaments d'enduriment superficial i amb un sistema de lubricació adequat. La corrosió i l'oxidació es poden evitar impedit que el metall viui en contacte amb aigua i àcids o que condueixi corrent elèctrica. Finalment, la fatiga superficial es pot combatre evitant que les tensions superficials de contacte siguin elevades, pel que es requereix que els radis de curvatura siguin amples.

- *Fallada no superficial:* Aquest tipus de fallada està associada generalment amb la ruptura completa (seccionada) del material. La fallada no superficial pot ser estàtica o per fatiga. La fallada estàtica es produeix per estar sotmetent al material a un nivell de tensió per sobre del seu límit de fluència. En tal cas el material es deforma fins a trencar-se (el grau de deformació depèn de si el material té un comportament dúctil o fràgil). En el cas de màquines, aquesta fallada es pot evitar amb un dimensionament adequat dels elements resistents i evitant l'aparició de sobrecàrregues en el funcionament



de la màquina. La fallada per fatiga també acaba amb la ruptura de la peça, però comença per l'aparició d'una esquerda es punts on existeix concentració de tensions, tal i com es pot observar a la figura 6.

Figura 6: La concentració de tensions apareix en les zones discontinües amb un radi pronunciat. Com més petit sigui el radi més concentració de tensions hi haurà.

Durant la major part de la vida de la peça, l'esquerda creix disminuint la secció resistent fins a un punt en el que aquesta secció es tan petita que no és capaç de resistir tots els esforços i aleshores la fallada finalitza amb una ruptura estàtica. La fallada per fatiga és afavorida per nombrosos factors: l'ús de diversos metalls, concentració de tensions, elevada rugositat superficial, temperatures elevades, etc. En conseqüència, per evitar aquest tipus de fallada el més important és dimensionar adequadament els elements resistents de la màquina evitant en el possible la concentració de tensions. També és interessant proporcionar un bon acabat superficial a les peces i evitar que aquestes estiguin sotmeses a temperatures excessives durant el funcionament.

Fallada funcional.

Apareix pel disfuncionament d'algun dels sistemes que eviten la fallada estructural o per algun tipus de sobrecàrrega. Així, les fallades funcionals (associades a la fallada mecànica) més comunes són:

- *Fallada en el sistema de lubricació.* Apareix quan la lubricació és inadequada en algun punt de la màquina. El seu efecte més comú és l'aparició de contacte metall-metall i el fregament, desgast i deteriorament superficial.
- *Fallada en els sistemes hidràulics o pneumàtics.* En certs casos, una fallada en aquests sistemes pot provocar una fallada estructural.
- *Fallada per sobrecàrrega tèrmica.* Ocurreix quan algun dels elements (fixos o mòbils) estructurals es veu sotmès a una temperatura elevada durant el funcionament. Aquest increment de temperatura provoca un decreixement notable en les propietats mecàniques del material, el que pot evitar derivar en una fallada estructural.
- *Fallada per sobrecàrrega.* Es diu que una màquina està funcionant en una situació de sobrecàrrega quan la càrrega resistent que aquesta ha de vèncer és superior a aquella per a la que va ser dissenyada. L'increment de càrrega resistent té com a conseqüència un increment de les forces internes dels elements estructurals de la màquina, podent arribar a superar les forces màximes per a les que aquests elements van ésser dimensionats. En tals casos pot aparèixer una fallada mecànica en les diferents tipologies que s'han exposat.

2.5.6 La lubricació dins del manteniment

2.5.6.1 Introducció

La lubricació constitueix una funció important dins del manteniment que suporta el procés productiu. Pràcticament tots els components mecànics de màquines que estan en moviment roden o patinen sobre altres superfícies. Si aquestes superfícies no estan adequadament lubricades poden desgastar-se amb rapidesa i consumir una gran quantitat d'energia pel moviment. En el funcionament d'equips, moltes deficiències de funcionament, excessos en costos de reparació i temps de parada són deguts a una lubricació inadequada.

Per altra banda, l'entorn industrial habitual conté silicats, òxids, llimadures de metall i altres materials abrasius que, si accedeixen a l'espai entre dues superfícies que contacten amb moviment relatiu, ocasionen ratllades i acceleren el desgast. La presència d'un sistema adequat de lubricació pot eliminar aquesta possibilitat, servint de barrera que s'oposa a l'entrada d'aquests elements i, en cas d'arribar a entrar, servint de vehicle d'eliminació.

Un programa de lubricació ben plantejat i correctament implementat està dissenyat per a col·locar la quantitat adequada del material adequat en el lloc adequat i en l'instant adequat, amb l'objectiu d'incrementar la vida útil dels components, reduir costos de manteniment i reduir costos d'energia d'accionament.

La utilització de lubricants en maquinària industrial pot tenir diferents i variats objectius. Les funcions més importants que s'atribueixen als lubricants són les següents:

2.5.6.2 Funcions dels lubricants en el manteniment

- *Reduir el fregament i l'energia d'accionament.* La inclusió d'un fluid lubricant redueix el coeficient de fricció de dues superfícies materials en contacte. Donat que la força de fregament s'oposa al moviment, la lubricació redueix aquesta oposició i amb això l'energia necessària per l'accionament. A més, al ser menors les forces d'oposició, les forces internes que han de suportar les diferents parts de la màquina també són menors, així s'incrementa la resistència dels components davant el fenomen de la fatiga.
- *Reduir el desgast.* Quan dues superfícies estan pressionades una contra l'altra i tenen un moviment relatiu, es produeix desgast degut a la rugositat superficial (que presenta pics i valls microscòpiques en forma de dents de serra de manera que els

d'una superfície s'incrusten en els de l'altra, essent arrancats durant el moviment). Quan el sistema està lubricat adequadament, les valls s'emplenen de lubricant, (figura 7), existent una pel·lícula que separa ambdues parts. Aquesta pel·lícula s'interposa entre ambdues superfícies, evitant el contacte entre materials i eliminant amb això la possibilitat de desgast.

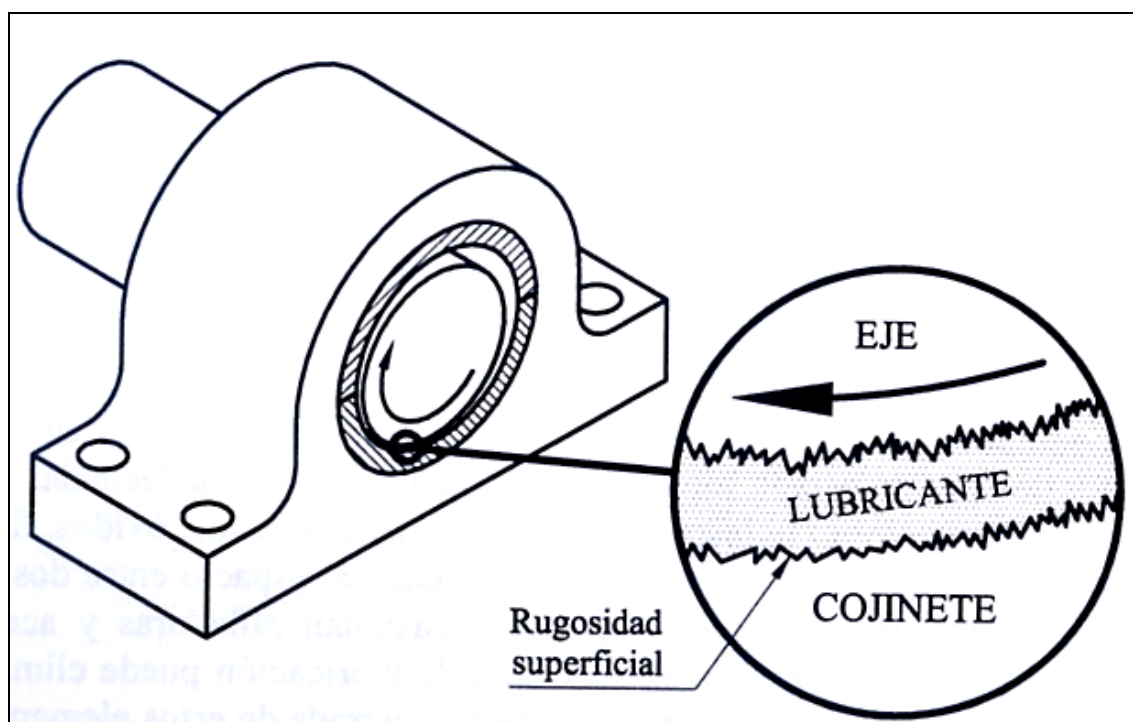


Figura 7: Ubicació del lubricant entre dues peces amb moviment relatiu. Font bibliogràfica [5]

- *Dissipar calor:* Una altra funció dels lubricants és absorbir calor i transferir-lo fora de les superfícies en contacte. No obstant, la capacitat de dissipació d'un sistema de lubricació és limitada i, amb freqüència, es necessita un altre sistema de refrigeració independent. En ocasions, és el propi lubricant el que es passa a través d'un intercanviador per al seu posterior refredament amb la finalitat d'incrementar la capacitat de dissipació del calor del sistema. En qualsevol cas, la temperatura del lubricant pot servir com indicador de la temperatura de funcionament de la màquina, i així, es pot utilitzar per a prevenir fallades llur símptoma és l'increment de temperatura.
- *Prevenir contra l'oxidació i la corrosió.* L'existència d'una pel·lícula de lubricant en la superfície dels metalls és d'especial importància per a evitar que aquests fenòmens es produeixin. Durant el funcionament, aquesta pel·lícula evita el contacte del metall

amb l'aigua, amb l'aire i amb possibles àcids, que són agents corrosius pels metalls purs. També durant l'emmagatzemat, molts elements mecànics (rodaments, engranatges, etc.) són coberts amb lubricant per evitar la seva oxidació. L'oxidació és un problema especialment important en indústries marítimes, de tractament de productes explosius, químiques i d'alimentació, entre altres. Aquestes indústries necessiten equips mecànics aptes per a treballar en ambients molt oxidants i utilitzen lubricants que incorporen additius que milloren la protecció.

- *Prevenir contra la contaminació i el dipòsit de partícules sòlides.* En molts casos, la lubricació impedeix l'entrada de partícules sòlides al contacte entre les superfícies. En altres casos, la lubricació recirculada serveix de cabal al que es verteixen totes les petites partícules generades durant el funcionament normal de la màquina. Aquest cabal de lubricant pot ser filtrat aconseguint l'aïllament i l'extracció d'aquestes partícules. D'aquesta forma s'aconsegueix prevenir les superfícies contra possibles ratllades que ocasionarien les partícules de material.
- *Amortir impactes.* El lubricant atrapat entre dues superfícies corbes que es comprimeixen una contra l'altra per les seves parts convexes (per exemple, les dents d'un engranatge) és gradualment comprimit a mesura que les superfícies s'acosten fins el contacte. Aquesta pressió disminueix progressivament a mesura que el lubricant és expulsat de la zona de contacte. Aquest fenomen incrementa la progressivitat del contacte i produeix l'amortiment de l'impacte. Així, per exemple, s'evita el soroll de les dents d'engranatge quan entren en contacte.
- *Amortir sorolls.* De manera associada a l'amortiment d'impactes, els lubricants en màquines prevenen contra la contaminació de l'ambient de treball per sorolls degut al funcionament més suau de tots els elements lubricats.
- *Transmetre potència.* Els sistemes hidràulics d'aplicació de forces es serveixen d'un fluid a pressió per a transmetre potència entre diferents punts. En l'actualitat aquest fluid és, en quasi tots els casos, un lubricant degut a que altres fluids comuns (com l'aigua) són corrosius o oxidants pels metalls del sistema. El lubricant no solament no és corrosiu sinó que, a més, conta amb les importants funcions bàsiques descrites anteriorment, el que ho fa especialment indicat.

2.5.6.3 Estats de lubricació

Es coneix com a estat de lubricació a cadascuna de les possibles situacions de dues superfícies en moviment relatiu quan existeix un lubricant entre elles. Encara que es pot trobar una variació contínua d'estats de lubricació, aquests estan classificats en sis categories que s'exposen a continuació.

Lubricació de pel·lícula gruixuda o de pel·lícula completa

És l'estat ideal en el que la pel·lícula de lubricant roman gruixuda en tot moment, prevenint el contacte entre les superfícies. Quan s'aconsegueix aquest tipus de lubricació, la importància de l'acabat superficial del material disminueix, pel que únicament és necessari que el material resisteixi les tensions provocades pel moviment relatiu i les forces de compressió.

Lubricació límit i escassa

Són estats en els que coexisteixen dos fenòmens: contacte superficial entre els sòlids i existència de pel·lícula de lubricant en les valls de rugositat superficial. En la lubricació límit, a pesar de l'existència de lubricant, l'efecte dinàmic de sustentació de la càrrega és nul i la càrrega és suportada íntegrament pel contacte metall-metall. Per altra banda, en la lubricació escassa existeix lubricant entre les superfícies però aquest no arriba a ser suficient per a separar completament les superfícies, existint contacte entre els pics majors de rugositat superficial. Això pertorba les condicions per a aconseguir un flux laminar de manera que només una part de la càrrega sigui suportada per les accions hidrodinàmiques, essent l'altra part suportada pel contacte metall-metall.

Els motius que poden portar a la pel·lícula de lubricant d'una situació de pel·lícula gruixuda a una situació escassa poden ser molt variats: superfície de contacte insuficient, disminució de la velocitat relativa entre les superfícies (possiblement durant l'arrencada i la parada de la màquina), disminució de la quantitat de lubricant que accedeix a la interfase, increment de la càrrega entre els sòlids en contacte, increment de la temperatura (disminució de la viscositat), etc.

En una màquina en funcionament, el canvi de lubricació de pel·lícula gruixuda a la lubricació límit no és de sobte ni instantani. Sempre ocorre primer un estat intermediari als dos. A partir d'aquí, depenent de l'evolució de les condicions de funcionament, el sistema tendirà a un o altre estat.

El problema fonamental de la lubricació límit és que, degut al contacte entre les superfícies, no realitza adequadament les funcions bàsiques de la lubricació. Per això, les superfícies acaben per sofrir el desgast i incrementar sensiblement la seva temperatura. Aquest augment pot provocar microsoldadures que, al continuar el moviment relatiu de les peces, produeixen successives arrancades microscòpiques de material, provocant un deteriorament molt accelerat de les superfícies. Tanmateix, algunes combinacions de metalls tenen coeficients de fregament molt baixos i són capaços de suportar càrregues considerables sense arribar a soldar-se. Altres solucions van en la línia d'utilització de lubricants sòlids (grafit, disulfur de molibdè, etc.)

Per altra banda, el funcionament d'un sistema en lubricació límit pot veure's afectat positivament per la inclusió de certs additius en el lubricant. Aquests additius prevenen contra un fregament excessiu proporcionant un lubricant de major resistència.

Lubricació hidrodinàmica

Correspon a un estat similar a l'estat de pel·lícula gruixuda. En ell, les pressions que produeix el moviment relatiu en la pel·lícula de lubricant de la interfase són suficients per a mantenir les superfícies separades, suportant la càrrega dels elements als que corresponen aquestes superfícies. En aquest estat, la forma i el moviment relatiu de les superfícies és l'únic que provoca la formació d'una pel·lícula de lubricant contínua amb la suficient pressió per a suportar les càrregues. Si el moviment cessa, la pel·lícula de lubricant s'interromp donant lloc al contacte directe entre les superfícies.

Lubricació parcialment hidrodinàmica.

És un estat de lubricació hidrodinàmica en el que les condicions de funcionament no són ideals i la pel·lícula de lubricant presenta un gruix intermig entre lubricació de pel·lícula gruixuda i lubricació escassa.

Lubricació hidrostàtica

Ocorreix quan el lubricant és injectat a pressió a la zona de contacte, suportant les càrregues i impeding el contacte entre les superfícies independentment que hi hagi moviment relatiu entre elles o no. Amb freqüència es dissenya una lubricació hidrostàtica en sistemes que generen una gran quantitat de calor (per exemple, en coixinets de fregament d'alta

velocitat) ja que el cabal sortint de lubricant és molt més gran (ja que la circulació és forçada) i el sistema serveix per a evacuar el calor que es genera degut a la fricció viscosa.

Lubricació elastohidrodinàmica

És l'estat que ocorre quan un lubricant és introduït entre superfícies que estan en contacte amb un moviment relatiu de rotació (tals com les boles d'un rodament i la pista sobre la que roden). Intuïtivament es pot pensar que el lubricant és forçat a sortir fora del contacte, apareixent el contacte directe entre metalls. No obstant, davant d'una gran pressió, la viscositat del lubricant creix enormement (decreixent quan cessa la pressió) i això impedeix l'expulsió completa del mateix. Així, el contacte entre les parts no arriba a succeir ja que encara roman una finíssima pel·lícula que ho impedeix.

2.5.6.4 Aplicacions dels lubricants

L'especialització creixent dels equips ha portat a la producció de lubricants específics per a aplicacions determinades. Així, aquests lubricants tenen les propietats ideals per a l'aplicació per a la que van ser dissenyades. A continuació es descriuen algunes d'aquestes aplicacions i els lubricants empleats en elles.

- *Lubricants hidràulics.* Són utilitzats per transmetre potència a través d'un sistema hidràulic. Existeixen tres classes principals: derivats del petroli, aquosos i sintètics. D'aquests, els derivats del petroli són els més utilitzats. La bomba és el component més crític del sistema hidràulic i, en l'elecció del lubricant s'han de seguir les recomanacions del fabricant de la mateixa. La utilització d'un lubricant amb molt baixa viscositat pot causar el lliscament de la bomba, un desgast excessiu i fugues internes o externes. Pel contrari, la utilització d'un lubricant d'alta viscositat pot resultar en una operació lenta, major fricció, excessiu consum de potència i possible cavitació. En general, les propietats recomanables per a un fluid hidràulic són: alt grau de refinament, additius contra el desgast, corrosió i oxidació inhibides, viscositat adequada segons la bomba i inhibició de la tendència a produir escuma.
- *Lubricants per a turbines.* S'utilitzen en sistemes de circulació per a lubricar i refredar coixinets (recolzaments) de turbines i generadors, així com coixinets d'empenta. Els lubricants de turbines estan contínuament exposats als efectes nocius del calor, aigua i desgast del metall. Aquestes condicions acceleren la degradació del lubricant

i provoquen en el sistema mecànic l'aparició de corrosió i els problemes derivats de l'existència d'escuma en el lubricant. Les propietats més recomanables per a aquest tipus de lubricants són: viscositat adequada, elevada estabilitat davant de l'oxidació, bona protecció contra corrosió i inhibició d'escuma. A més, els sistemes de lubricació han d'estar dissenyats amb una gran capacitat de refrigeració.

- *Lubricants per a engranatges.* La associació americana de fabricants d'engranatges (AGMA) és la referència més important en quan a normativa relativa a la classe de lubricant i el grau de viscositat que s'ha d'utilitzar en cada aplicació. Les seves normes estableixen el lubricant a utilitzar (i les seves propietats) en funció del tipus, grandària, velocitat i temperatura de l'engranatge, a més del mètode d'aplicació del lubricant. L'AGMA (Taula 2) té la seva pròpia classificació dels lubricants per a engranatges en funció de la viscositat (mesurada a 40°C). La selecció del lubricant adequat per a una determinada transmissió per engranatges és fonamental ja que condiona la seva durabilitat, funcionament, desgast, les pèrdues energètiques, etc. Els lubricants utilitzats específicament en engranatges es poden classificar en cinc grans categories, cadascuna de les quals té qualitats especials per a determinades aplicacions.

Nº AGMA de lubricant	Viscositat a 40°C (cSt)	
	1	41,4
2	61,2	74,8
3	90	110
4	135	165
5	198	242
6	288	352
7	414	506
8	612	748
8A	900	1100
9	1350	1650
10	2880	3520
11	4140	5060
12	6120	7480

Taula 2: Classificació AGMA de lubricants. Font bibliogràfica [7]

- Oli d'engranatges amb oxidació i corrosió (R&O) inhibides. Habitualment s'utilitzen en engranatges cilíndrics, helicoïdals i cònics que operen amb

càrregues lleugeres o moderades. Es recomana que quant major és la velocitat de l'aplicació, menor sigui la viscositat (ISO VG 65-150 per a alta velocitat, ISO VG 220-680 per a baixa velocitat). Aquests lubricants estan especialment recomanats en aplicacions en les que engranatges i coixinets estan lubricats pel mateix sistema.

- Oli d'engranatges de pressió extrema. Contenen additius per a pressió extrema que milloren l'adherència de la pel·lícula al material sobre el que actua i la capacitat de càrrega. S'utilitzen en engranatges hipoïdals, bis sens fins i, en general, quan les forces de contacte són elevades.
 - Olis compostos per a engranatges. Venen barrejats amb petites quantitats de grassa, que millora la capacitat d'impregnació i les propietats antifregament. S'utilitzen en engranatges en els que existeix un gran lliscament, com en cargols bis sense fi.
 - Olis sintètics per a engranatges. Tenen propietats millorades davant dels olis minerals, tal com major estabilitat i major vida útil, tenint bones característiques en rangs de temperatures majors. No obstant, també poden tenir inconvenients: incompatibilitat amb components del sistema, inestabilitat en presència d'humitat i pitjor poder de lubricació. La seva utilització respon sempre a exigències relacionades amb els seus avantatges.
 - Oli compostat d'engranatges exposats. Són productes residuals pesats i enganxosos que s'utilitzen fonamentalment en trens d'engranatges de la pel·lícula., l'adhesió i la capacitat de lubricació en presència d'aigua. S'utilitzen molt en aplicacions a l'aire lliure i poden venir barrejats amb un dissolvent per a facilitar l'aplicació (el dissolvent s'evapora, quedant el lubricant).
- *Lubricants per a compressors.* Les funcions principals d'un lubricant en un compressor són: minimitzar el desgast en engranatges i coixinets, eliminar calor de l'àrea de compressió i, en alguns casos segellar el sistema de compressió. A més, han de resistir l'oxidació a elevada pressió i temperatura i han de ser estables en presència d'aigua, pel que solen comptar amb additius. Els requisits del lubricant no només depenen del tipus de compressor, sinó també del tipus de gas que es comprimeix. Altres problemes relacionats a aquesta aplicació són l'increment substancial de superfície lubricant exposada (especialment en compressors dinàmics, és a dir, de rodets espirals, en els que el lubricant es polvoritza en l'àrea de compressió). En aquest tipus de màquines, l'oli és recollit, reacondicionant i reutilitzat una i altra vegada.

- *Lubricants de recirculació.* Són utilitzats en grans sistemes de circulació, que subministren oli net i sec des d'un dipòsit centralitzat fins als diferents punts de lubricació (coixinets, engranatges, etc.) La funció principal és reduir el desgast i eliminar calor i possibles contaminants (brutícia, aigua, productes derivats de l'oxidació, etc.), filtrat gruixut, filtrat fi i refredament. Els sistemes de circulació majors solen ser els corresponents a sistemes hidràulics, turbines de gas i vapor, maquinària per a la fabricació de paper i maquinària per a acereries.
- *Altres lubricants:* Existeix una gran diversitat de lubricants per a aplicacions menors i amb funcions específiques. Entre ells es poden trobar els següents:
 - *Lubricants refrigerats.* Solen estar barrejats amb líquids refrigerants i s'utilitzen en sistemes d'eliminació de calor. S'han elaborat alguns olis amb major barrejabilitat per assimilar el líquid refrigerant. La seva aplicació principal són els compressors.
 - *Lubricants d'eixos.* Són lubricants dissenyats per a coixinets d'alta velocitat que suporten eixos de màquines automàtiques ràpides. Requereixen una menor viscositat responent a una situació de major velocitat.
 - *Lubricants de cilindres de vapor.* Són olis barrejats amb grassa per a millorar la capacitat de lubricació i l'estabilitat del metall a altes temperatures en presència de vapor condensat. Solen ser injectats dins del cilindre per a una major difusió.
 - *Lubricants de cable trenat.* Són utilitzats per a proporcionar lubricació i protecció contra la corrosió del cable i per a reduir el fregament.

A la taula 3 podem veure cadascun dels tipus bàsics d'anàlisi de lubricants, la seva descripció i les aplicacions generals.

Anàlisi	Descripció	Aplicacions principals
Aigua per destil·lació	Determina el nivell d'aigua present en un lubricant	Inspecció de lubricants
Anàlisi per infrarojos	Determina el nivell de degradació d'un lubricant	Totes
Sofre	Determina la quantitat de sofre en un lubricant	Lubricants nous
Concentració d'ió clorhídric	Determina la quantitat de clor en el lubricant	Màquines amb possible contaminació per aigua salada
Conductivitat	Determina el grau de contaminació i canvis electroquímics en un lubricant mesurant variacions en la seva conductivitat	Totes
Contaminació sòlida	Determina el % en volum de contaminació en un lubricant	Motors Dièsel i caixes d'engranatges
Corrosió de coure	Determina si un lubricant es inherentment corrosiu pel coure i els seus aliatges.	Bombes que contenen elements de coure
Ferrogafia analítica	Determina la presència de partícules basades en ferro	Sistemes de recirculació de lubricants
Densitat per gravetat	Determina la densitat d'un lubricant	Verificació de lubricants
Insolubles	Determina el % en pes de matèria sòlida d'un lubricant	Lubricants de motors fonamentalment
Nombre d'àcid (TAN)	Determina la quantitat de material àcid en un lubricant	Combustibles amb sofre i equips en general
Nombre de base (TBN)	Determina la reserva alcalina (capacitat per a neutralitzar àcids corrosius)	Motors de combustió interna
Punt de combustió	Determina la temperatura en la que el lubricant es crema amb una flama permanent més de 5 segons	Seguretat en el transport, aplicacions d'alta temperatura
Punt de fluència	Determina la temperatura per sota de la que el lubricant deixa de fluir	Lubricants nous
Punt d'ignició	Determina la temperatura en la que el lubricant generarà una flamarada instantània	Seguretat en el transport, aplicacions d'alta temperatura
Test d'escuma	Determina la tendència d'un lubricant a produir escuma	Plantes industrials. Sistemes de transmissió de potència
Viscositat	Determina el grau de viscositat d'un lubricant a una determinada temperatura	Totes

Taula 3: Tipus bàsics d'anàlisi de lubricants

2.5.6.5 Sistemes de lubricació

Lubricació manual

La lubricació manual està necessàriament vinculada a elements mecànics que no requereixen una addició o renovació contínua de lubricant. Tanmateix, en aquests si es necessita que la quantitat i l'estat del lubricant siguin verificats periòdicament. Per aquest motiu, en una planta industrial que conti amb diverses màquines i instal·lacions, és necessari implementar un programa de lubricació adequat que permeti que el nou subministrament de lubricació arribi a cada màquina amb la periodicitat adequada. A més a més, quan s'instal·la una nova màquina, la implementació ha de repetir-se per a ella, de manera que quedi abarcada pel programa. A la figura 8 podem veure els avantatges i els inconvenients de la lubricació manual.

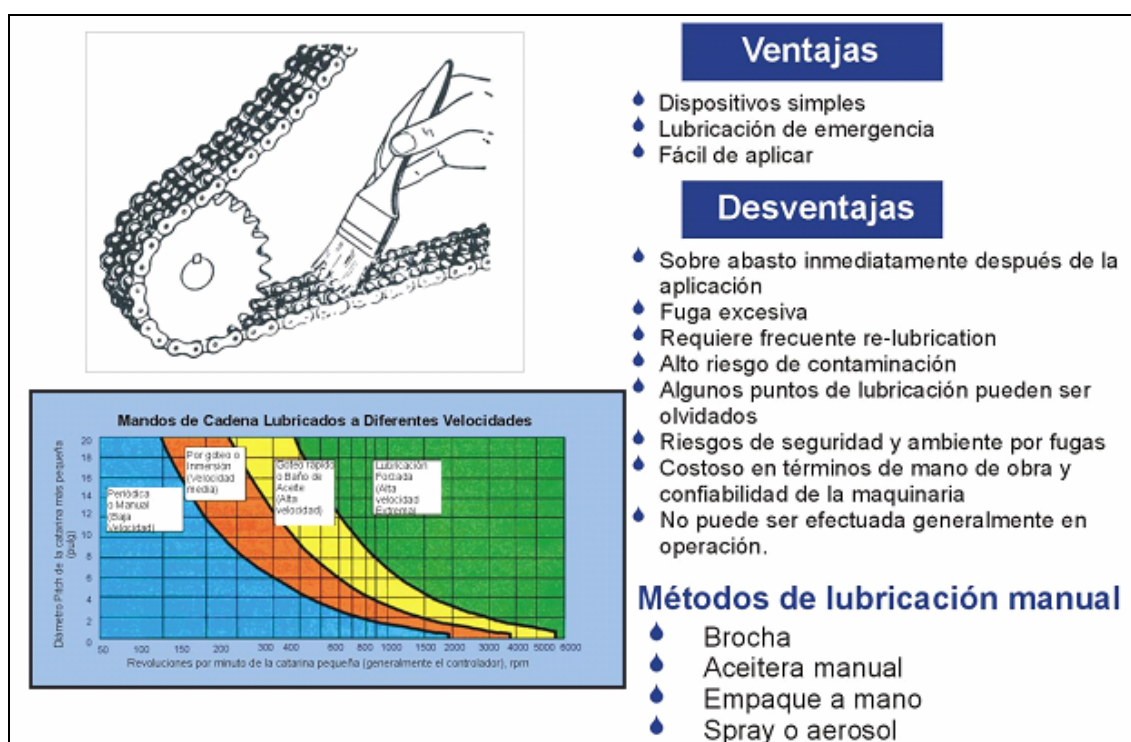


Figura 8: Avantatges i inconvenients de la lubricació manual. Font bibliogràfica [17]

L'adequat establiment d'un programa de lubricació requereix una inspecció preliminar de les màquines i una programació temporal i espacial de les tasques de lubricació. Per això es duen a terme els següents passos:

- Identificació de les màquines i, per a cada màquina, identificació dels punts en els que es requereixi lubricació. S'ha d'estudiar la possibilitat o necessitat d'incloure alguns d'aquests punts dins de sistemes de lubricació automàtica.
- Estudi de les recomanacions de lubricació fetes pel fabricant i la semblança dels elements lubricats amb altres pertanyents a altres màquines.

- Inspecció visual detallada amb la finalitat de localitzar problemes existents o potencials que provoquin que la lubricació sigui indeficient o impossible.
- Determinació del tipus de lubricant a utilitzar, considerant tota la informació recollida anteriorment.
- Estudi de les recomanacions relatives a freqüència de lubricació proporcionades pel fabricant.
- Anàlisi de les rutes de lubricació per a minimitzar l'espai recorregut per l'equip de lubricació i per a evitar la interferència amb les operacions de producció.
- Confecció d'un programa de lubricació en base a tota la informació recollida. Aquest programa ha de contenir tots els detalls relatius a dates en les que es realitzarà l'operació, treballador que realitza la funció, punt de lubricació, tipus de lubricant, quantitat a subministrar, mètode de lubricació (incloent utensilis), consideracions especials, etc.
- Confecció d'un sistema de recollida de la informació derivada de les tasques de lubricació, que posteriorment puguin ser informatitzades amb la finalitat de generar un arxiu d'incidències. Aquest arxiu permetria en el futur depurar el programa de lubricació eliminant els problemes que puguin aparèixer.

Posteriorment, una vegada que el programa de lubricació estigui en funcionament, s'ha de realitzar un anàlisi periòdic del mateix amb la finalitat de corregir insuficiències i proposar millores fins a arribar a una situació de màxima qualitat.

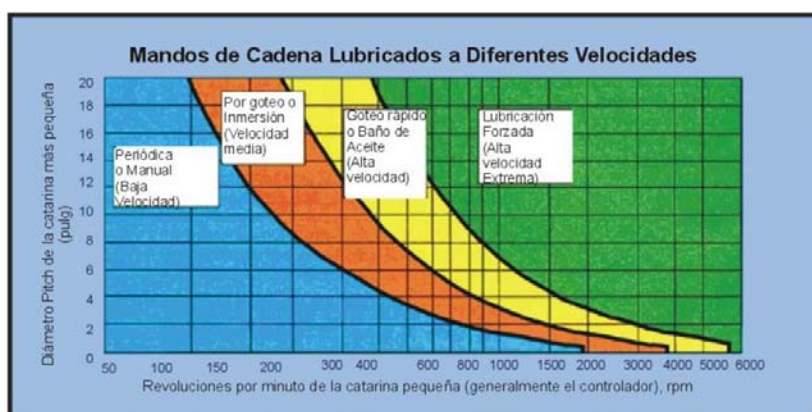


Figura 9: Nivell a la que s'ha de lubricar una cadena dependent del diàmetre de la catarina i de les rpm. Font bibliogràfica [17]

Avantatges i inconvenients de la lubricació manual:

- Sense menysprear la simplicitat del disseny i el baix cost, aquesta tècnica generalment proveu una pobre qualitat de lubricació.
- La tècnica utilitza una quantitat molt alta de mà d'obra. Un sistema automàtic de lubricació sofisticat pot costar més inicialment, però generalment tindrà una ràpida recuperació de la inversió. De la mateixa manera, la modificació del disseny d'una màquina existent per a canviar la lubricació manual per a una d'automatitzada proporcionarà generalment un ràpid retorn de la inversió gràcies sobretot a la disminució de la mà d'obra.
- La lubricació manual envia una gran quantitat de lubricant al terra, el qual es impopular amb l'enginyer de medi ambient (sense anomenar a les agències governamentals)
- Aquesta tècnica crea diversos riscos de seguretat. Primer, degut a la gran quantitat de lubricant que cau al pis, crea riscos de patinades. Segon, obliga a la gent a posar les seves mans en la maquinària que algunes vegades està en moviment, el qual afecta a la producció i algunes parts de la màquina podrien quedar inaccessibles. A més, el tècnic de lubricació tindrà lubricant a les seves mans, braços i altres parts del cos, el qual pot produir dermatitis i altres problemes de la pell.

Sistemes automàtics de lubricació

Els sistemes automàtics de lubricació estan sempre associats a màquines en les que la falta de lubricant crea una situació crítica que pot derivar en la ruptura dels components, parades de producció, disminució de la vida, pèrdua de precisió (qualitat) en la fabricació, etc. Però fins i tot en les situacions en les que es pot optar per un sistema de lubricació automàtic o manual, els primers presenten diversos avantatges tal com la reducció de la dedicació d'homes a les tasques de lubricació, un millor control del lubricant, major fiabilitat en el funcionament (ja que no depèn de l'actuació de l'home), reducció de la quantitat de lubricant consumit, etc. En contrapartida, els sistemes automàtics es caracteritzen per ser més cars i, quan estan centralitzats, per fer més rígides les instal·lacions de les màquines.

Dins dels sistemes automàtics es poden distingir dues categories: centralitzats i no centralitzats. Els sistemes no centralitzats són independents i subministren lubricants en un punt atenent a un criteri (de manera constant, depenent de la pressió, etc.) Generalment, aquests sistemes estan constituïts per cilindres que subministren el lubricant per l'acció d'un pistó que és mogut per un de varis sistemes (ressort, gas a pressió generat químicament, etc.) La vida dels sistemes no centralitzats (Figura 10) és limitada, pel que el seu emplenat ha d'estar inclòs en el programa de lubricació.

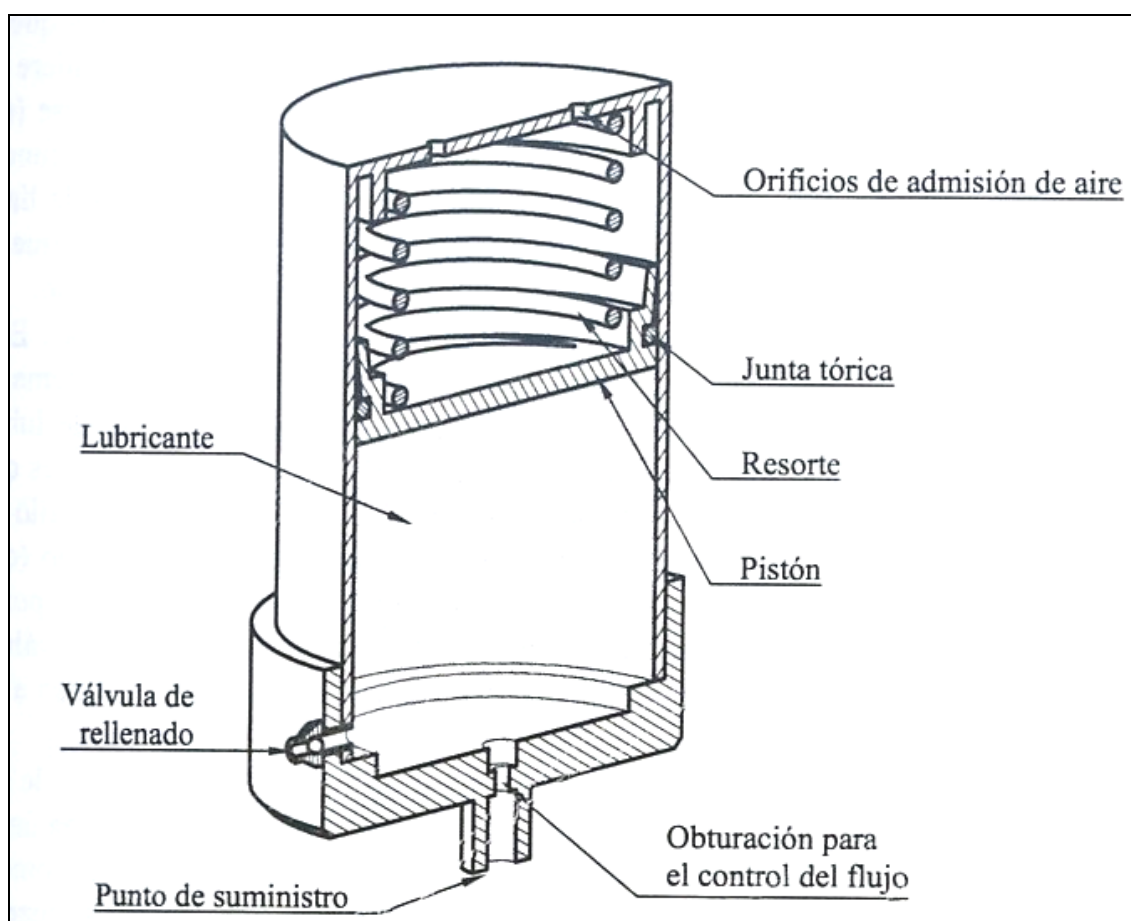


Figura 10: Cilindre per a subministrament automàtic (no centralitzat del lubricant). Font bibliogràfica [5]

Per altra banda, els sistemes centralitzats subministren lubricant a diversos punts (fins i tot a diverses màquines) i el seu ús resulta convenient per als seus molts avantatges: proporcionen major seguretat laboral, la lubricació és més eficient, milloren la productivitat, redueixen costos de producció i milloren l'estat general de neteja de la planta. Dins d'aquests, existeix una gran diversitat de sistemes. A continuació es mostren alguns d'ells:

- *Sistema de barreja d'oli.* Consisteix en la injecció d'oli gota a gota dins d'un corrent d'aire a baixa pressió fent circular la quantitat d'oli suficient per a impregnar les superfícies d'operació, tal i com es pot observar a la figura 11. És un sistema que s'utilitza àmpliament quan es necessita un servei ràpid i de precisió.

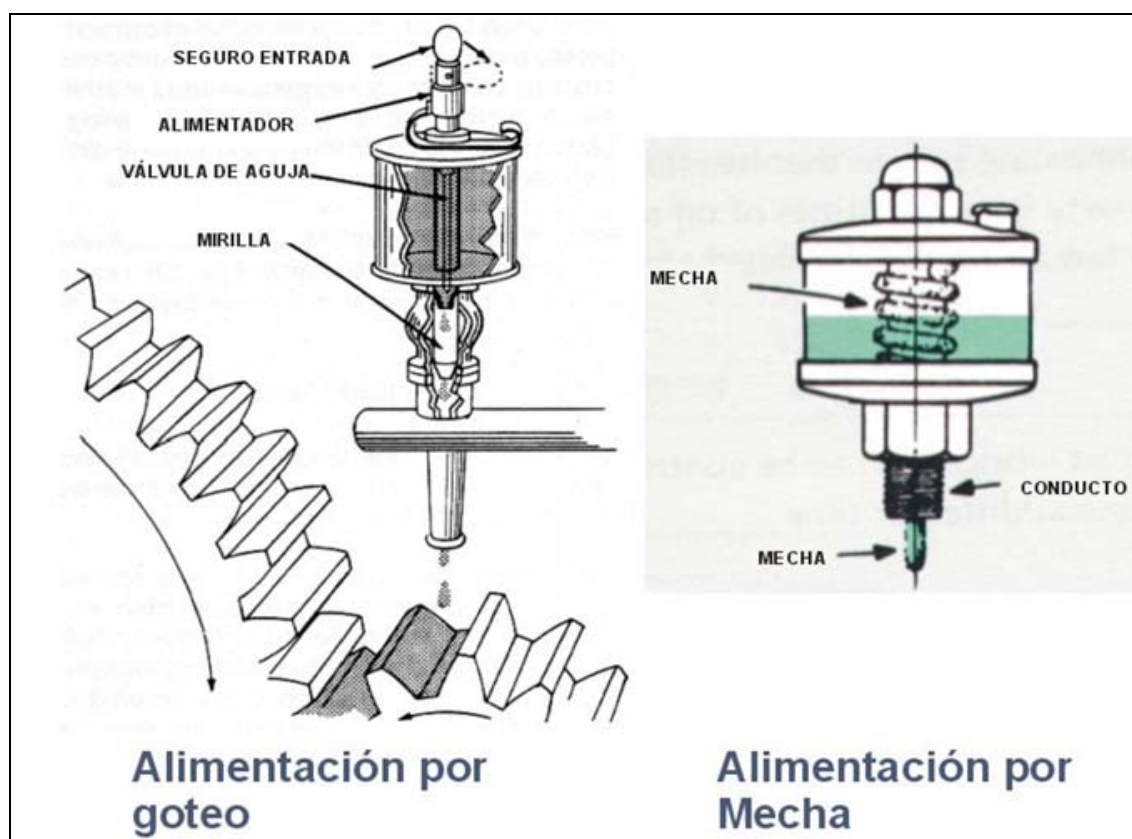


Figura 11: Sistema de lubricació automàtic de barreja d'oli amb el sistema gota a gota (esquerra) i el sistema d'alimentació per mecha (esquerra). Font bibliogràfica [17]

- *Sistema de control d'obertura.* Són sistemes habitualment econòmics i fàcils d'instal·lar. Modifiquen l'obertura d'un orifici per a controlar la quantitat de lubricant que arriba al punt desitjat. L'orifici compta habitualment amb una vàlvula que assegura la pressió del circuit. Aquest tipus de sistemes no presenten un funcionament adequat amb lubricants de baixa viscositat, especialment si existeix possibilitat de canvis de temperatura.
- *Sistema d'injecció.* Pot ser utilitzat amb olis i grasses lleugeres. Funciona mitjançant un línia lleugerament pressuritzada de manera que el lubricant pugui ser injectat en coixinets i engranatges. El sistema necessita una vàlvula de descàrrega amb la finalitat de que els injectors puguin tancar-se (sense risc pel circuit) fins un nou cicle de lubricació. El problema fonamental és que, al ser un sistema centralitzat, la ruptura d'una branca de la línia ocasiona la fallada de tot el sistema. Pel contrari, té els avantatges de que es poden afegir fàcilment noves branques amb nous punts de lubricació.

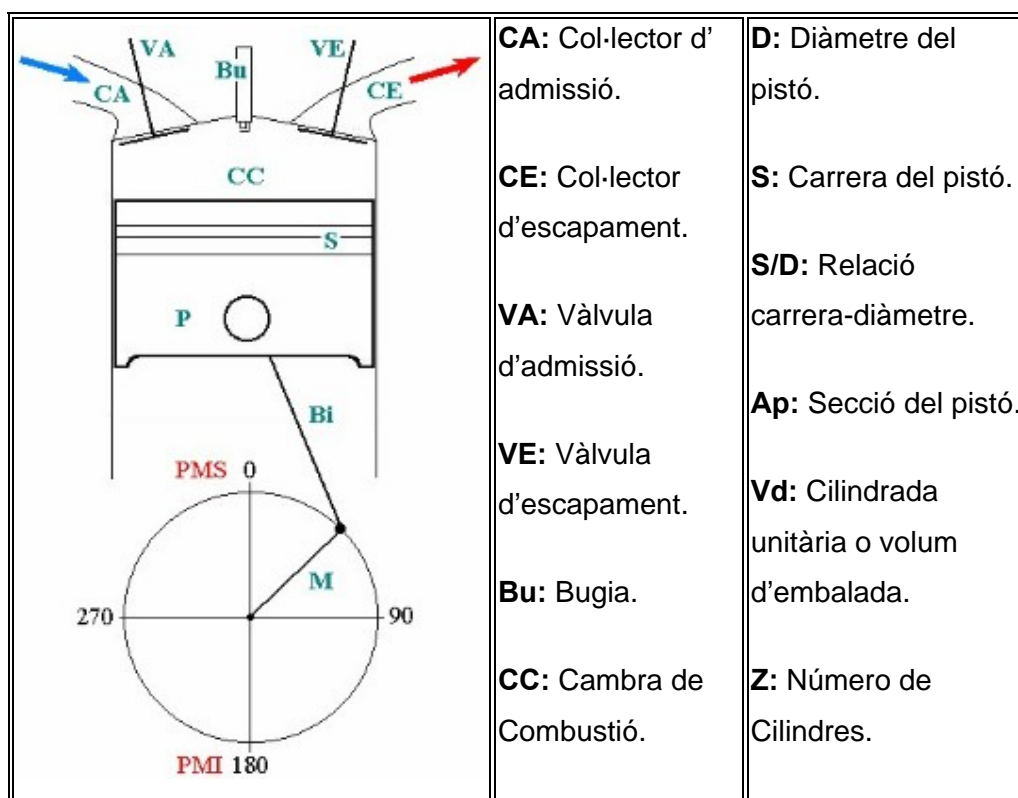
- *Sistema de sèries progressives.* Pot ser utilitzat amb olis i grasses. Aquest sistema, basat en subministrament per desplaçament positiu, utilitza un sistema de vàlvules per abastar cada punt amb una predeterminada quantitat de lubricant abans de lubricar el següent punt. La característica fonamental és que quan una línia queda clavada, el sistema es bloqueja. Per tant, la fallada d'una línia pot ser fàcilment detectada mitjançant un indicador de cicle (que detecta la finalització del cicle de lubricació). La inclusió d'un nou punt de lubricació no és senzilla i es necessita una modificació del sistema de vàlvules. A més, és un sistema més car que altres, quedant relegat el seu ús a un requeriment dels seus avantatges.
- *Sistema de línies bessones.* Aquest sistema es basa en dues línies paral·leles de subministrament de lubricant, cadascuna d'elles amb els seus propis injectors, i una única bomba. La bomba subministra lubricant només a una línia en cada moment, de manera que en cada cicle de lubricació uns injectors s'obren quan els altres estan tancats i viceversa. Constitueix una alternativa al sistema de sèries progressives, tenint un millor comportament davant la presència de contaminants. Com a principal inconvenient, no permet una detecció tan fàcil dels injectors obstruïts. A més, la instal·lació de dues línies suposa un increment del cost.
- *Sistema bomba a punt.* És un senzill sistema indicat per màquines amb pocs punts de lubricació. Consisteix en un motor elèctric que, mitjançant un sistema de lleva excèntrica, acciona petites bombes individuals de les quals surt un conducte fins a un únic punt de lubricació. Depenent de la longitud de la lleva, es poden instal·lar successivament més o menys bombes de subministrament. L'inconvenient d'aquest sistema és que no proporciona informació alguna sobre possibles obturacions o fallades del mateix.
- *Altres.* Existeixen altres sistemes automàtics centralitzats, a més dels exposats. Alguns són una combinació dels anteriors, mentre que d'altres de més avançats utilitzen sensors electromecànics per a determinar les condicions en les que s'ha de subministrar el lubricant.

2.5.7 Manteniment sistemàtic de motors de combustió interna alternatius

En aquest apartat es farà un anàlisi d'aquells elements del motor que són susceptibles de manteniment sistemàtic. Es ressenyaran els criteris i els intervals de canvi recomanats. Cal senyalar que els valors de freqüència de realització de les operacions de verificació, canvi, ajustaments, etc., són únicament orientatius i la seva elecció particular dependrà del fabricant, així com de les condicions de funcionament i manteniment del motor. A la taula 4 podem observar un esquema de com es distribueixen els elements del pistó i del cilindre.

Per a seguir una metodologia semblant en tots els capítols, es tractarà el manteniment sistemàtic per sistemes amb l'ordre següent:

- Sistema d'alimentació de combustible MEP
- Encès
- Injecció en MEC
- Admissió
- Cadena cinemàtica i distribució
- Refrigeració
- Lubricació



	<p>S: Segments.</p> <p>P: Pistó.</p> <p>Bi: Biela.</p> <p>M: Manivela.</p>	<p>Vt: Cilindrada Total.</p> <p>Vc: Volum de la cambra de combustió.</p> <p>Rc: Relació de Compressió.</p> <p>n: Règim de Gir.</p> <p>Cm: Velocitat mitjana del pistó.</p>
--	--	---

$A_p = \frac{\pi D^2}{4}$	$V_d = A_p \cdot S$	$V_t = z \cdot V_d$	$R_c = \frac{V_d \cdot V_c}{V_c}$	$C_m = 2 S \cdot n$
---------------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------------	---------------------

Taula 4: Paràmetres geomètrics dels motors de combustió interna. Font bibliogràfica [6]

2.5.7.1 Sistemes d'alimentació de combustibles en MEP

Els MEP són els motors d'encès provocat. Són motors de quatre temps de gasolina encara que també poden funcionar amb altres combustibles: Alcohol, butà, hidrogen, etc.

Des del punt de vista termodinàmic, en el funcionament dels motors d'encesa amb guspira s'utilitza un cicle termodinàmic teòric anomenat OTTO, el qual podem veure cada etapa en la figura 12. Bàsicament, el MEP es basa en un mecanisme cilindre-pistó que provoca un moviment alternatiu. En la part superior del cilindre on es troben les vàlvules en nombre de dos, tres, quatre (comunament conegudes com 16V sempre que tingui 4 cilindres) i fins i tot cinc, i les bugies en nombre d'una encara que de vegades dues (ex: Alfa Romeo Twin Spark). En aquest tipus de motors en cada temps el cigonyal dona mitja volta.

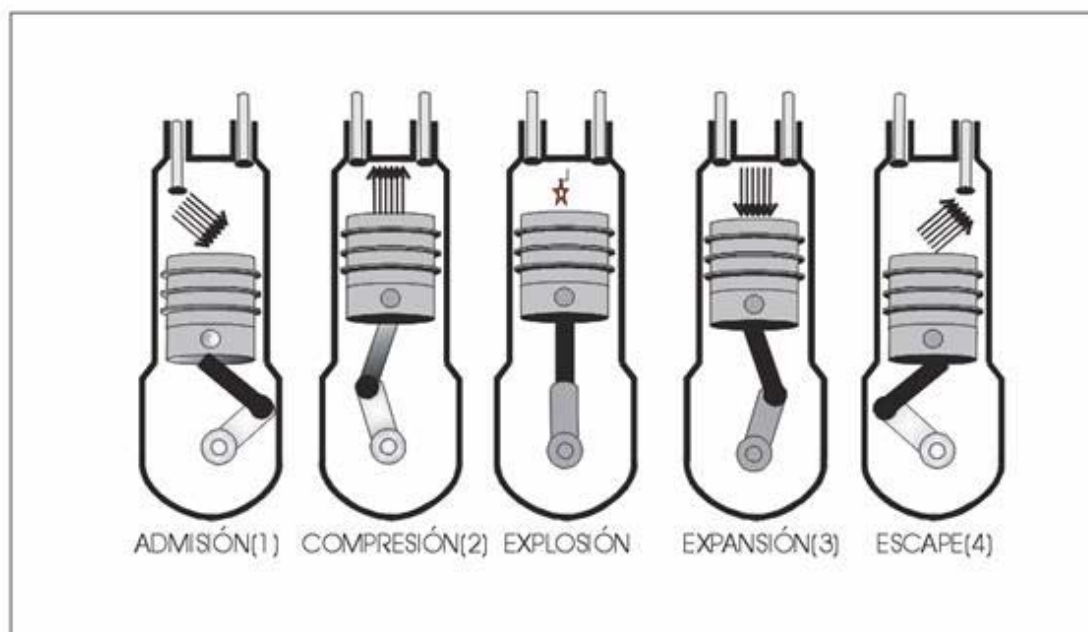


Figura 12: Cicle del motor OTTO de quatre temps. Font bibliogràfica [5]

En la figura 5.12 podem veure el cicle complet dels motors Otto de quatre temps que descriurem a continuació:

- 1 – Cursa d'admissió: El cilindre descendeix des del PMS (punt mort superior) al punt PMI (punt mort inferior) i s'obre la vàlvula d'admissió deixant entrar una mescla aire-combustible.
- 2 – Cursa de compressió: el cilindre comença a pujar del PMI al PMS comprimint la mescla d'aire-combustible.
- 3 – Tercer temps o expansió: La guspira de la bugia inflama la mescla, i per la pressió dels gasos de la combustió el pistó és obligat a desplaçar-se fins el PMI efectuant la seva tercera cursa, que serà l'única útil o de treball mecànic (aquest es guarda en forma d'energia mecànica en el volant d'inèrcia).
- 4 – Quart temps o escapament: de nou comença el pistó a pujar obrint-se la vàlvula d'escapament i tancant-se quan el pistó arriba a dalt i s'inicia un nou cicle.

El sistema d'alimentació de combustible en els MEP amb carburador (Figura 13) té com a únic manteniment el reglatge del mateix. Aquest reglatge es realitza per mitjà dels cargols del ralenti i de topall de papallona, representats en la figura següent:

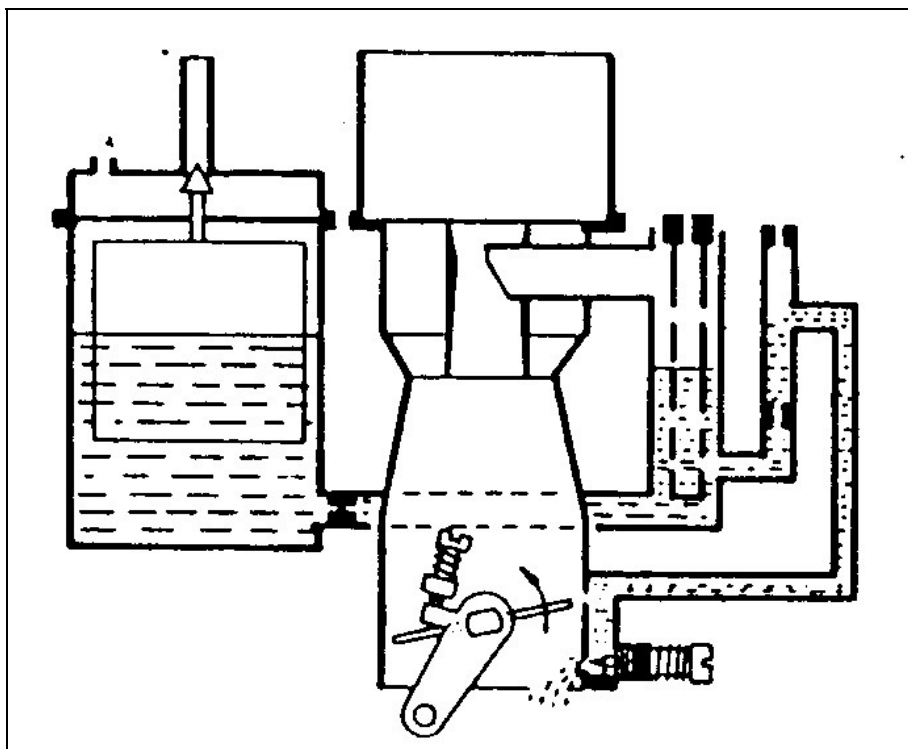


Figura 13: Esquema d'un carburador amb els cargols de calibració. Font bibliogràfica [5]

En general s'aconsella que es realitzi la comprovació del règim del ralenti, la mescla de combustible al ralenti i l'ajustament de la carburació cada 20.000 km, si bé és una operació pròpia del manteniment predictiu basada principalment en el monitoritzat del funcionament del motor mitjançant el control de l'emissió de monòxid de carboni. En els MEP d'injecció s'aconsella el canvi del filtre de combustible cada 40.000 km.

A continuació es mostra una petita taula comparativa entre els MEC i els MEP:

CARACTERÍSTICA	MEP	MEC
Formació de la mescla	Durant l'admissió	Final de la compressió
Encesa de la mescla	Provocat per una guspira elèctrica	Autoinflamació del combustible
Regulació de la càrrega	Quantitativa	Qualitativa
Combustible	Gasolina, GLP, GN, Etanol, Biogàs	Gasoil, Fueloil, Biocombustibles
Fluid operant en el procés d'admissió	Aire + Combustible	Aire
Relació de compressió	8 a 11	12 a 23
Velocitat mitjana del pistó (m/s)	8 a 16 turismes	9 a 13 automoció

	15 a 23 esportius	6 a 11 estacionaris
Règim de gir màxim (rpm)	5500 a 8000 automoció 12000 competició	4000 a 5000 automoció 500 a 1500 estacionaris 70 a 200 lents de 2T

Taula 5: Taula comparativa entre els MEC i els MEP. Font bibliogràfica [5]

2.5.7.2 Encesa

Les operacions de manteniment que necessiten el sistema d'encesa són: la verificació i ajustament de ruptors o platines, el canvi de bugies i la cura de la bateria. Els encesos electrònics només precisen del canvi de bugies i de la cura de la bateria.

Les platines sofreixen un considerable desgast degut a la corrent d'elevada intensitat que circula per ells i per tant el temps d'obertura del circuit secundari varia, tenint que ser revisat amb una periodicitat que varia al voltant dels 10000km o com a mínim una vegada a l'any.

Les bugies, degut a les condicions extremes de pressió i temperatura a les que estan sotmeses, es recomana que es canviïn cada 20000 o 30000 km.

Per la bateria, en turismes s'aconsella la comprovació mensual del nivell d'aigua destil·lada i la reposició en cas necessari. En vehicles industrials aquesta operació es realitzarà cada 20000km. Les últimes generacions de bateries necessiten un manteniment mínim i algunes no precisen cap tipus de cura.

La corretja de l'alternador haurà de ser verificada i ajustada si és necessari cada 30000km amb la finalitat d'obtenir la càrrega òptima de la bateria. De la mateixa manera, les politges poden necessitar un engreix sistemàtic amb el període que marqui el fabricant.

2.5.7.3 Injecció en MEC

Els MEC són els motors d'encesa per compressió de quatre temps (MEC-4T). Són els motors que utilitzen com a combustible el gas-oil i s'ajusten al cicle termodinàmic que es descriu com a cicle Dièsel.

El rendiment del cicle Otto que serveix de base al funcionament dels motors d'explosió ve limitat per la relació de compressió a la qual es produeix l'autoignició; no obstant, si es comprimeix només aire i després de la compressió s'introdueix un combustible adequat, es poden obtenir rendiments més alts. A la figura 14 es poden veure cadascuna de

les etapes del cicle Otto. Aquest és el fonament dels motors Dièsel, en els que si la compressió és elevada es produeix una auto ignició, directament en la cambra de combustió progressiva. Aquesta auto ignició pot produir-se en la cambra de combustió (injecció directa, ex: VW Passat TDI) ó en una precambra (injecció indirecta). Sintetitzant les diferències:

- El combustible s'injecta i és gas-oil.
- Per la vàlvula d'admissió només entra aire (per això és més fàcil posar turbo que en els motors de gasolina)
- El combustible s'autoinflama.

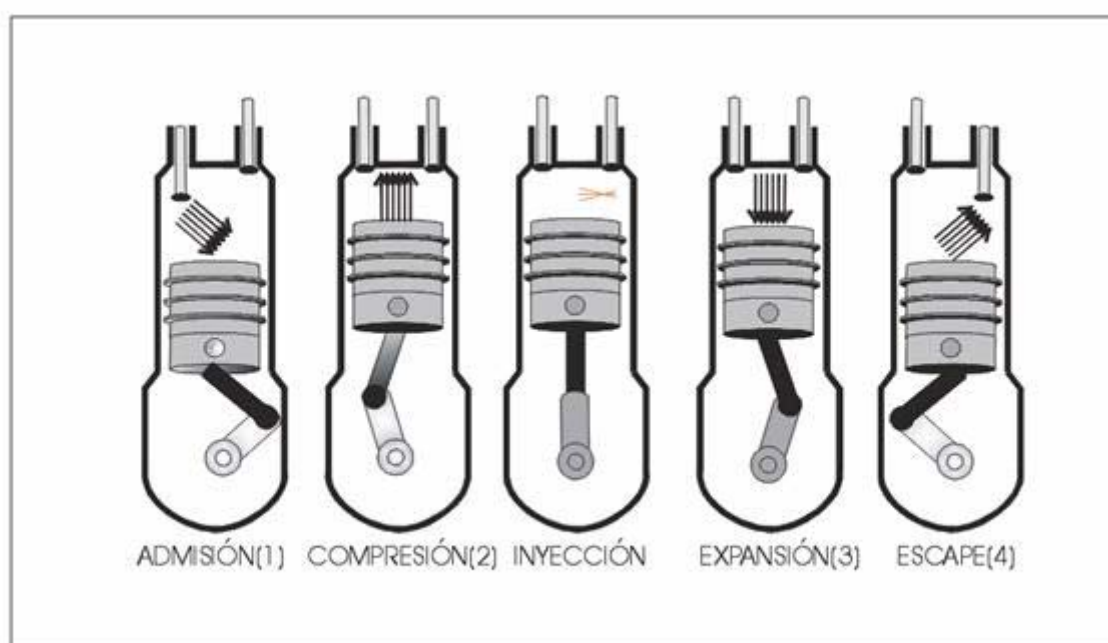


Figura 14: Cicle del motor Dièsel de quatre temps. Font bibliogràfica [5]

En el circuit d'injecció de MEC els elements susceptibles de manteniment periòdic són els injectors, la bomba i els filtres primari i principal de combustible.

Els injectors es van embrutint i desalineant amb el temps, essent necessària la seva calibració periòdica. La freqüència d'aquesta operació és, per a vehicles industrials lleugers, al voltant dels 25000km; per a vehicles industrials mitjans i pesats cada 120000km o anualment i per a vehicles de transport urbà de 40000 a 80000 km segons fabricants. També en aquest cas, el monitoritzat de símptomes com la potència, consum de combustible, emissió de fums, contaminació de l'oli, etc., pot orientar sobre el moment òptim d'efectuar aquesta operació.

La bomba d'injecció de vehicles industrials ha de ser periòdicament revisada i ajustada. El període aproximat de revisió és de 120000km o un any. La bomba es desmunta i s'instal·la en un banc de proves, es verifiquen les folgances, s'ajusten els cabals establerts, es calibra el regulador i es verifica convenientment el calat. Les bombes més modernes han reduït el manteniment sistemàtic de les mateixes al mínim, fent més interessant el manteniment purament predictiu. Alguns fabricants com Bosch aconsellen la revisió als 500000km.

El filtre primari de combustible (Figura 15) reté l'aigua que aquest pugui contenir, essent necessari purgar-lo amb una periodicitat de 7500km per a turismes i de 10000 a 20000km per a vehicles industrials. Els seu canvi, tal i com es pot observar a la taula 6, es recomana cada 15000 a 20000km. El canvi dels elements filtrants del filtre principal de combustibles es recomana als 20000 o 25000 km. Ambdós operacions són típiques de manteniment sistemàtic.

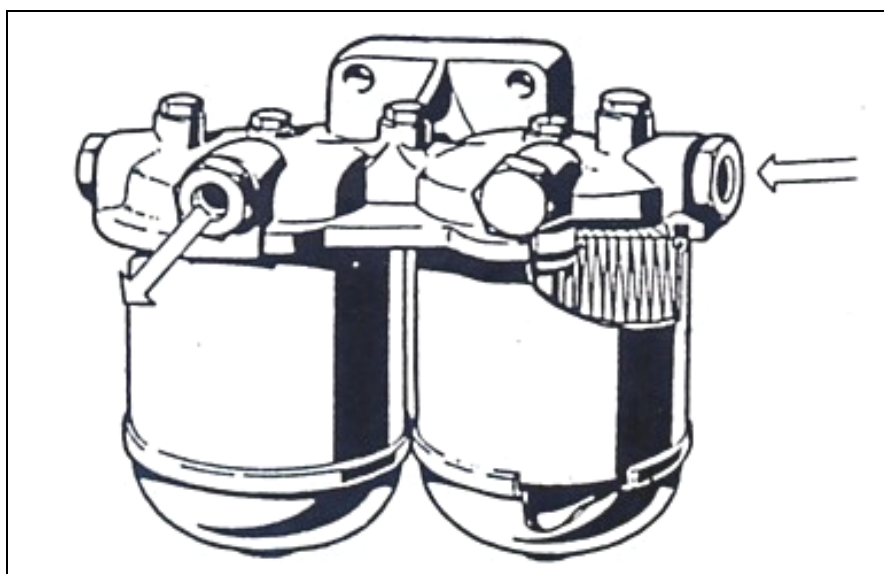


Figura 15: Filtre principal de combustible. Font bibliogràfica [5]

	Vehicles industrials lleugers	Vehicles industrials pesats	Transport urbà
Injectors	25000	120000	40000-80000
Bomba d'injecció	120000	120000	120000
Filtre combustible	10000	20000	7500
Elements del filtre	20000	25000	20000

Taula 6: Substitució d'elements per quilometratge en el sistema d'injecció de vehicles MEC

2.5.7.4 Cadena cinemàtica i de distribució

L'operació típica de manteniment d'aquest sistema és el calibratge del joc existent en la cadena cinemàtica que mou les vàlvules, denominat normalment calibratge de tacs. Si aquest joc és insuficient, les vàlvules no tanquen bé i es cremen i si el joc és excessiu es produeixen cops de vàlvules, situació més freqüent i que produeix un soroll característic que permet diagnosticar aquesta anomalia. A les figures 16a, 16b i 16c es poden observar esquemes i imatges del sistema de distribució accionat amb molles.

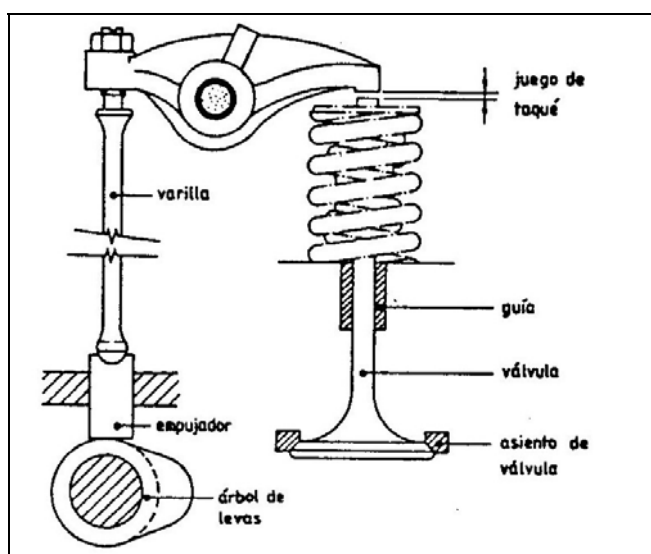


Figura 16a: Esquema del sistema de distribució. Font bibliogràfica [5]

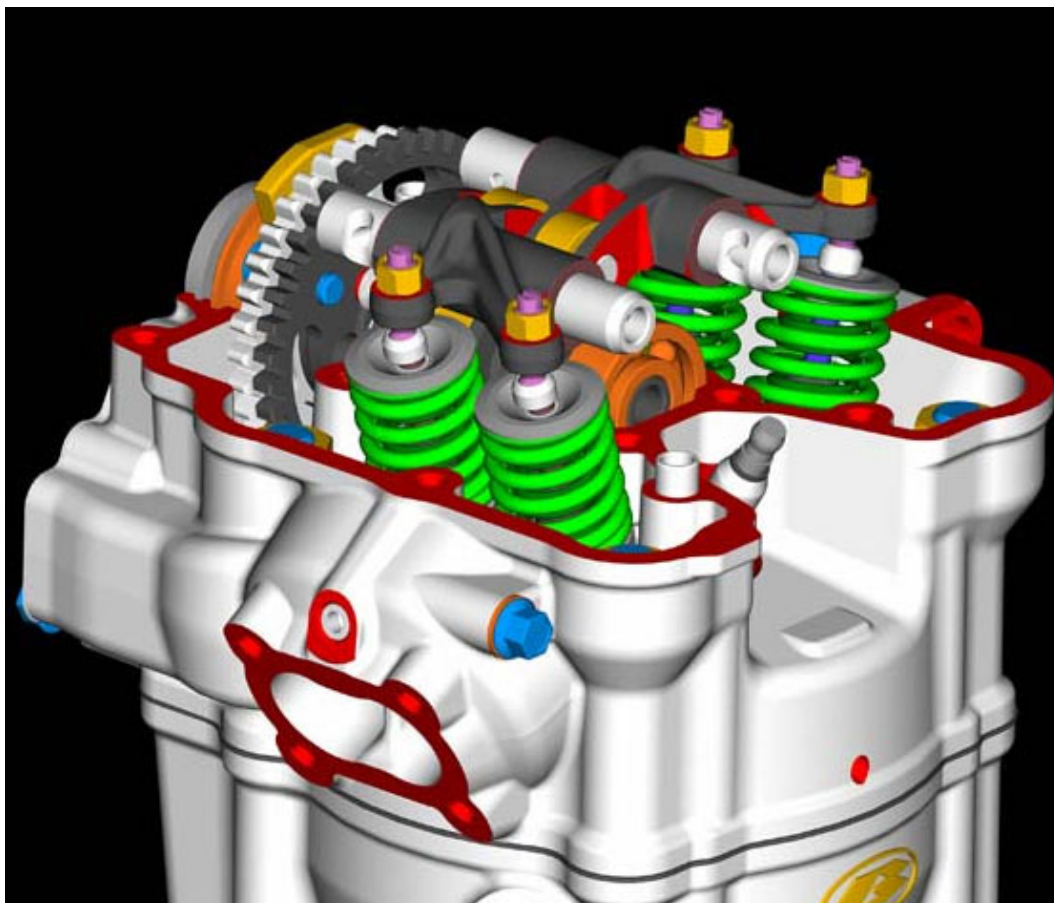


Figura 6.16b: Imatge generada per ordinador del sistema de distribució dins del motor monocilíndric. Font bibliogràfica [b]



Figura 6.16c: Imatge generada per ordinador del sistema de distribució extret de l'interior del motor. En la figura es poden veure les vàlvules accionades per molles. Font bibliogràfica [b]

Els jocs venen donats pels fabricants i l'operació de calibratge es sol aconsellar que en qualsevol cas es realitzi amb una periodicitat de 40000 a 60000km segons fabricants. En vehicles industrials pesats s'aconsella cada 120000km. Aquesta operació d'ajustament no és necessària en els motors que utilitzen tacs hidràulics.

En els motors amb corretja dentada de distribució, aquesta haurà de ser canviada entre els 90000i els 120000 km segons els fabricants.

2.5.7.5 Sistema d'admissió

En el circuit d'admissió l'únic element susceptible de manteniment és el filtre d'aire. Aquest element es va embrutint amb el seu ús i va provocant una caiguda de pressió en el col·lector d'admissió, de manera que s'ha de netejar o canviar quan aquesta baixada de pressió arribi a un valor màxim. El monitoritzat d'aquesta pressió es pot realitzar mitjançant un indicador de colmatació que s'instal·la a la sortida del filtre i produeix una senyal quan la pressió en aquest punt és inferior al valor de calibració que sol tenir un valor de 50 1 75 mbar per a motors Dièsel a plena càrrega. Entre els filtres d'aire hem de distingir dos tipus: els secs de cartutx filtrant de paper i els de bany d'oli.

Els turismes utilitzen filtres del tipus sec (Figura 17) i l'únic manteniment d'aquest element és el canvi de l'element filtrant que segons fabricants es fan al voltant de 40000 km el qual s'ha de reduir a la meitat la periodicitat per utilització en atmosfera polsosa. Alguns fabricants de vehicles industrials lleugers aconsellen el canvi cada 15000km, aproximadament.

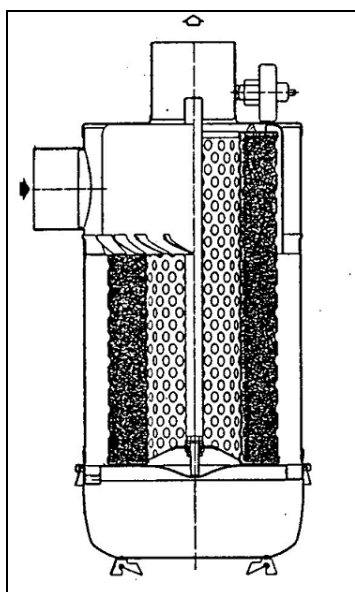


Figura 17: Filtre d'aire. Font bibliogràfica [5]

Els filtres secs que munten els vehicles industrials pesats són més complexes i són dues les operacions que s'han de dur a terme: neteja de la cubeta del filtre (on es retenen les partícules separades per centrifugació) i canvi del cartutx filtrant.

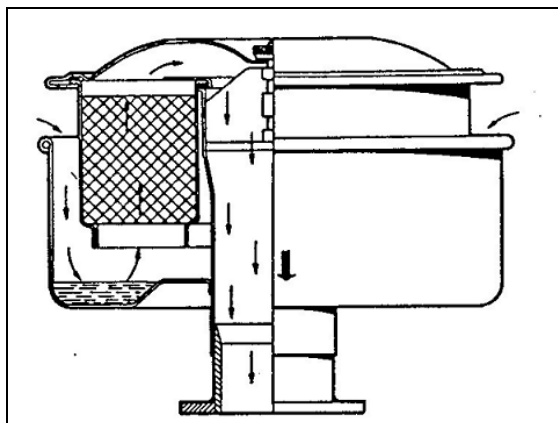


Figura 18: Filtre d'aire en bany d'oli. Font bibliogràfica [5]

La freqüència recomanada de neteja de la cubeta és de 10000km i el canvi del cartutx filtrant de 30000 a 90000 km segons el fabricant, en funció de l'existència o no d'un cicló que separi per centrifugació les partícules més pesades abans d'entrar en l'element filtrant.

El filtre del tipus de bany d'oli, tal i com es pot observar a la figura 18, és d'utilització exclusiva en vehicles pesats de transport. El manteniment d'aquest tipus de filtres consisteix en conservar net l'oli, l'element de malla metàl·lica (que no es canvia) i el nivell d'oli. Els fabricants aconsellen verificar el nivell d'oli cada 3000km si es recorren carreteres molt polsoses i canviar l'element filtrant i la cubeta cada 6000km.

2.5.7.6 Refrigeració

En el circuit de refrigeració es fa necessària la comprovació del nivell de líquid refrigerant (donada la importància d'aquest element pel perfecte funcionament del motor), amb una periodicitat que és funció de la utilització del vehicle. En vehicles de flotes de transport urbà la comprovació del nivell es sol fer amb una periodicitat diària i en turismes la freqüència és menor, recomanant-ne la seva verificació mensual o cada 1000km.

Els fabricants aconsellen el canvi del líquid refrigerant cada dos anys degut a la pèrdua de propietats anticongelants i inhibidors de corrosió del mateix, tanmateix alguns fabricants de vehicles consideren suficient el manteniment del nivell amb addicions d'aigua i additius adequats.

Alguns vehicles industrials incorporen en el sistema de refrigeració un filtre d'aigua, tal i com es pot observar a la figura 19. Els fabricants d'aquests vehicles aconsellen el canvi d'aquest element cada 20000 a 25000km i sempre després del canvi del líquid refrigerant.

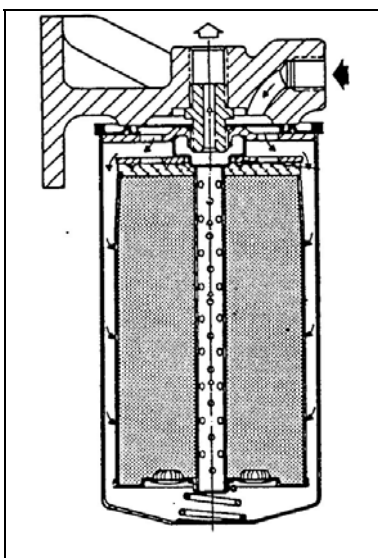


Figura 19: Filtre d'aigua. Font bibliogràfica [5]

A l'hora del canvi o addició de líquid refrigerant al motor s'hauran de tenir en compte els següents consells generals:

- Obrir el circuit amb el motor fred, doncs en calent i al estar pressuritzat, podria escapar vapor amb el risc de produir cremades a la persona que treu el tap.
- No emplenar el motor calent amb líquid fred, doncs podrien produir-se canvis de les propietats mecàniques i fins i tot esquerdes d'alguns elements degut al xoc tèrmic.
- Utilitzar líquid amb protecció anticongelant adequada a les condicions atmosfèriques.

Segons les condicions d'utilització, pot ser recomanable en alguns casos establir una rutina periòdica de neteja exterior del radiador, amb vistes a mantenir la seva capacitat de transmissió de calor.

2.5.7.7 Lubricació

En el circuit de lubricació també es fa necessària la comprovació periòdica del nivell d'oli lubricant i si és necessària la reposició de l'oli consumit. La periodicitat de la comprovació depèn de varis factors, com severitat del servei a que està sotmès el motor, el seu estat, edat, etc. Per exemple en autobusos urbans és necessària la realització d'aquesta

operació diàriament, no obstant, en el cas de turismes s'aconsella que es realitzi aquesta comprovació cada 1000km, en ambdós casos amb el vehicle en posició horitzontal.

Els vehicles industrials més moderns incorporen sistemes que permeten garantir de forma automàtica el nivell d'oli en el càrter, podent-ne allargar aquesta operació del manteniment sistemàtic del motor. A la figura 20 es pot observar un esquema del sistema de lubricació d'un motor Diesel.

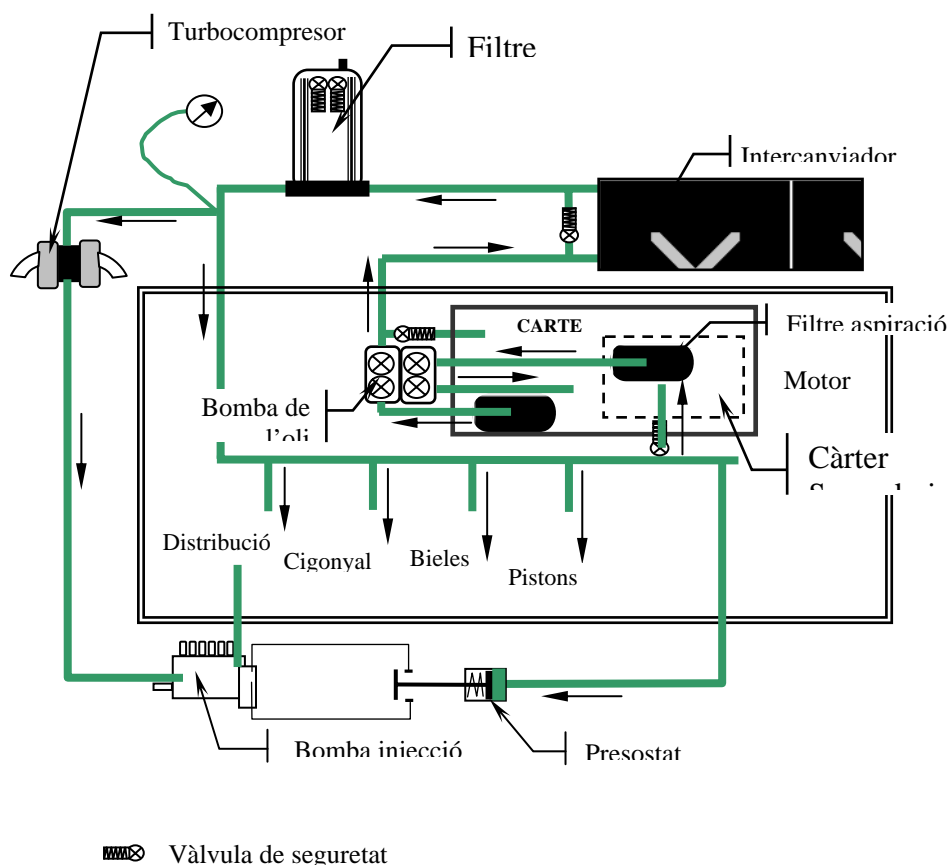


Figura 20. Esquema Sistema de Lubricació d'un motor Diesel. Font bibliogràfica [15]

En qualsevol cas, amb l'ús de l'oli els additius es degraden amb la conseqüent pèrdua de propietats lubricants, fent per tant necessari el seu canvi amb una periodicitat que varia en funció del vehicle, fabricant, tipus d'oli utilitzat, condicions de servei del vehicle, etc.

En turismes s'aconsella que el canvi d'oli es realitzi entre 10000 i 15000 km o com a mínim una vegada a l'any.

Per a vehicles industrials de transport urbà, els períodes de canvi d'oli poden situar-se entre 10000 i 15000 km per un oli de bona qualitat i un servei normal i de 15000 a 25000 km per a vehicles de transport per carretera, encara que existeix una clara tendència a augmentar considerablement aquest període.

En tot cas s'ha de canviar després d'acabar el període de rodatge, doncs l'oli que incorporen els vehicles durant aquest temps té uns additius especials que el fan inservible per a l'ús normal, estant al final molt contaminat de partícules metàl·liques procedents del desgast.

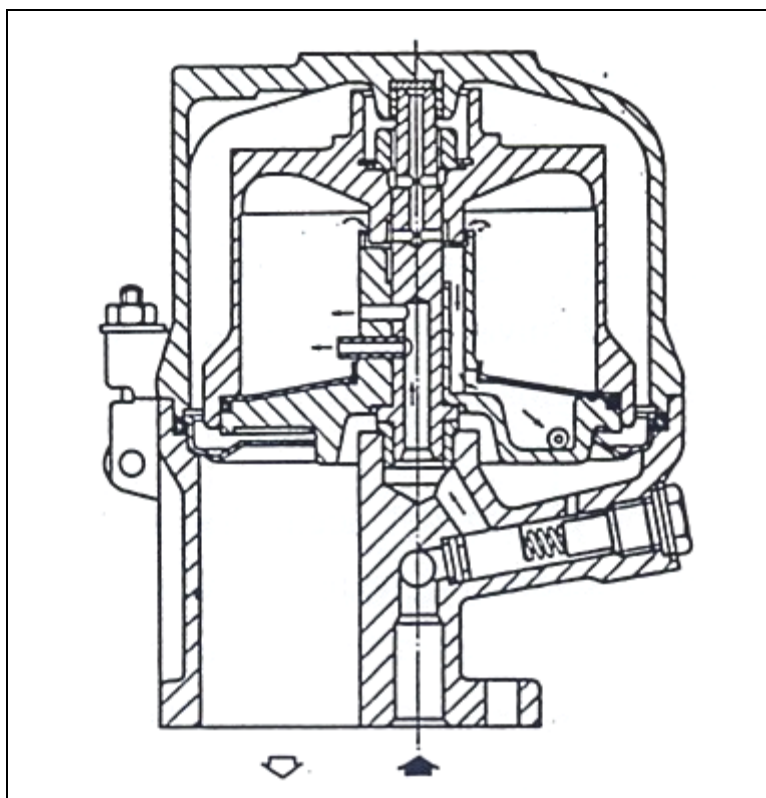


Figura 21: Filtre d'oli centrífug. Font bibliogràfica [5]

Altres elements del sistema de lubricació susceptibles de manteniment són els filtres. Hem de distingir en general entre dos tipus de filtres: els centrífugs (Figura 21) i els de flux total o de tipus sec amb elements filtrants. Els filtres de tipus centrífug es munten en vehicles industrials i tenen com a missió retenir per centrifugació les partícules i brutícies que per la seva grandària no són retingudes pels filtres de flux total, reforçant i complementant l'acció d'aquests. El manteniment d'aquest tipus de filtres es limita a la seva neteja periòdica. Aquesta neteja es sol efectuar cada dos canvis d'oli.

El manteniment dels filtres de tipus sec es redueix al canvi periòdic dels cartutxos filtrants. Aquest canvi s'ha de realitzar amb el canvi de l'oli en el cas de vehicles industrials i en els turismes cada dos canvis de l'oli del motor, sempre que el motor estigui en bon estat o que l'oli en el moment del canvi no arribi a nivells molt elevats de contaminació i/o degradació, en aquest cas és convenient canviar-los juntament amb l'oli.

Quan s'addicioni lubricant al motor per consum del mateix s'ha de tenir en compte la precaució d'afegir oli del mateix tipus al que arriba al motor, doncs marques diferents poden utilitzar diferents additius que al entrar en contacte poden neutralitzar els seus efectes. De la mateixa manera, en motors amb molta reposició d'oli, es pot qüestionar la necessitat del canvi, ja que en aquest cas es van reposant les propietats de l'oli amb la reposició d'aquest.

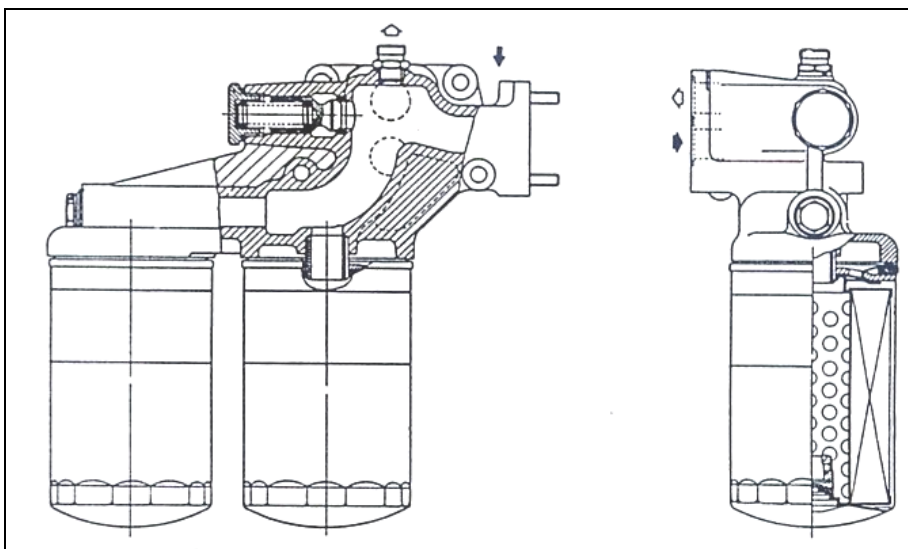


Figura 22: Filtre d'oli principal. Font bibliogràfica [5]

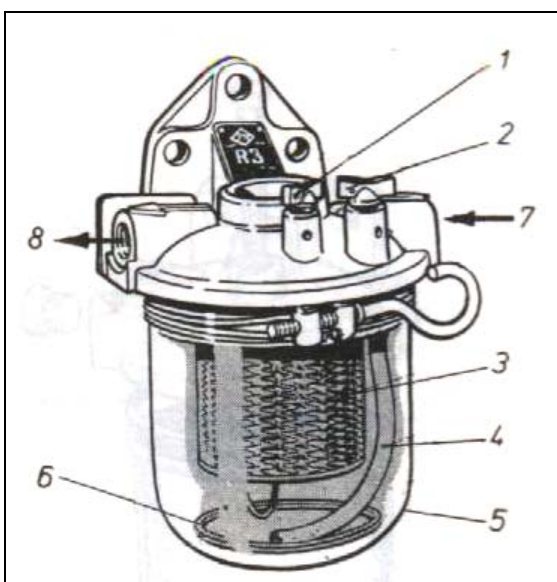


Figura 23: Parts del filtre d'oli principal. 1: cargol de purga d'aire; 2: cargol de purga d'aigua; 3: element filtrant; 4: tub d'evacuació de l'aigua; 5: cubeta; 6: flotador; 7: entrada de gas-oil; 8: sortida. Font bibliogràfica [5]

En tot cas, el seguiment de l'estat de l'oli és el procediment més econòmic i segur per a garantir el màxim ús de l'oli sense que es redueixi la vida del motor ni es malbarati l'oli a causa d'un canvi prematur. A més, un anàlisi sistemàtic del mateix permet establir el període de canvi d'oli òptim per a les condicions de servei de la flota de vehicles. A les figures 22 i 23 es pot observar un esquema del filtre d'oli principal i les seves parts respectivament.

2.5.8 Diagnòstic de motors per les seves prestacions

Per a l'estudi dels símptomes del motor, és possible dividir aquests en varis grans grups de paràmetres característics del seu funcionament:

- Les pròpies prestacions del motor
- Els paràmetres interns del funcionament global del motor
- Els símptomes característics de cadascun dels sistemes del motor
- Les propietats de l'oli lubricant
- Els contaminants de l'oli lubricant

En aquest apartat només estudiarem les prestacions del motor com a símptomes globals que permetin avaluar l'estat i el funcionament del motor en el seu conjunt.

Els símptomes que s'estudien són els següents:

- Potència
- Consum de combustible
- Emissions contaminants en els gasos d'escapament

2.5.8.1 Potència

La potència és un símptoma que aporta molta informació sobre el funcionament global del motor, podent-ne distingir tres tipus: la potència indicada (N_i), la potència de pèrdues mecàniques (N_{pm}) i la potència efectiva (N_e).

La potència indicada depèn del procés termo-fluidodinàmic del motor, en el qual intervenen en major o menor grau tots els sistemes del motor.

Les pèrdues mecàniques comprenen les pèrdues per fricció degudes al fregament dels diversos òrgans mòbils del motor, les pèrdues de bombeig que tenen lloc en el procés de renovació de la càrrega, les pèrdues d'accionament d'elements auxiliars com bomba d'oli,

bomba d'aigua, ventilador, etc., i les pèrdues per accionament del compressor si el motor usa un compressor de sobrealimentació d'accionament mecànic.

La potència efectiva és la diferència entre la potència indicada i la potència de pèrdues mecàniques i per tant depèn pràcticament del funcionament de tots els sistemes del motor. Així qualsevol fallo que afecti a la potència indicada o a les pèrdues mecàniques influirà igualment en la potència efectiva.

La relació entre els tres tipus de potència ve donada per l'equació:

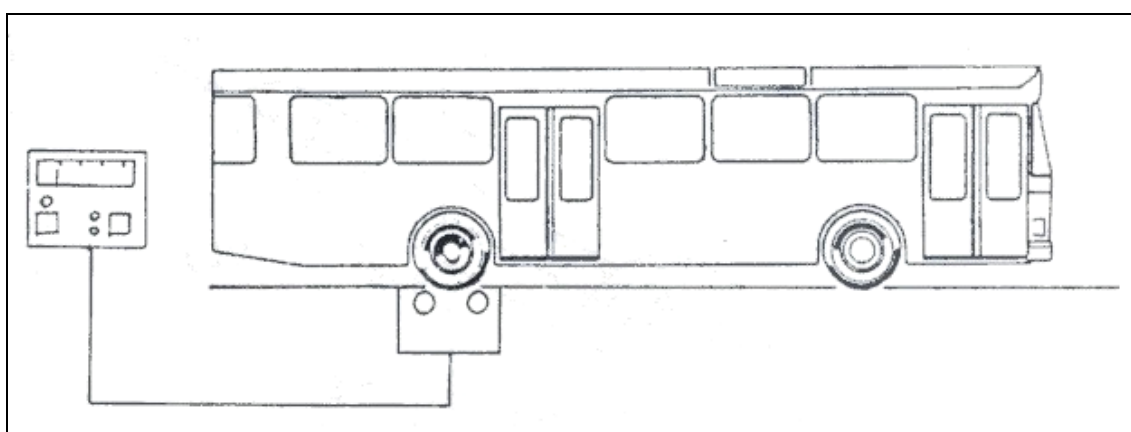
$$N_e = N_i - N_{pm}$$

Existeixen actualment diverses tècniques utilitzables per a mesurar la potència efectiva i les pèrdues mecàniques. Entre les tècniques de mesura de la potència que tenen interès des del punt de vista del diagnòstic de motors podem destacar les següents:

- Banc de rodaments
- Mesura de torsió a l'eix
- Acceleració lliure

Mesura de potència mitjançant un banc de rodaments

El banc de rodaments és un equip de proves que mesura la potència de sortida en les rodes dels vehicles mitjançant un dinamòmetre que sol ser hidràulic o de corrents induïdes de Foucault. La potència efectiva del motor s'obté sumant a la mesura les pèrdues dels grups de transmissió.



Figura

24: Esquema de mesura de potència amb el banc de rodets. Font bibliogràfica [5]

El banc de rodets (Figura 24) presenta l'avantatge de poder simular les condicions de funcionament reals en carretera del vehicle i per tant realitzar un monitoritzat d'altres

síntomes, a més de la potència, sotmetent al motor, i fins i tot a tot el conjunt de la transmissió, al treball en càrrega.

Mesura de la potència mitjançant la torsió de l'eix de sortida del motor.

Aquest mètode de mesura de la potència és apropiat quan el motor està acoblat als altres elements de la transmissió mitjançant un eix fàcilment accessible, tal i com es pot observar a la figura 25.

El mètode es basa en mesurar el parell torsor (M) i el règim de gir de l'eix (n). Així la potència es pot obtenir mitjançant l'equació:

$$N_e = M \cdot n$$

El parell torsor es mesura per la deformació angular que sofreix l'eix sota l'acció del parell motor. El sistema de mesura conté dos volants dentats VL1 i VL2 que giren solidaris amb l'eix i separats a una distància fixa i definida 1. el desplaçament angular relatiu entre els dos volants és detectat per uns sensors S1 i S2. Aquests sensors generen una senyal que és proporcional a l'angle de torsió (Φ), que a la vegada és proporcional al parell aplicat (M).

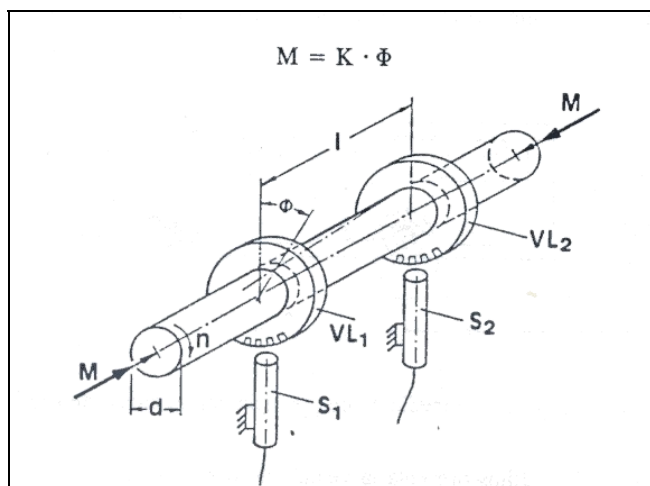


Figura 25: Mesura de la potència mitjançant deformació a l'eix de sortida. Font bibliogràfica [5]

Mesura de la potència mitjançant acceleració lliure en MEC d'aspiració natural

La mesura de la potència mitjançant la prova d'acceleració lliure es basa en que la potència produïda pel motor durant l'acceleració sense càrrega és proporcional a

l'acceleració del mateix (α). La constant de proporcionalitat és el moment d'inèrcia del conjunt motor (I).

$$M = I \cdot \alpha$$

El procediment consisteix en accelerar a plens gasos i mesurar l'acceleració angular del motor mitjançant el temps necessari per a passar d'un règim de gir inferior a un altre de superior.

El moment d'inèrcia (I) és una dada de disseny i es pot obtenir del fabricant.

Si es mesura de desacceleració del motor pel mateix règim es que es mesura l'acceleració, es poden calcular les pèrdues mecàniques del motor i per tant, la potència indicada.

La mesura de la potència mitjançant l'acceleració lliure té l'avantatge de no necessitar dinamòmetres, ni de posar el vehicle en moviment, el que ha fet que aquesta tècnica sigui molt indicada pel diagnòstic de motors en servei.

Efectes de les fallades sobre la potència

La presència d'una fallada en qualsevol dels sistemes del motor, repercutirà negativament en la potència del motor, reduint-la en una magnitud proporcional a la importància i intensitat de fallada sobre el comportament del motor.

A continuació s'anomenen algunes d'aquestes fallades generals, a nivell de sistemes i grups del motor.

- Varettes de l'accelerador fluixes o mal ajustades
- Defectes en la bomba d'injecció (calat, calibratges, etc.) en MEC
- Defectes en els injectors en MEC
- Defectes en la carburació o injecció en MEP
- Defectes en l'alimentació de combustible
- Defectes en el sistema d'encesa en MEP
- Obstruccions en el sistema d'admissió
- Problemes en el turbocompressor
- Obstrucció a l'escapament (sobrepessió)
- Baixa compressió

Per tot això, el diagnòstic a partir de la potència permet detectar ràpidament la presència d'una fallada, en general important, devent de recórrer a verificar altres símptomes per a determinar qual és la causa específica.

2.5.8.2 Consum de combustible

En la bibliografia relativa a motors de combustió interna alternatius es defineix com paràmetre avaluador del consum de combustible el consum específic, que és la relació entre el consum màssic de combustible i la potència obtinguda. No obstant, durant el servei la potència del motor és variable i per tant difícil d'avaluar, essent recomanable utilitzar, bé el consum horari de combustible o més usualment el consum de combustible en litres als 100 km.

En un motor de combustió interna alternatiu d'automoció el consum de combustible depèn dels següents factors:

- L'estat del motor
- L'acoblament motor transmissió
- Les resistències externes del vehicle, entre els que estan: la resistència a rodar, la resistència aerodinàmica, la inèrcia del vehicle (acceleracions i desacceleracions) i les pendent del recorregut.
- Les condicions d'exploració i conducció.

Aquesta sèrie de condicionants obliguen a tenir molta cura en el moment de considerar el consum de combustible com a símptoma de diagnòstic del motor, no obstant, si es té certesa de que aquests factors són aproximadament constants per a cada mesura, aleshores es pot utilitzar el consum de combustible com un símptoma indicatiu de l'estat global del motor.

El consum de combustible en motors instal·lats en vehicles es mesura, generalment, per dos mètodes:

- Mitjançant la quantitat afegida per a un recorregut donat
- Utilitzant un mesurador volumètric instal·lat a bord del vehicle.

La mesura del combustible, tal i com s'observa a la figura 26, mitjançant la quantitat afegida no és un mètode exacte, però té l'avantatge de ser simple i econòmic. La utilització de mesuradors de consum de combustible volumètrics permet la mesura del consum mig i instantani, tanmateix, té els inconvenients del cost i de l'efecte de la variació de la temperatura del combustible sobre la mesura, ja que aquesta modifica la variació de la densitat del combustible, i per tant la massa consumida pel motor.

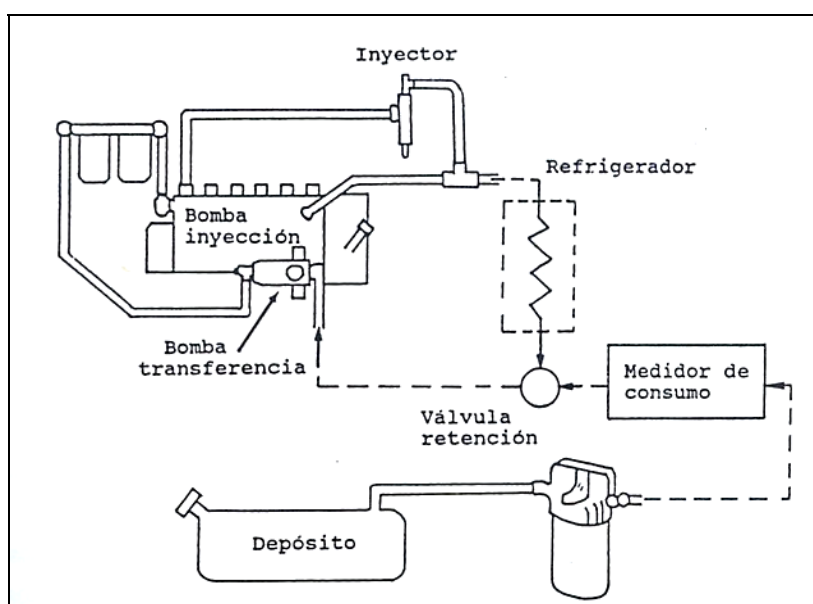


Figura 26: Instal·lació del mesurador de consum de combustible volumètric en MEC. Font bibliogràfica [5]

En els MEC (figura superior), a més s'ha de considerar l'efecte del retorn del combustible sobrant de la injecció i per això el mesurador s'haurà de situar aigües amunt d'un punt on es faci recircular l'aigua sense arribar al dipòsit. A més s'haurà de tenir en compte l'increment de temperatura que experimenta el combustible en el conducte quan es barreja amb ell el sobrant dels injectors que torna amb temperatura més alta.

La gran majoria de les fallades que es poden presentar en els MCI afecten al consum de combustible, alguns en molt petita proporció, pràcticament indetectable i altres més importants que produeixen un augment significatiu del consum de combustible, d'aquí la seva importància com a símptoma de diagnòstic global del motor.

Les fallades que es poden relacionar amb l'augment anormal del consum de combustible del motor són els següents:

- Fugues externes o internes de combustible
- Defecte de la bomba d'injecció
- Defecte dels injectors en MEC
- Defectes de carburació o injecció en MEP
- Ralentí incorrecte
- Restriccions en el sistema d'admissió
- Problemes en el turbocompressor

- Sistema d'escapament obstruït
- Baixa compressió

2.5.8.3 Emissions contaminants

En aquest apartat distingirem dos tipus de productes emesos pel motor: per una banda les partícules sòlides conegudes comunament com fums, llur mesura ha estat molt utilitzada en el diagnòstic de motors d'encesa per compressió, i per altra banda l'emissió de monòxid de carboni, molt característic de la qualitat del procés de combustió en motors d'encesa provocada.

Emissions de fum

Els fums poden definir-se com partícules sòlides o líquides (aerosols) que es troben suspeses en els gasos d'escapament, els quals obstrueixen, reflexen o refracten la llum. Aquest símptoma és utilitzat només pel diagnòstic de MEC i no per el de MEP per ser en aquests últims l'emissió de fums molt menys important. Els fums en l'escapament dels motors Dièsel poden ser de tres tipus:

Fum blanc. Aquest fum està format per partícules de combustible sense cremar, parcialment cremat motivat per baixes temperatures en la cambra de combustió durant el procés d'injecció. En condicions normals es dona durant l'arrencada en fred, desapareixent quan el motor arriba a la seva temperatura òptima. També per presència de petites quantitats d'aigua en la cambra de combustió provenint de fugues del sistema de refrigeració o de la pròpia combustió.

Fum blau. El fum blau es deriva, principalment, d'un excés de lubricant en la cambra de combustió, no obstant, part del combustible sense cremar pot aparèixer amb fums blaus si la grandària de les gotes és pròxima a $0,5 \mu\text{m}$.

Actualment, no existeixen tècniques ni equips disponibles per a la mesura i avaluació dels fums blancs i blaus de manera automàtica. Això és degut, entre altres causes, a que aquests elements no estan especificats entre els contaminants regulats oficialment per cap norma, a més encara no és econòmicament rentable la utilització d'instrumentació pel diagnòstic de fallades a partir d'aquests símptomes. Es prefereix avaluar la presència d'aquests fums de manera visual.

Fum negre. Consisteix en partícules sòlides de carbó que provenen de la combustió incompleta del combustible. La seva grandària varia des de $0.02 \mu\text{m}$ fins a $0.12 \mu\text{m}$ i la distribució de grandàries depèn del tipus de sistema de combustió.

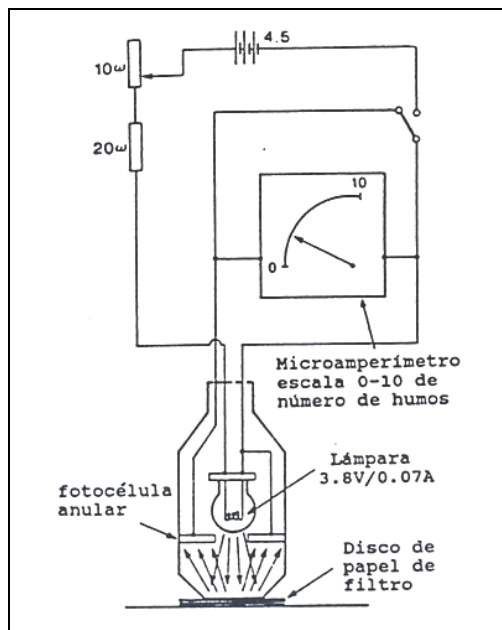


Figura 27: Esquema del mesurador de fums Bosch. Font bibliogràfica [5]

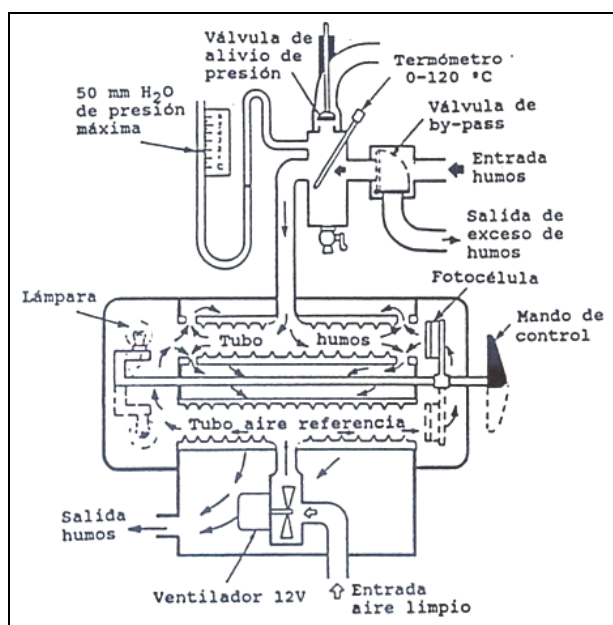


Figura 28: Esquema del mesurador de fums Hartridge. Font bibliogràfica [5]

Es pot observar que l'emissió de fums, en general, augmenta quan es produeixen fallades que afecten als processos d'atomització, vaporització i barreja del combustible o

quan augmenta la dosi, ja sigui per augment de la quantitat global de combustible injectat en comparació amb l'especificat en disseny, o per reducció de la quantitat d'aire (oxigen) present en la cambra de combustió.

L'emissió de fum negre si està regulada mitjançant normes i els mesuradors tradicionalment utilitzats són el Bosch i el Hartridge, tal i com es pot observar a les figures 27 i 28 respectivament, si bé actualment la legislació avalua les partícules sòlides en la seva totalitat, mesurats amb complexos túnels de dilució que no són viables pel seu ús en manteniment.

El mesurador Bosch es basa en l'avaluació de la taca que deixa sobre un paper de filtre una mostra dels gasos d'escapament. Aquesta avaluació es fa mesurant la llum emesa per una làmpada, la qual és reflexada per la mateixa i detectada per una fotocèl·lula. Aquest mesurador és un instrument versàtil, el que ha permès que sigui àmpliament utilitzat pel monitoritzat i diagnòstic de MEC.

El mesurador de fums Hartridge es basa en la mesura de l'opacitat (reducció de la intensitat de la llum) com a resultat de la presència de fums. És un equip que analitza part del flux total dels gasos d'escapament. Té l'avantatge de que pot operar contínuament i per tant, en teoria realitzar un millor monitoritzat i avaluació del motor. Té l'inconvenient amb respecte al Bosch que és menys versàtil i difícil d'operar, pel que la seva utilització en diagnòstic està molt restringida.

El fum blanc en condicions anormals s'origina per mala combustió, temperatures baixes o presència d'aigua durant la combustió. Per tant, la presència d'aquest fum es pot associar a les següents fallades:

- Angle d'avanç a la injecció molt atraçat
- Termòstat en mal estat o absència del mateix
- Esquerdes en camisa o junta de culata deteriorada

En fum blau, que com s'ha indicat prové de la combustió d'oli es pot relacionar amb les següents fallades:

- Deteriorament del conjunt segment-camisa-pistó
- Desgast de guies de vàlvules
- Desgast de coixinets, eixos o retens del grup de sobrealimentació

Les fallades que afecten a l'emissió de fum negre són aquells que influeixen en el procés de combustió. Dels factors que augmenten l'emissió de fum negre o gris és l'augment de la dosis el més freqüent, seguint els factors que afecten als processos d'atomització, vaporització i barreja del combustible com la pressió d'injecció, la pressió i temperatura en la cambra de combustió, etc.

Altres fallades que augmenten l'emissió de fum negre són els següents:

- Injector defectuós o mal tarat
- Bomba d'injecció defectuosa o mal calibrada
- Desgast del conjunt camisa-segments-pistó, segment trencat, junta de culata mal i vàlvules o seients deteriorats
- Filtre d'aire o conducte d'admissió obstruït
- Grup de sobrealimentació defectuós
- Tub d'escapament obstruït

Emissió de monòxid de carboni

En els gasos d'escapament dels motors es poden trobar diferents tipus de contaminants gasosos, essent els més importants el monòxid de carboni, els òxids de nitrogen i els hidrocarburs sense cremar. Aquesta importància es deu més a la necessitat de controlar les emissions per a complir la reglamentació existent que amb la finalitat d'aïllar fallades.

En el present apartat ens ocuparem exclusivament del monòxid de carboni (CO) per ser l'únic utilitzat actualment per a diagnòstic. Els demés contaminants, encara que també es podrien utilitzar amb aquesta finalitat, són difícilment mesurables o els seus mètodes de mesura són molt costosos.

El monòxid de carboni és un producte intermedi de la combustió d'un hidrocarbur. El seu origen es deu fonamentalment a la combustió incompleta de la barreja insuficient d'oxigen. És un element contaminant molt important en el cas de MEP essent de menor rellevància en el cas de MEC en els que s'utilitzen dosis pobres, essent per tant la concentració de CO molt petita.

Per a la mesura del CO s'utilitza generalment l'analitzador no dispersiu en el infraroig (NDIR). El NDIR és un equip que mesura la concentració d'un gas determinat del que es coneix l'absorció que presenta en una determinada longitud d'ona en l'infraroig, comparant aquesta absorció de la mostra mesurada amb una altra mostra de referència del mateix gas pur. A la figura 29 es pot observar un esquema sobre el seu funcionament.

Com s'ha dit anteriorment el monòxid de carboni no és un contaminant important en els MEC, ja que la seva presència en els gasos d'escapament es deu principalment, a dosis riques i en aquests motors les dosis són pobres, pel que només pot ser un problema en els MEP. Un augment anormal de la concentració del mateix es pot associar a la presència de fallades que produeixen un augment de la dosis com són:

- Sistema de formació de mescla descalibrat
- Filtre d'aire obstruït
- Turbocompressor ineficient

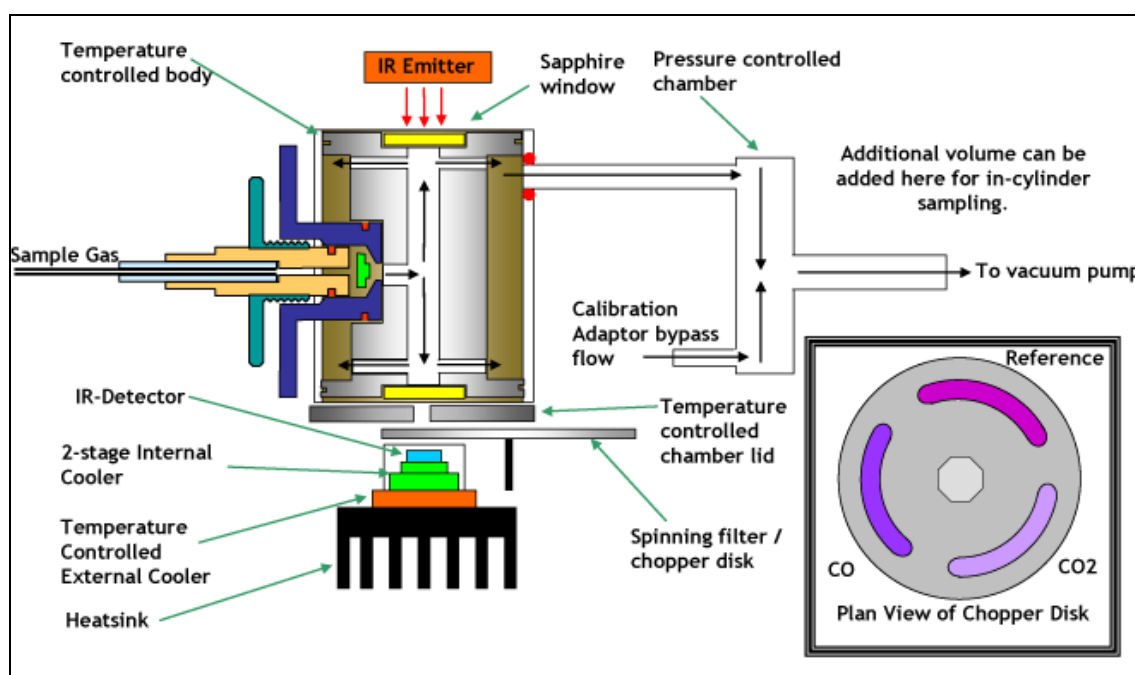


Figura 29: Esquema del mesurador NDIR. Font bibliogràfica [6]

2.5.9 Diagnòstic de motors pels seus símptomes interns

Per a l'estudi dels símptomes del motor, aquests s'han dividit en cinc grans grups. En aquest apartat s'estudien els paràmetres interns del funcionament del motor, que permeten avaluar el seu estat en el seu conjunt.

Els símptomes interns que s'estudien són els següents:

- Regularitat de rotació del cigonyal
- Pressió instantània en el cilindre
- Temperatura dels gasos d'escapament
- Sorolls i vibracions

2.5.9.1 Regularitat de rotació

Com a regularitat de rotació del cigonyal s'entén la variació de la velocitat del cigonyal al llarg d'un cycle de motor. Durant un cycle motor es produeixen acceleracions i desacceleracions en nombre igual a la quantitat de cilindres. Aquestes acceleracions i desacceleracions del cigonyal no són completament amortides pel volant, pel que la mesura serveix per a avaluar l'estabilitat de funcionament del motor.

La velocitat de rotació d'un motor en bon estat oscil·la, aproximadament, en forma harmònica al voltant d'una velocitat mitja durant un cycle complet de motor, influenciada principalment, pels diferents processos que ocorren dins del cilindre i per les inèrcies de les peces en moviment, en particular, el volant d'inèrcia.

La mesura de la variació de la velocitat angular durant un cycle és un bon indicador del funcionament relatiu dels diferents cilindres. Està directament relacionada amb el parell subministrat per cada cilindre, el qual a la vegada està relacionat amb la qualitat de la combustió.

La velocitat instantània de gir pot mesurar-se de diferents maneres, però els mètodes més utilitzats són els captadors òptics i magnètics que mesuren l'angle girat pel cigonyal.

Els captadors òptics són més precisos per a la mesura de la velocitat angular instantània, perquè tenen una menor resolució i menys soroll que els captadors magnètics, perquè tenen una millor resolució i menys soroll que els captadors magnètics, en els que es

poden produir perturbacions per defectes en les dents i irregularitats en la corona dentada. Tanmateix, són més cars i difícils d'instal·lar en vehicles.

Les fluctuacions anormals de rotació del cigonyal estan relacionades amb desequilibris en el parell produït pels cilindres. En la figura 29 es mostra la senyal característica de la velocitat angular d'un motor normal durant un cicle complet en un motor de 4 cilindres. Cadascun dels pics està associat al procés de combustió d'un cilindre. Quan existeixen anomalies que afecten a la combustió, la forma de la corba canvia en funció de la magnitud de la irregularitat existent. En la figura 30 es pot veure la forma de la senyal de la velocitat angular en cas d'anomalia en la combustió d'un cilindre.

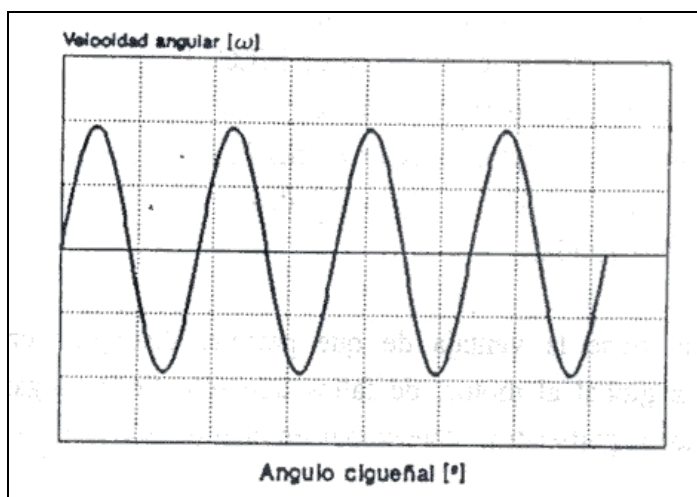


Figura 29: Senyal harmònica de la velocitat angular d'un motor normal. Font bibliogràfica [5]

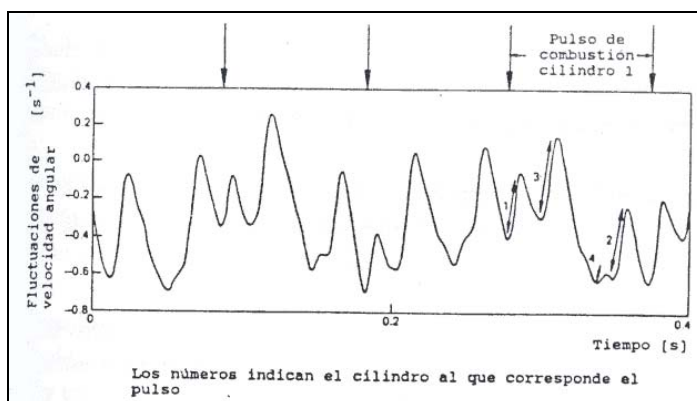


Figura 30: Senyal harmònica de la velocitat angular en cas de presència d'una fallada en el cilindre 4 d'un motor de 4 cilindres. Font bibliogràfica [5]

Les principals fallades que es poden relacionar amb la irregularitat de rotació del motor són els següents:

- Esquerda o fuga en línia d'alta pressió d'injecció
- Cilindre de la bomba d'injecció defectuós
- Injector obstruït o mal calibrat
- Aire en el sistema d'injecció de MEC
- Fallada d'encesa en un cilindre
- Obstrucció en algun injector en MEP
- Fallada de compressió en algun cilindre
- Lleva desgastada

Aquest símptoma té l'avantatge de que permet distingir entre fallades que afectarien de manera global al motor, de fallades que només tenen lloc en elements propis d'un cilindre, podent determinar en quin d'ells es produeix.

2.5.9.2 Pressió instantània en el cilindre

La pressió instantània en el cilindre és el resultat dels diferents processos que sofreixen els gasos dins del cilindre, influenciada principalment pel moviment del pistó i l'alliberació de calor durant la combustió.

Amb la mesura de la pressió en el cilindre es poden obtenir els diagrames de pressió-angle de cigonyal i pressió-volum del cilindre. En la figura 32 es mostra un diagrama pressió-angle del cigonyal d'un MEC.

L'anàlisi comparatiu dels diagrames $p-\alpha$ o $p-V$ de cilindres individuals, amb diagrames de referència coneguts del mateix motor en bon estat, permet detectar la presència de fallades en el motor.

Del diagrama de pressió instantània es poden calcular i monitoritzar diversos paràmetres importants pel diagnòstic, no obstant, resulta difícil la seva implantació actual a sistemes de diagnòstic en automoció perquè es necessita instrumentació sofisticada i programes de càlcul per ordinador complicats.

Per a obtenir els diagrames de pressió instantània d'un cilindre es necessita mesurar simultàniament la pressió en la cambra de combustió i la posició angular respectiva del cigonyal.

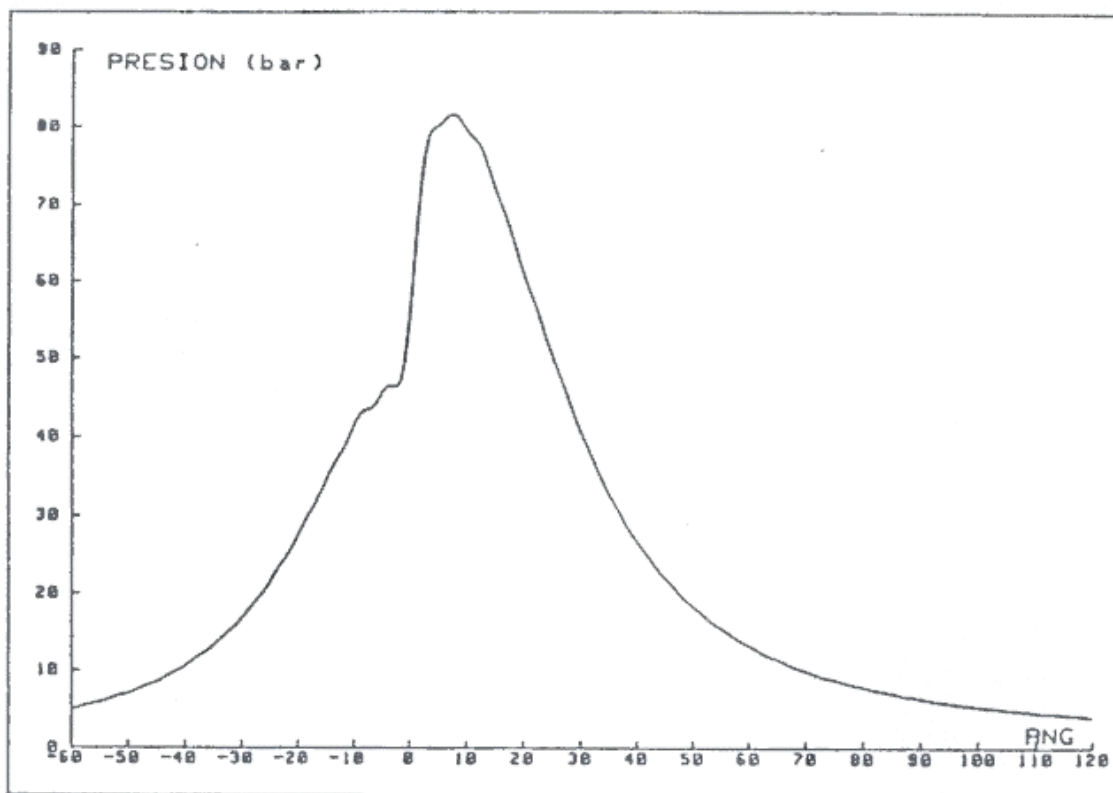


Figura 32: Diagrama pressió-angul de gir del cigonyal, característic d'un MEC. Font bibliogràfica [5]

La pressió en la cambra de combustió es pot mesurar utilitzant diversos tipus de sensors, basats en principis diferents, no obstant, les condicions de pressió i temperatura existents en l'interior del cilindre unides als problemes de vibracions i a la necessitat d'una bona resposta a freqüències altes ha fet que els sensors piezo-elèctrics, tal i com es pot observar a les figures 33 i 34, hagin desplaçat als altres tipus de sensors. Aquests sensors es basen en la propietat d'alguns cristalls de quars de generar una càrrega elèctrica proporcional a la força aplicada sobre els mateixos.

Per a la mesura de la posició angular es poden utilitzar dos tipus de captadors, els òptics o els magnètics, essent aquests últims els més utilitzats en diagnòstic.

La pressió en el cilindre es veu afectada per la presència de qualsevol fallada que afecti els processos termo-fluidodinàmics que ocorren dins del cilindre. En general, les fallades que poden produir vibracions de la pressió instantània en el cilindre són els mateixos que els que afecten a la regularitat de rotació.

Finalment, abans d'associar qualsevol anomalia en la pressió instantània en el cilindre a una fallada del motor, s'han de descartar altres possibles causes d'origen extern com variacions en les condicions atmosfèriques, règim o càrrega.

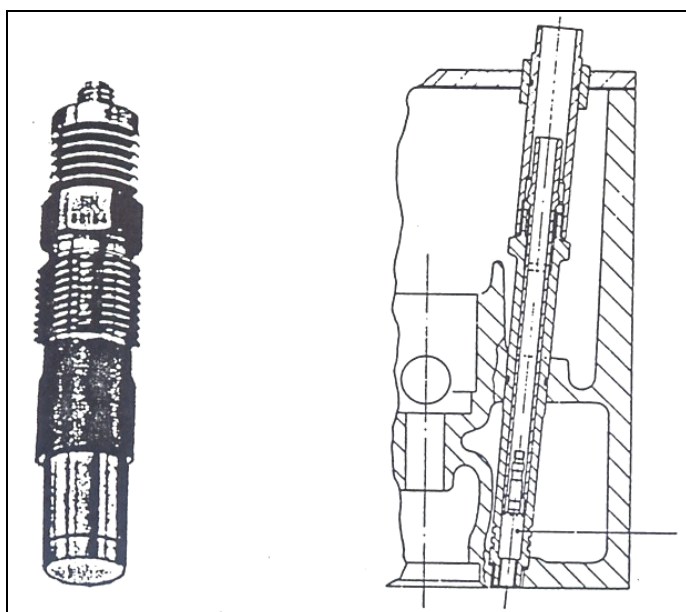


Figura 33: Captador piezo-elèctric muntat per la mesura de la pressió a l'interior del cilindre. Font bibliogràfica [5]

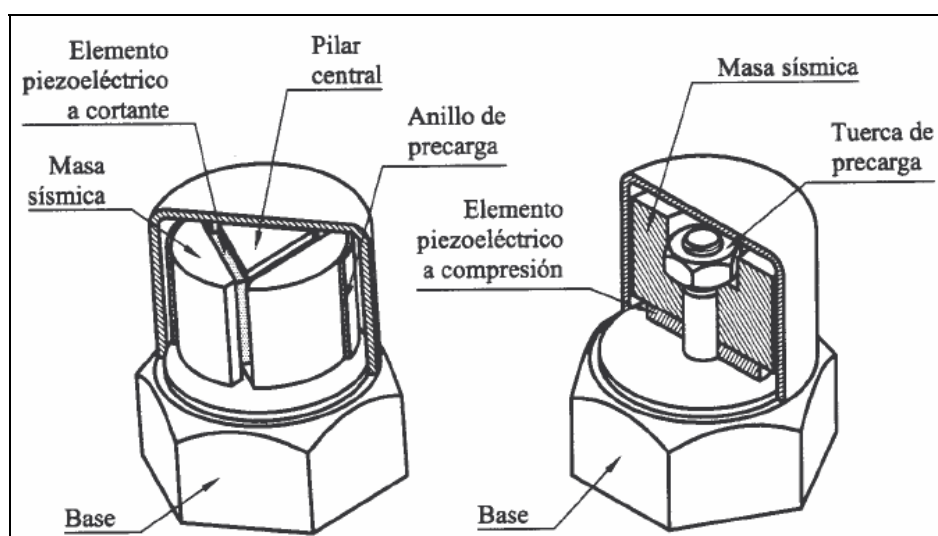


Figura 34: Censors piezo-elèctrics a tallant i a compressió. Font bibliogràfica [5]

2.5.9.3 Temperatura dels gasos d'escapament

La temperatura dels gasos d'escapament és un símptoma relacionat amb el procés de combustió del motor, per tant a mesura que augmenta la temperatura dels gasos d'escapament per a un mateix règim i càrrega del motor pot significar que es redueixi el rendiment del motor i augmenta el consum de combustible o que existeixin fallades en la distribució que afectin al punt d'obertura i tancament de les vàlvules d'escapament.

La temperatura d'escapament s'ha utilitzat com símptoma de diagnòstic de dues maneres: com temperatura mitjana i com temperatura instantània. L'anàlisi de temperatura instantània com a eina de diagnòstic a l'igual que la pulsació dels gasos d'escapament són símptomes poc utilitzables, pel que només estudiarem la temperatura mitjana dels gasos d'escapament. La mesura de la temperatura dels gasos d'escapament es fa generalment mitjançant termopars pes les altes temperatures, encara que també es poden utilitzar altres tipus de sensors que puguin mesurar aquestes temperatures elevades, al voltant dels 700 °C. L'aplicació d'aquesta tècnica en automoció és escassa, no obstant, és molt utilitzada en altres aplicacions com en motors marins.

La temperatura dels gasos d'escapament és un símptoma que aporta informació global sobre el rendiment del procés de combustió i l'eficàcia de la transformació d'aquesta energia en treball pel motor. En general, es pot dir que les fallades que produeixen un augment de la temperatura dels gasos d'escapament per condicions de règim i càrrega constant són els següents:

- Defectes de la bomba d'injecció que augmenten la dosis
- Mala refrigeració o excés de dipòsits en les parets de la cambra de combustió
- Punt d'injecció atraçat
- Defectes del sistema de distribució que alteren els diagrames d'obertura i tancament de vàlvules d'escapament.

2.5.9.4 Sorolls i vibracions

Vibració en els MCIA

La identificació de l'origen d'una vibració anormal en un motor alternatiu de combustió interna és molt difícil i complexa. Aquesta complexitat s'incrementa pel fet que l'estructura general del motor està sotmesa simultàniament a diverses forces d'excitació de característiques diferents com són les resultants de la combustió en el cilindre, les que són conseqüència del mecanisme biela-manovella i altres produïdes pels sistemes accessoris (distribució, injecció, etc.)

Existeixen dos tipus de vibració dels motors de combustió interna alternatius que s'han d'identificar abans d'implantar un sistema de diagnòstic basat en l'anàlisi de vibracions: les vibracions no desitjades, però que no signifiquen un risc per a la vida del motor i les vibracions originades per fallades o funcionament anormal i que s'han d'identificar per evitar avaries en el motor. Per identificar l'origen de vibracions perilloses pel bon funcionament del motor, s'ha desenvolupat instrumentació especialitzada i tècniques d'anàlisi de la senyal de vibració.

Normalment la vibració es pot mesurar per transductors de desplaçament, velocitat, acceleració o esforç, llur selecció es fa depenent de l'estructura del motor i les freqüències d'interès. Un equip molt simple que dóna una apreciació merament qualitativa, però que sol ser utilitzat per la localització de fallades en un determinat cilindre és el fondenoscopi.

No obstant, la tècnica d'anàlisi de vibració com eina de diagnòstic s'ha aplicat poc en motors alternatius en general, davant de la gran implantació en màquines rotatives com a base del manteniment predictiu de les mateixes. Això es deu, fonamentalment, a que la vibració és essencialment una quantitat vectorial amb magnitud i direcció, per tant, la seva mesura depèn de la ubicació dels sensors i a més, requereix instrumentació altament sofisticada i costosa per a la seva adquisició i anàlisi. Per altra banda, la informació que ofereix és de difícil interpretació, el que ha fet que fins ara l'anàlisi de la vibració sigui una tècnica poc atractiva.

Soroll

Des d'un punt de vista físic, el so està format per ones de pressió, produïdes per la vibració d'un element, que es transmeten a través d'un medi i al arribar a l'oïda produeixen en el cervell una sensació d'audició. Per tal motiu la vibració i el soroll estan molt relacionats entre sí.

Les característiques de sorolls i vibracions de les màquines es coneix comunament com processos vibroacústics. El soroll és una quantitat escalar sense paràmetres direccionals, per tant si no existeixen barreres és indiferent la posició del sensor respecte a la font de sorolls. El soroll com símptoma quantitatiu té el mateix inconvenient que la vibració per a la seva aplicació en diagnòstic, i és que és una tècnica complicada i costosa. A més, el soroll no només pot provenir del motor, també pot originar-se de fregaments o vibracions d'altres elements del vehicle aliè al motor, el que dificulta més la seva interpretació.

El soroll es mesura mitjançant micròfons. Els micròfons més utilitzats són els piezo-elèctrics (incloent els ceràmics), els de bobina mòbil i els de condensador. Els de bobina mòbil no són adequats pel diagnòstic perquè tenen una resposta no lineal. Per tant la selecció ha de fer-se entre els ceràmics i els micròfons de condensador. Aquests últims són els més utilitzats.

Anàlisi de fallades relacionades amb la vibració i sorolls

L'efecte d'una o diverses fallades sobre els nivells de vibració i sorolls del motor és diferent segons el tipus de fallada i el punt de mesura. Per això és necessari fer un estudi previ de selecció dels llocs de col·locació dels sensors i prendre firmes patrones de les senyals de vibració i sorolls del motor en bon estat, tan en el domini del temps com de freqüència.

És difícil fer una correlació directa entre fallades i els paràmetres de diagnòstic de la vibració i el soroll, tanmateix, com aproximació es pot donar una llista de les principals fonts de vibració i soroll, que poden ser causa de nivells anormals.

Fonts de vibració en el motor:

- Combustió anormal
- Folgança del pistó

- Folgança en coixinets
- Mal calibratge de vàlvules
- Engranatges de distribució desgastats
- Bomba d'injecció defectuosa
- Cigonyal/volant desequilibrat
- Turbocompressor desequilibrat
- Suports del motor deteriorats

Fonts de sorolls en el motor:

- Sorolls del sistema d'escapament
- Sorolls en elements mecànics externs (tubs, xapes, suports, etc.)
- Coixinets
- Pistó i segments amb folgances
- Mal calibratge de balancins
- Fallada en la bomba de l'oli
- Sorolls en tacs
- Injector defectuós
- Bomba d'injecció defectuosa
- Combustió anormal
- Sorolls de l'admissió
- Sorolls per accessoris (alternador, compressor, bomba d'aigua, corretges, ventilador, etc.)

2.5.10 Diagnòstic de motors per anàlisi de la degradació de l'oli

2.5.10.1 Introducció

La utilització de l'anàlisi d'oli per l'avaluació de l'estat de motors no és nou. Es va iniciar als Estats Units a finals dels anys 40, especialment per al control de motors Diesel de tracció ferroviària. Als anys 50 es va començar a desenvolupar per Europa, expandint-se el seu ús en els anys 60. La utilització en motors d'automoció va començar els anys 70, però és en els últims deu anys quan aquesta tècnica es generalitza pel seguiment de motors d'automoció, degut principalment a l'aparició d'empreses especialitzades que ofereixen aquest servei a flotes de vehicles.

Abans de procedir a l'estudi dels símptomes obtinguts de l'anàlisi de l'oli, es definiran els termes de degradació i contaminació de l'oli que donen lloc a la separació dels símptomes tractats en aquest capítol i el següent respectivament.

Degradació de l'oli

La degradació de l'oli es defineix com el procés pel que es va reduint la capacitat de l'oli per a complir les seves funcions de lubricar, protegir, netejar, refrigerar i segellar, originat per l'alteració de les seves propietats físiques i químiques.

Les variacions de les propietats físiques i químiques de l'oli es deuen a les diferents condicions a les que es veu sotmès l'oli dins del motor, com elevades temperatures, grans velocitats de cisallament, ambients corrosius, contaminació, etc.

La velocitat de degradació de l'oli és la rapidesa amb la que l'oli perd les seves propietats físico-químiques inicials. Depèn, principalment, de l'estat i manteniment del motor, de la qualitat de l'oli, del tipus de combustible utilitzat i del tipus de servei.

La utilització d'olis de millor qualitat, definida com una millor adaptació de l'oli a les condicions de servei i tipus de motor, retarden el procés de degradació de l'oli. La utilització de combustibles amb elevats continguts de sofre augmenta el procés de degradació dels additius bàsics i el desgast per corrosió.

La velocitat i nivell de degradació de l'oli augmenten quan es produeixen fallades o condicions en el motor que introdueixen contaminants o deterioren els components de l'oli com per exemple, temperatures elevades, pressions extremes en els elements lubricats, baixa compressió, injecció defectuosa, filtre d'aire trencat, etc.

Contaminació de l'oli

La contaminació de l'oli es defineix com la presència de matèries estranyes en l'oli. Pot produir-se per tres causes principals:

- Contaminació externa, a través dels afegit, ventilació del càrter, etc.
- Origen intern, per desgast dels components mecànics i degradació del lubricant.
- Fabricació, on poden quedar partícules utilitzades per a la neteja de les peces, residus del mecanitzat, etc.

Els elements contaminants que es poden trobar en l'oli dels motors són els següents:

- *Elements metàl·lics*: provenen del desgast de les parts metàl·liques del motor sotmeses a fricció. Produeixen desgast abrasiu, rugositat en les superfícies que faciliten el desgast adhesiu i catalitzen els processos de degradació de l'oli.
- *Òxids metàl·lics*: provenen del desgast metàl·lic i l'oxidació de les partícules metàl·liques. Produeixen desgast abrasiu i rugositat en les superfícies que faciliten el desgast adhesiu.
- *Impureses i pols atmosfèrica*: S'introdueix en els motors a través de l'admissió (filtres ineficients o trencats i conductes amb fugues), respiradors, orifici per la mesura del nivell o al afegir oli. Produeix desgast abrasiu i rugositat en les superfícies que faciliten el desgast adhesiu.
- *Productes carbonosos*: Són el resultat del pas dels productes de la combustió a l'oli.
- *Gasos de la combustió*: Entren a l'oli a través del bufat i produeixen àcids que faciliten la degradació de l'oli.

- *Productes de la degradació de l'oli com laques, vernissos, etc.:* Són el resultat del procés d'envelliment de l'oli
- *Aigua:* Procedent de la combustió o sistema de refrigeració. L'aigua augmenta el potencial corrosiu dels àcids. També reacciona amb certs additius per a formar productes agressius. L'aigua també actua com a catalitzador per promoure oxidació en la presència de metalls com ferro, coure i plom. Quan hi ha aigua lliure en el càrter, es poden crear microorganismes que es mengin l'oli, formant àcids que causen oxidació i obstrueixen el filtre. L'aigua redueix la pel·lícula lubricant i interfereix amb la lubricació deixant les peces susceptibles al desgast abrasiu, adhesiu i fatiga. En àrees de pressió les gotes d'aigua col·lapsen causant cavitació. Aquesta cavitació es veu com corrosió o picat de la superfície on hi ha diferències de pressions. Les bombolles d'aigua (o aire en cas d'escuma per excés d'oli en el càrter) arriben al punt de pressió i implosió, causant esquerdes petites o punts microscòpics en la superfície. Cada vegada que implosiona una altra bombolla en el mateix lloc augmenta la grandària d'aquest punt. L'aigua ingressa pels respiradors, retens i el sistema de refrigeració. També s'acumula mitjançant la condensació (humitat en el motor quan es refreda). La taula 35 ens mostra un exemple de contaminació per aigua del sistema de refrigeració.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																				
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Boron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium	
Condition	Tested	Time on Unit																					
218020	25-OCT-02	6557	35	3	11	2	1	18	0	0	13	3	51	18	2085	1	1215	1374	10	0	0	0	74
Abnormal	01-NOV-02	115085											A										A
166435	20-AUG-02	6000	34	1	5	3	0	13	0	0	6	5	85	27	1739	0	884	972	3	0	0	0	186
Abnormal	23-AUG-02	108412											A										A

Figura 35: Aquesta taula ens mostra un exemple de contaminació per aigua del sistema de refrigeració. Font bibliogràfica [d]

- *Glicol:* Prové de fugues internes de lubricant i promou la degradació de l'oli.
- *Combustible:* S'introdueix a l'oli mitjançant el bufat, degut a fallades en els injectors, en la combustió o pel motor fred.
- *Àcids:* Provenen del bufat i la degradació pròpia de l'oli. Produeixen corrosió de metalls i catalitzen la degradació de l'oli.

- **Sodi:** Si la mostra agafada d'oli va ser presa amb el motor calent, qualsevol ingrès d'aigua normalment s'hauria d'haver evaporat i només deixar residus dels seus minerals. En alguns casos el sodi pot entrar amb la humitat de l'aire al motor, però generalment és un residu d'aigua. Aquesta aigua pot haver entrat per una temperatura de culata bufada, camisa o bloc perforat o simplement per neteja del motor amb aigua a alta pressió. A la figura 36, es mostra un exemple de contaminació per aigua i glicol del sistema de refrigeració. De totes maneres, sempre s'ha de controlar aquest contaminant. El sodi també pot estar present en la gasolina.

			SPECTROCHEMICAL ANALYSIS (ppm)																			
Lab No	Date Taken	Time on Oil	Iron	Chromium	Lead	Copper	Tin	Aluminum	Nickel	Silver	Silicon	Baron	Sodium	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc	Molybdenum	Titanium	Vanadium	Potassium
241598	30-OCT-03	1502	7	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	19	3275	0	1281	1316	0	0	0	0
Normal	10-NOV-03	41547																				
224604	20-SEP-03	7982	22	1	12	7	0	4	0	0	29	3	1884	19	3605	0	1309	1443	1	0	0	2190
Critical	17-OCT-03	32393											C									C
153249	10-JUN-03	7058	38	2	1	3	0	8	0	0	20	8	0	32	3326	0	1128	1487	7	0	0	0
Normal	18-JUL-03	17058																				

LabNo	Physical Properties						Additional Tests	
	Fuel	Visc40	Visc100	Water	Soot/Solids	Glycol	SAE	TBN
241598	<1	N/A	15.50	0	0.5	NEG	40	11.8
224604	<1	N/A	15.60	0	1.4	POS C	40	9.5
153249	<1	N/A	15.62	0	0.6	NEG	40	8.0

Figura 36: Aquesta taula ens mostra un exemple de contaminació per aigua i glicol del sistema de refrigeració. Font bibliogràfica [d]

La contaminació i degradació de l'oli estan íntimament relacionades, ja que la contaminació altera les propietats físiques i químiques de l'oli accelerant el desgast del motor i la degradació de l'oli. Per altra banda, la degradació produeix partícules sòlides no solubles en l'oli i facilita els processos de desgast.

Es defineix la velocitat de contaminació com la rapidesa amb la que ocorre la contaminació i depèn tant de la contaminació externa com interna. Per contra, la rapidesa amb que el motor perd massa degut al procés de desgast la denominem velocitat de desgast.

Tan la velocitat de desgast com de contaminació es solen determinar per cada element contaminant (velocitat de contaminació per ferro, per coure, etc.) i arriben a ser iguals quan la única font de contaminació de l'oli és el desgast del motor.

2.5.10.2 Viscositat

La viscositat és la propietat física més important del lubricant, ja que fixa les pèrdues per fregament i la capacitat de càrrega dels coixinets. La viscositat de l'oli depèn de la temperatura. Per expressar la tendència de l'oli a canviar la seva viscositat amb la temperatura s'utilitza l'índex de viscositat, que s'obté de la comparació de la viscositat de l'oli a una temperatura donada amb la d'altres dos olis que tenen la mateixa viscositat a 100°C, però un d'ells té poca variació de la viscositat amb la temperatura i l'altre llur variació és molt elevada.

L'índex de viscositat és menys significatiu com paràmetre de diagnòstic que la viscositat, ja que una disminució de l'índex de viscositat per degradació dels additius corresponents no és, en la majoria dels casos detectable, a més de que pot quedar fàcilment emmascarada per una petita dilució.

La viscositat d'un oli durant el servei pot mantenir-se constant, augmentar o disminuir. La disminució de la viscositat de l'oli es deu, principalment, a la dilució per combustible. Les principals fallades causants de la dilució de l'oli són les següents:

- Conductes de combustible amb fugues internes
- Contaminació externa per combustible o oli menys viscos.
- Injectors defectuosos
- Bomba d'injecció defectuosa
- Degradació de l'oli (additius milloradors de l'índex de viscositat)

L'augment de viscositat en els olis de motor ve donat principalment per la pròpia degradació de l'oli, deguda sobretot a una combustió defectuosa i al bufat, a la contaminació interna o externa de partícules sòlides i a l'existència en l'oli de líquids degradants com l'aigua. Les principals fallades que es poden relacionar amb un augment de la viscositat de l'oli són els següents:

- Bomba d'injecció i/o injectors defectuosos

- Filtre d'aire o conducte d'admissió obstruït
- Turbocompressor defectuós
- Desgast excessiu dels conjunts segment-camisa
- Fallades del sistema de refrigeració o cadena sistemàtica que produeixen fugues internes de refrigerant a l'oli
- Oli degradat
- Oli contaminat
- Filtre d'oli obstruït o ineficient

Finalment, s'ha de senyalar que l'oli pot mantenir una viscositat constant, que en cap cas es deu a que aquest manté inalterables les seves propietats, al contrari, es deu a que es produeixen simultàniament, per una banda fallades que tendeixen a disminuir la viscositat i per altra, fallades que tendeixen a augmentar-la, amb el resultat final que ambdós efectes es contraresten en igual proporció sense canvi aparent de la viscositat.

Els paràmetres de diagnòstic associats a la viscositat de l'oli són:

- Viscositat absoluta i dinàmica. La viscositat absoluta es pot mesurar directament amb els viscosímetres Mac-Michel, Storer, etc.
- Viscositat cinemàtica. La viscositat cinemàtica (ν) està relacionada amb la viscositat absoluta per la següent relació:

$$\nu = \mu / \rho$$

- Viscositat Engler, Saybolt o Redwood. Aquests paràmetres de la viscositat venen determinats pels mètodes de mesura que porten els seus mateixos noms
- Temps de caiguda de boles. Representa el temps que tarda la bola en caure des d'un extrem fins al final d'un tub.

Es considera que un oli en servei està degradat si la seva viscositat ha variat en més o menys un 30% de la d'oli nou. La pèrdua de viscositat causarà major desgast de coixinets (plom, estany, bronze) per falta de lubricació hidrodinàmica. L'augment de viscositat pot causar major desgast d'anells i alta pressió d'oli que pot obrir la vàlvula de pressió del filtre d'oli i passar oli brut al motor. Si ha disminuït la viscositat, les causes més probables poden ser:

- Dilució amb oli més prim (pot ser hidràulic, de transmissió o un SAE 5W-30 augmentat al SAE 15W-40 per error de l'operari).
- Contaminació per combustible (problemes d'injectors, falta de termòstat, viatges curts, marxa en buit, etc).
- Ruptura de polímers (utilitzats per a fabricar l'oli multigrav) per cisallament (polímers barats, altes temperatures o pressions)

2.5.10.3 Punt d'inflamació

El punt d'inflamació és la temperatura mínima a la qual l'oli desprèn la quantitat suficient de vapors com per inflamar-se momentàniament, al aplicar-li una flama. El punt d'inflamació està molt relacionat amb la viscositat, de manera que quan la viscositat baixa, el punt d'inflamació disminueix i viceversa.

La temperatura d'inflamació es determina calentant la mostra en equips normalitzats i aplicant una petita flama en la proximitat de la superfície. La temperatura a la qual l'oli s'inflama momentàniament representa el punt d'inflamació de la mostra. Durant l'avaluació del punt d'inflamació d'olis usats es sol utilitzar el sistema de vas obert (Cleveland Open Cup).

El punt d'inflamació d'un oli usat augmenta amb el temps d'utilització, degut a l'evaporació de les parts volàtils del mateix. La reducció del punt d'inflamació es produeix per la presència de combustible, essent més acusada aquesta disminució en olis amb baix contingut de compostos volàtils. Es considera que s'ha arribat al límit admissible de contaminació per combustible quan el punt d'inflamació ha disminuït un 30% o si baixa de 180°C. A la figura 38 podem observar un gràfic que relaciona el punt d'inflamació, límits d'inflamabilitat, temperatura y tensió (pressió) de vapor de l'acetona y de l'alcohol etílic. Resultats obtinguts en recipient tancat a pressió atmosfèrica normal en equilibri de fase líquida y llurs vapors amb l'aire.

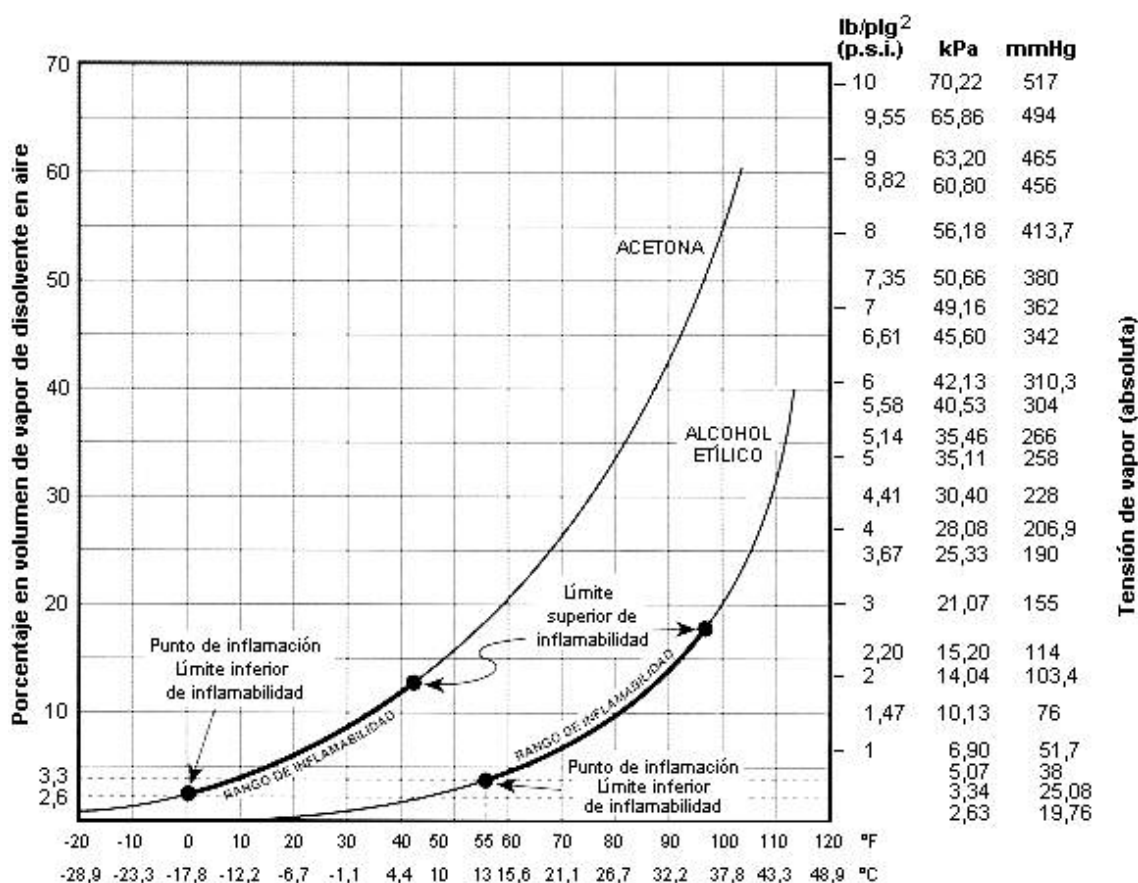


Figura 38: Relació entre el punt d'inflamació, límits d'inflamabilitat, temperatura i tensió (pressió) de vapor de l'acetona i de l'alcohol etílic. Resultats obtinguts en recipient tancat a pressió atmosfèrica normal en equilibri de fase líquida i llurs vapors amb l'aire. Font bibliogràfica [15]

2.5.10.4 Acidesa/Basicitat

L'acidesa o basicitat d'un oli nou dóna informació sobre el grau de refinament i additius; mentre que en un usat dóna informació sobre els contaminants i fonamentalment sobre la degradació del mateix.

El monitoritzat de l'acidesa permet avaluar els canvis químics experimentats per l'oli com a conseqüència de la seva oxidació i la contaminació pels àcids provinents de la combustió.

Els mètodes més utilitzats per a la mesura de la basicitat són els prescrits per les normes ASTM que utilitza àcid clorhídric, àcid perclòric o indicadors de color.

Com és obvi les fallades que produeixen un augment de l'acidesa de l'oli produeixen simultàniament una reducció de la basicitat pròpia de l'oli. Els més importants són els següents:

- Bomba d'injecció i/o injectors defectuosos
- Turbocompressor defectuós
- Filtre d'aire o conducte d'admissió obstruït
- Oli degradat
- Oli contaminat, principalment amb combustible (especialment quan té elevat contingut de sofre) i àcids.
- Fallades del sistema de refrigeració que produeixin sobreescalfament del motor
- Barreja amb oli o additius de l'oli
- Filtre d'oli obstruït o ineficient

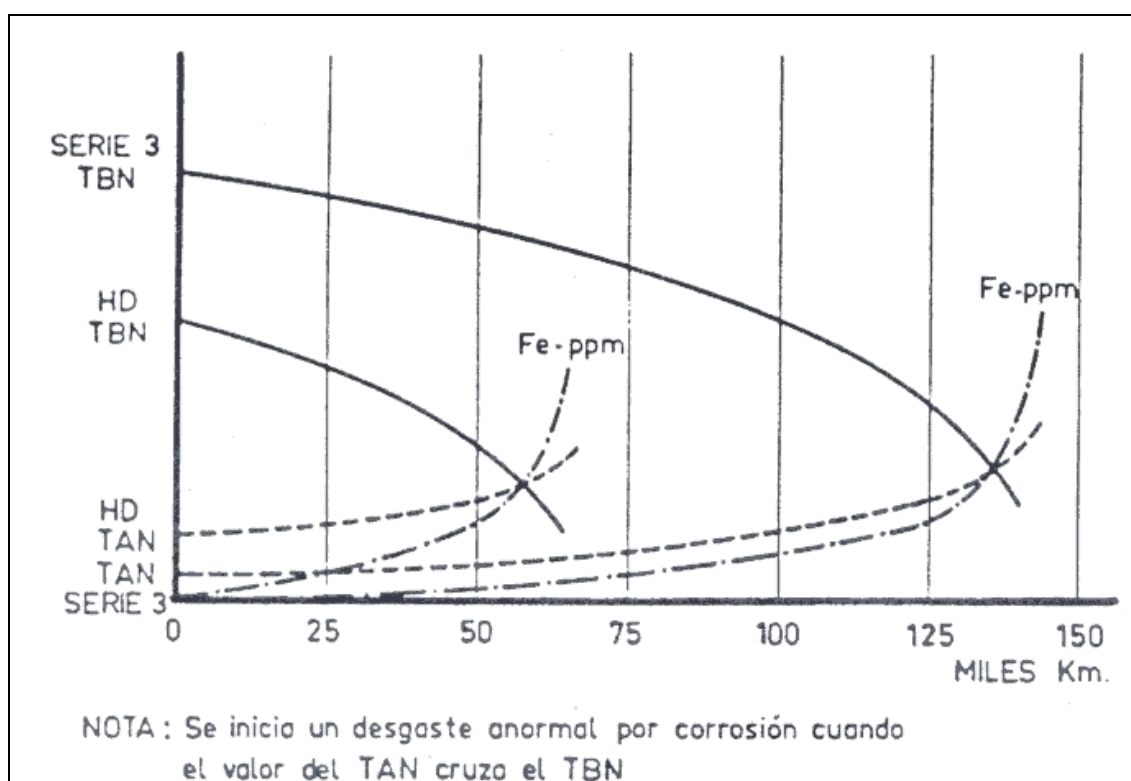


Figura 39: Relació entre el TBN i el contingut de partícules de ferro en l'oli. Font bibliogràfica [5]

Els paràmetres de diagnòstic associats a l'acidesa/basicitat són:

- Nombre d'àcid total (TAN). El nombre d'àcid total representa els mil·ligrams de KOH necessaris per a neutralitzar a tots els constituents àcids presents en la mostra d'oli,

incloent dèbils i forts. S'utilitza poc per monitoritzar l'oli, perquè la seva mesura depèn dels additius. A més, s'ha comprovat experimentalment que existeix una relació entre la reducció del nombre de base total i l'augment del TAN, pel que es prefereix monitoritzar el primer per ser més significatiu per avaluar l'oli i diagnosticar causes de fallades.

- Nombre de base total (TBN). El nombre de base total representa els mil·ligrams equivalents de KOH necessaris per a neutralitzar només als constituents alcalins existents en un gram de mostra. Aquest paràmetre és el més indicatiu de tots els paràmetres de neutralització i per tant, el més utilitzat en l'evaluació d'olis de motor, destacant que reduccions per sota del 50% del valor inicial de TBN, s'aconsella el canvi d'oli del motor.

Experimentalment, s'ha demostrat que existeix una relació directa entre la reducció del TBN i el desgast, com s'observa en la figura 39.

2.5.10.5 Insolubles

Varis dels productes de la degradació de l'oli són sòlids i insolubles en l'oli base. D'aquests insolubles una part es diposita, com laques i vernissos, en els allotjaments dels segments, faldilles dels pistons i altres superfícies del motor i una altra part, es diposita en l'interior del càrter i dels conductes de lubricació, com "Sludges", amb el risc de taponar-los. La resta queda dissolta en l'oli augmentant la seva viscositat.

El coneixement del contingut i composició d'insolubles en l'oli és interessant pel diagnòstic, ja que estan relacionats directament amb la degradació de l'oli, l'eficàcia dels filtres, el desgast i en el cas d'olis detergents amb la saturació de la capacitat dispersant.

Els insolubles es mesuren mitjançant els mètodes basats en la successiva solubilitat o insolubilitat en diversos dissolvents dels productes d'alteració de l'oli, tals com el pentà i el toluè. El mètode consisteix en dissoldre part de la mostra de l'oli en un dels productes anteriorment nombrats, i posteriorment es separa la part insoluble per filtració o per centrifugació, depenent dels resultats del tipus de solut utilitzat.

Els insolubles en pentà representen la quasi totalitat dels productes insolubles de l'oli i estan formats per contaminants externs insolubles en l'oli i els productes de la degradació del mateix que es separen fàcilment.

Teòricament, els insolubles en toluè representen els productes procedents de la contaminació externa, de la corrosió, del desgast dels mecanismes lubricats, del carbó format en la combustió incompleta del combustible i en una possible coquitxació parcial de l'oli. Es pot considerar que un valor superior al 3% d'insolubles indica que l'oli està degradat.

Les principals fonts de formació d'insolubles són l'oxidació, la combustió, el desgast i la contaminació externa. Per tant les fallades que produeixen un augment d'insoluble són:

- Bomba d'injecció i/o injectors defectuosos
- Turbocompressor defectuós
- Fallades de desgast de components del motor
- Filtre trencat, obstruït o entrada d'aire sense filtrar
- Oli degradat, ja que la degradació de l'oli produeix productes no solubles
- Oli contaminat, especialment amb metalls, productes de l'oxidació i carbó
- Filtre d'oli obstruït o ineficient

2.5.10.6 Detergència /dispersivitat

La propietat detergent dels olis s'obté per la utilització d'additius capaços d'evitar o reduir la formació de dipòsits carbonosos en els allotjaments de segments, faldilla dels pistons i guies, originats per les altes temperatures del motor que produeixen canvis en la naturalesa química de l'oli.

Els olis detergents redueixen l'oxidació de l'oli a alta temperatura i mantenen en suspensió els dipòsits que es produeixen a temperatures normals, mitjançant un mecanisme que encara no és ben conegut.

La dispersivitat és la propietat de l'oli destinada a dispersar els fangs humits originats pel funcionament fred del motor. Aquests fangs solen estar constituïts per barreges complexes de productes parcialment cremats de la combustió, carbó, òxids i aigua. La detergència i la dispersivitat es redueixen amb la degradació i el consum dels additius corresponents, i augmenten amb la reposició d'oli nou.

La reducció de la detergència i la dispersivitat de l'oli es deu fonamentalment a la degradació de l'oli, causada per les fallades vistes en apartats anteriors que produeixen un augment de la velocitat de degradació.

2.5.10.7 Constant dielèctrica

La constant dielèctrica és la capacitat per a conduir l'electricitat comparada amb el buit. En l'oli aquesta propietat depèn de l'oli base, dels additius i varia durant la utilització per la degradació i contaminació del lubricant.

La variació de la constant dielèctrica es deu a que durant l'ús de l'oli es formen compostos com els peròxids, àcids, etc que converteixen les molècules de l'oli en polars, augmentant el valor de la constant dielèctrica. Els elements contaminants com l'aigua, metalls, etc també produeixen un increment de la constant dielèctrica.

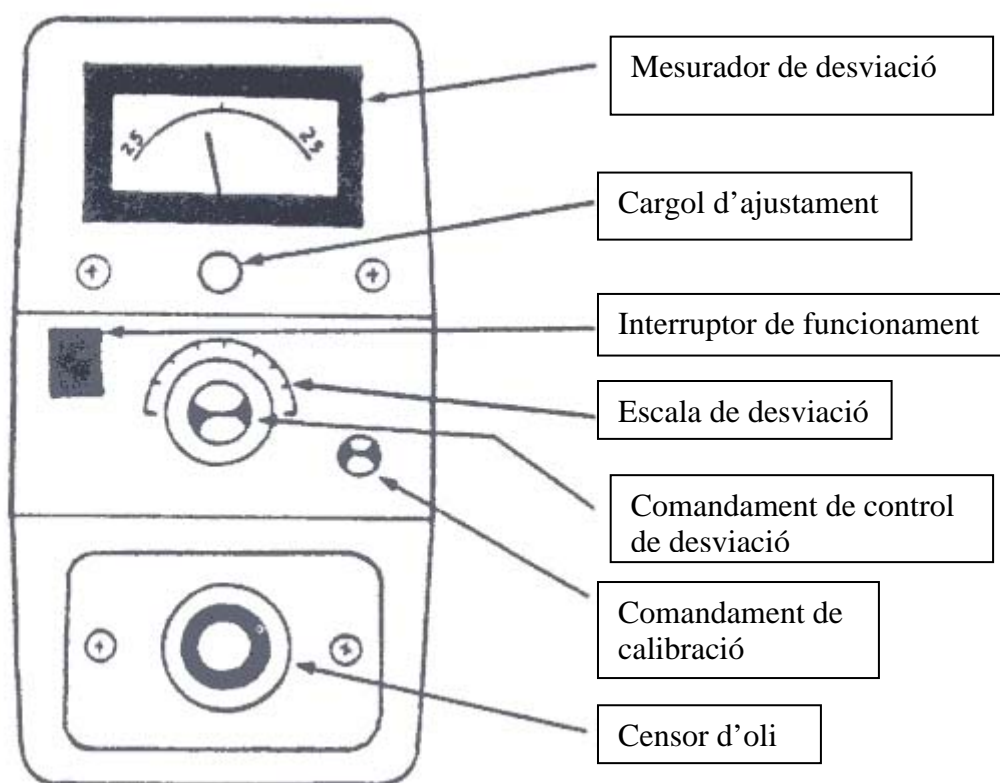


Figura 40: Mesurador de desviació de la constant dielèctrica de l'oli usat. Font bibliogràfica [5]

La mesura de la constant dielèctrica pot fer-se mitjançant sensors de capacitació (figura 40). El principi de mesura d'aquests sensors es basa en que l'oli nou i l'usat tenen constants dielèctriques diferents.

La variació de la constant dielèctrica es deu a la degradació de l'oli, causat pel propi ús del mateix o per la contaminació. En funció de la variació de la constant dielèctrica que produeixen, els contaminants es poden classificar en els següents grups:

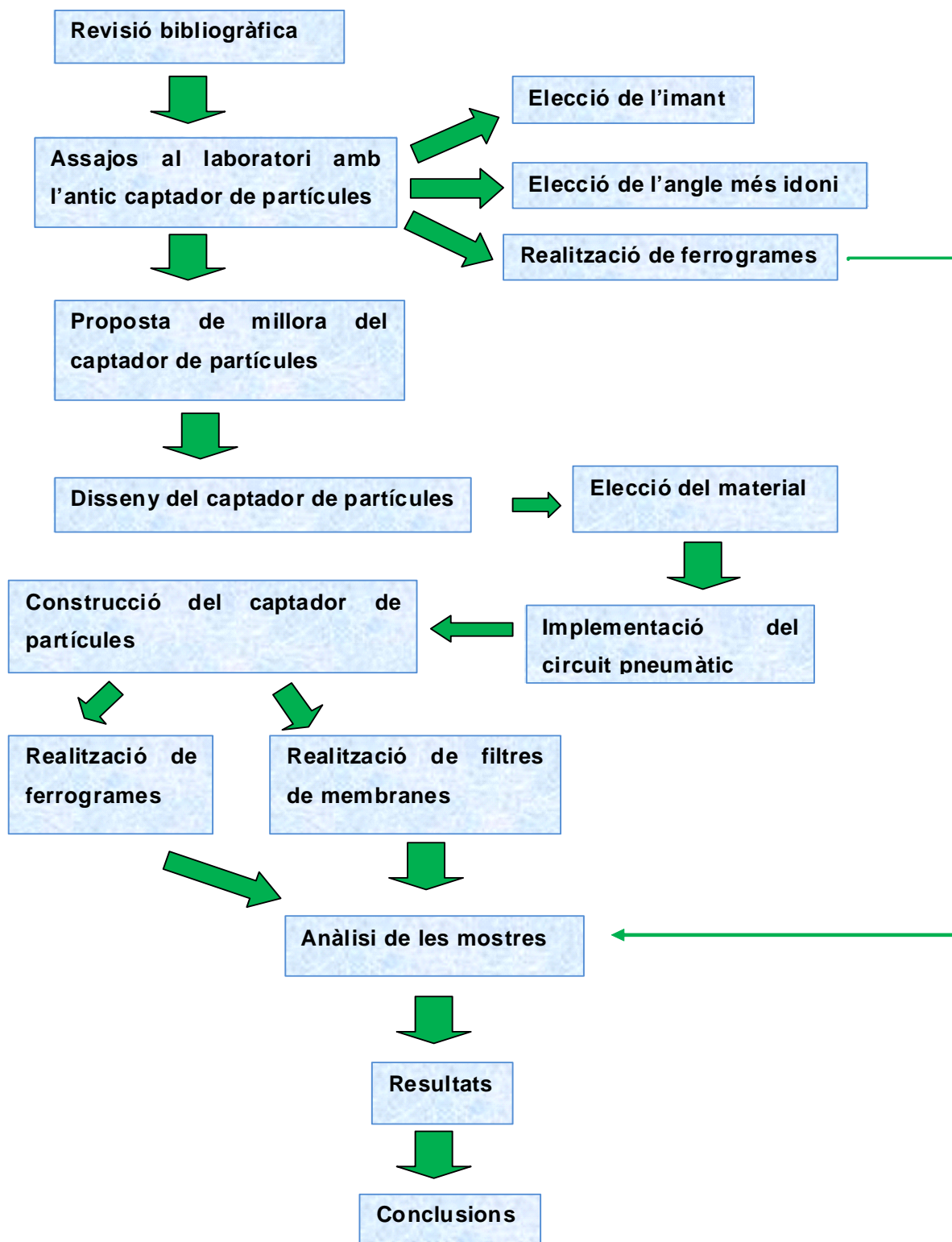
- Grup 1: A aquest grup pertanyen els contaminants de l'oli que produeixen un increment moderat de la constant dielèctrica, com brutícia, oxidació i àcids. Les fallades que poden produir aquest efecte són:
 - Degradació de l'oli
 - Contaminació externa
 - Filtre d'aire trencar o mal instal·lat
 - Fallades del sistema de refrigeració, que produeixen sobreescalfament del motor.
 - Filtre d'aire ineficient

- Grup 2: A aquest grup pertanyen els contaminants que produeixen un increment gran comparats amb els del grup 1 com aigua, anticongelant, metalls i carbó. La presència de metalls pot produir una fluctuació i inestabilitat de la mesura. Les fallades que poden produir aquest efecte són:
 - Bomba d'injecció i/o injectors defectuosos
 - Turbocompressor defectuós
 - Filtre d'aire o conducte d'admissió obstruït
 - Fallades de desgast de components del motor
 - Oli degradat, ja que la mateixa degradació augmenta la velocitat de desgast
 - Fallades del sistema de refrigeració o cadena cinemàtica que produeixen fugues internes de refrigerant a l'oli
 - Filtre d'oli obstruït

- Grup 3: A aquest grup pertanyen els compostos que produeixen una disminució de la constant dielèctrica com el gasoil.
 - Injector defectuós (goteja)
 - Conductes de combustible amb fugues internes
 - Contaminació externa per combustible o oli menys viscos

3 – METODOLOGIA

El següent esquema general es mostra per a donar una idea aproximada del procés que s'ha seguit per realitzar aquest projecte.



Esquema 1: Esquema del procés general seguit en el treball

A continuació, s'explica a grans trets un petit resum de la metodologia emprada que segueix l'esquema 1.

Per a realitzar aquest projecte, primerament vàrem fer un recull d'informació en llibres i webs per ajudar-nos a obtenir els coneixements necessaris per a començar el projecte. De tota aquesta informació en vam fer una recopilació tal i com es pot veure a l'apartat 2 del treball. L'estudi en el laboratori va començar amb les proves inicials amb l'antic captador de partícules. Aquestes proves consistien en realitzar ferrogrames i analitzar-los al microscopi. Gràcies a aquestes proves vam poder extreure quins factors i quins elements es podrien millorar per facilitar i millorar l'obtenció de ferrogrames. A partir de la millora del captador de partícules vàrem començar el seu disseny.

El primer que vam necessitar va ser l'elecció dels materials. Per a automatitzar el captador vam optar per un circuit pneumàtic ja que disposàvem de presa d'aire comprimit i els elements necessaris. Una vegada vam obtenir tot això vam procedir a la seva construcció i muntatge.

Quan vam enllestir la seva construcció vam procedir a realitzar les proves necessàries per a validar el seu funcionament i, és clar, estudiar les mostres obtingudes prèviament. De totes aquestes mostres i les extreïes amb l'antic captador de partícules vam procedir a analitzar-les al microscopi i extreure'n uns resultats i unes conclusions.

3.1 Obtenció de les mostres

Les mostres obtingudes per a realitzar el treball són molt variades i diverses. Al no tenir un subministrador fix, ens hem vist obligats a buscar els olis pel nostre compte en diferents vehicles com motocicletes, automòbils, vaixells i camions.

El procés d'extracció ha estat realitzat de forma domèstica amb una xeringa, un tub de plàstic i un pot on dipositar-hi l'oli. El procediment utilitzat ha estat el següent:

- Aixequem la vareta de l'oli per comprovar a quina alçada es troba l'oli. Si l'oli es troba entre les dues marques, procedim a extreure'l, en cas contrari no continuem amb l'operació.

- Connectem el tub amb la xeringa i l'introduïm dins del forat per on hem extret la vareta fins que toquem el fons.
- Aixequem molt lentament l'èmbol de la xeringa fins a obtenir alguns mil·lilitres de mostra (aproximadament 10 ml).
- Traiem el tub fora del dipòsit d'oli i el deixem caure dins el pot de mostres.

3.2 Preparació de les mostres

Una vegada hem recollit les mostres, procedim a guardar-les i classificar-les al laboratori. Per a la creació d'un ferrograma necessitem una quantitat de mostra equivalent a 3 ml mínim. Per tant, primerament, introduïrem la mostra extreta dins del bany d'ultrasons, el qual ens ajudarà a separar les partícules del fons i a distribuir-les homogèniament. Seguidament extraurem una quantitat d'uns 3 ml amb la pipeta i els diluïrem dins d'un vas de precipitats amb 2 ml de dissolvent. Amb la xeringa de 5 ml succionem la dissolució i ja està preparada per a utilitzar-la al captador de partícules per a realitzar el seu posterior ferrograma.

3.3 Objectius de l'estudi de les proves inicials.

Les primeres proves de ferrografies s'han realitzat amb l'antic captador de partícules que hi havia al laboratori. Aquest ens ha ajudat a introduir-nos en el tema i a trobar punts a millorar. Els objectius a complir en les proves inicials són els següents:

- 1 – Realitzar proves de ferrografies en condicions reals, és a dir simular l'assaig ferrogràfic per tenir una idea aproximada de quins factors s'hauran de mantenir i quins canviar.
- 2 – Escollir una disposició d'imant final adient, que compleixi les característiques requerides en el nostre cas i que serà la que anirà instal·lada a l'aparell.
- 3 – Escollir quins dels imants disponibles al laboratori és el més eficaç a l'hora d'atrapar partícules al cobreobjectes.

3.4 Elecció de l'imant

A l'hora d'escollir l'imant hem tingut en compte una sèrie de factors importants pel seu treball al captador:

1 – Facilitat de construcció i muntatge

2 – Baix cost econòmic, sempre dins d'uns marges acceptables. Encara que els diferents tipus d'imants ens els han subministrat el departament de mecànica de fluids.

3 – Aconseguir un camp magnètic uniforme al llarg del cobreobjectes. D'aquesta manera aconseguirem que les partícules més grans es dipositin al principi del portaobjectes, mentre que les més petites es dipositin al final. Així, aconseguirem una gradació de major a menor grandària al llarg de la zona de sedimentació, a causa de que la força d'atracció magnètica és proporcional al volum de la partícula.

4 – L'àrea mínima que ha d'abarcàr el camp magnètic de l'imant ha de ser l'equivalent a l'àrea del cobreobjectes.

5 – Disposar d'un angle d'inclinació baix. D'aquesta manera les partícules no fèrriques quedaran atrapades per les fèrriques, les quals estaran retingudes per l'atracció de l'imant.

Després de realitzar diverses proves entre l'imant de Neodimi i el de ferrita, vam decidir quedar-nos amb el primer, ja que les proves realitzades eren més satisfactòries.

L'imant escollit és de Neodimi, aquest és un element químic del grup dels lantànids de les terres rares. Es va descobrir al fraccionar el didimi en seues parts: el neodimi i el praseodimi.

Les característiques del Neodimi són les següents:

- Les seves valències són 3 i 4.
- El seu nombre atòmic és 60.
- El seu punt de fusió és a 1024°.
- El seu pes atòmic és 144,27
- El seu punt d'ebullició és a 3027°C
- La seva densitat és de 7g/cm³

El Neodimi (Nd) és un material magnètic isotròpic (diferents propietats magnètiques segons la direcció) fet amb pols de terres rares. Aquest material té excel·lents propietats magnètiques, i és, amb molta diferència, el material magnètic més potent i car conegut.

3.5 Obtenció d'un ferrograma

Per aconseguir realitzar ferrogrames s'han de seguir diversos passos que descriurem a continuació. Cal afegir, que aquests passos descrits a continuació són per realitzar ferrogrames de manera manual. Els ferrogrames a partir del nostre captador s'expliquen en l'annex A: Manual d'usuari del captador de partícules. Primerament, s'ha de preparar i diluir la mostra, això és, s'ha d'obtenir una mostra representativa del conjunt total i d'un mostreig prolongat, on les partícules estiguin dispersades i homogeneïtzades en la major mesura possible. Es recomana escalfar la mostra fins a una temperatura de 65°C Cal barrejar la mostra agitant-la ben fort. Es pot optar per un bany d'ultrasons, com és el meu cas, on durant cinc minuts, les partícules es dispersen de les aglomeracions de restes, de manera que tot el sediment s'homogeneïtza i queden suspeses en el lubricant. A la figura 3.1 apareix una fotografia del bany d'ultrasons del laboratori de lubricants de l'EPS de Girona.



Fig 1: Fotografia de l'aparell per a realitzar banys d'ultrasons, situat al laboratori de lubricants de l'EPS de Girona

Una vegada s'ha barrejat la mostra, es procedeix a la dissolució de la mateixa. En algunes mostres d'oli hi ha una gran acumulació de partícules que presenten una sèrie de problemes:

- En l'aparell DRIII de lectura directa, els indicadors digitals de lectura de desgast, marquen 190 ambdós. Això és sinònim d'error, l'aparell queda saturat a causa de la gran opacitat de la mostra. Sol ocórrer en olis de motors quatre temps, els quals són molt negres. A més, l'aparell perd fiabilitat quan treballa amb valors molt alts. Aquest problema es soluciona amb un procediment de dilució que s'indica en el manual del propietari del DRIII.
- En ferrogrames amb una densa acumulació a l'entrada, degut a que la concentració de partícules és molt alta. Com a conseqüència obtenim els següents problemes:
 - Distribució de grandàries distorsionada
 - Partícules individuals difícils d'observar

Quan un ferrograma flueix, un pesat dipòsit a l'inici pot provocar una intensificació local del camp magnètic, resultant una precipitació prematura de les partícules més petites. Aquest munt de partícules petites cobreixen i oculten la majoria de partícules grans.

Una vegada tenim la mostra preparada i diluïda, podem passar a analitzar-la per mitjà de tècniques ferrogràfiques, com són la ferrografia i la ferrometria. Decidim quants ml de mostra utilitzarem per realitzar el ferrograma. En la realització d'aquest estudi s'han realitzat els ferrogrames amb 2, 3, 4 i 5 ml de dissolució depenent del tipus de mostra. Està clar que quants més ml agafem, més partícules quedaran atrapades al portaobjectes.

Per a realitzar el ferrograma hem de diluir la quantitat de mostra desitjada amb el dissolvent, el nostre dissolvent duu escrit "fixer oil" a la seva etiqueta. Aquest dissolvent és tetracloretilè amb una proporció de 1:1, això significa la mateixa quantitat de cada cosa. L'ús d'aquest dissolvent té dues funcions:

- 1 - Ajudar a netejar l'oli, ja que elimina del cobreobjectes l'oli que per efecte de la gravetat no acaba de baixar.

2 - Ajuda a la fixació de les partícules en el cobreobjectes.

En el ferrograma captador de partícules hi col·locarem un cobreobjectes, el qual farà de suport per a la realització del ferrograma. El cobreobjectes el col·locarem una mica sortit de l'imant perquè faciliti la caiguda fins el vas de precipitats. El deixarem fixat a l'imant gràcies a uns talls de cinta adhesiva, que a més, facilitaran la conducció del lubricant fins al vas de precipitats.

NOTA IMPORTANT: Encara que de vegades jo l'anomeni portaobjectes, en realitat és el cobreobjectes del portaobjectes. L'explicació de per què utilitzo el cobreobjectes i no el portaobjectes és molt senzill: el gruix del portaobjectes en comparació al cobreobjectes és considerable, per tant si usem el cobreobjectes, disminueix la distància de l'imant al pas de lubricant. Això implicarà un augment de la quantitat de partícules que queden atrapades i un augment de la força d'atracció sobre del portaobjectes, en aquest cas el cobreobjectes.

Una vegada s'hagi diluït la mostra amb el fixer-oil dins d'un tub d'assaig i el portaobjectes (cobreobjectes) sobre de l'imant, podem operar de dues maneres diferents:

- *Manualment:* Agafarem la mostra amb l'ajuda d'una pipeta. La deixarem caure manualment gràcies a la gravetat, a sobre del portaobjectes. Primer construirem un camí a sobre del portaobjectes per tal de facilitar el transport del lubricant per sobre seu. Després anirem deixant caure el lubricant molt lentament des de la part superior del portaobjectes. En la figura 3.4 es pot observar com es deixa caure l'oli manualment des de la pipeta. Farem aquesta operació fins a acabar la mostra del tub d'assaig.

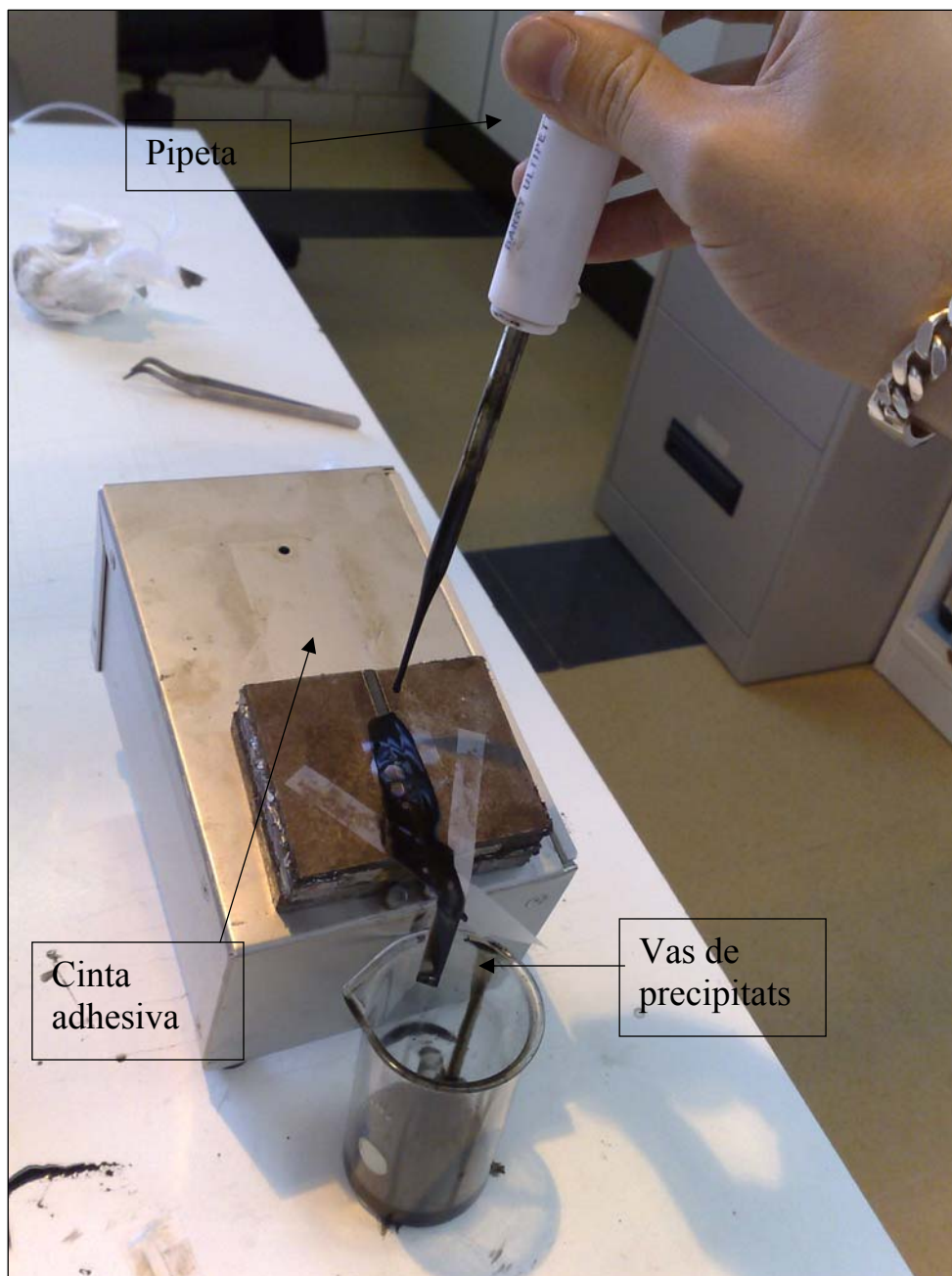


Fig 4: Caiguda manual de lubricant a sobre del captador de partícules.

- *Amb l'ajuda del DRIII:* Col·locarem el tub d'assaig amb la mostra en un dels suports per a tubs d'assaigs que té el ferrograf DRIII a la part superior. Introduïrem dins del tub un dels caps del tub més llarg i fi per a realitzar l'anàlisi. L'altre cap l'introduïrem en la part baixa del ferrograf DRIII dins l'entrada de la bomba, que la utilitzarem per a bombejar la mostra fent-la pujar pel tub d'anàlisi, fins que comenci a baixar pel mateix tub, moment en què deixarem de bombejar degut a que la mostra baixarà tota sola gràcies a que es formarà un sifó en la part superior del tub. Serà en aquest moment quan el cap del tub d'anàlisi introduït dins de l'entrada de la bomba serà

extret i el col·locarem dins el suport realitzat per a aquest fi en el ferrograf captador de partícules, fins a que surti per l'altra banda. El lubricant sortirà per sobre del portaobjectes situat sobre el ferrograma, però sense que arribi a tocar-lo. En la figura 3.5 es poden observar les parts que componen el sortidor del captador de partícules antic.

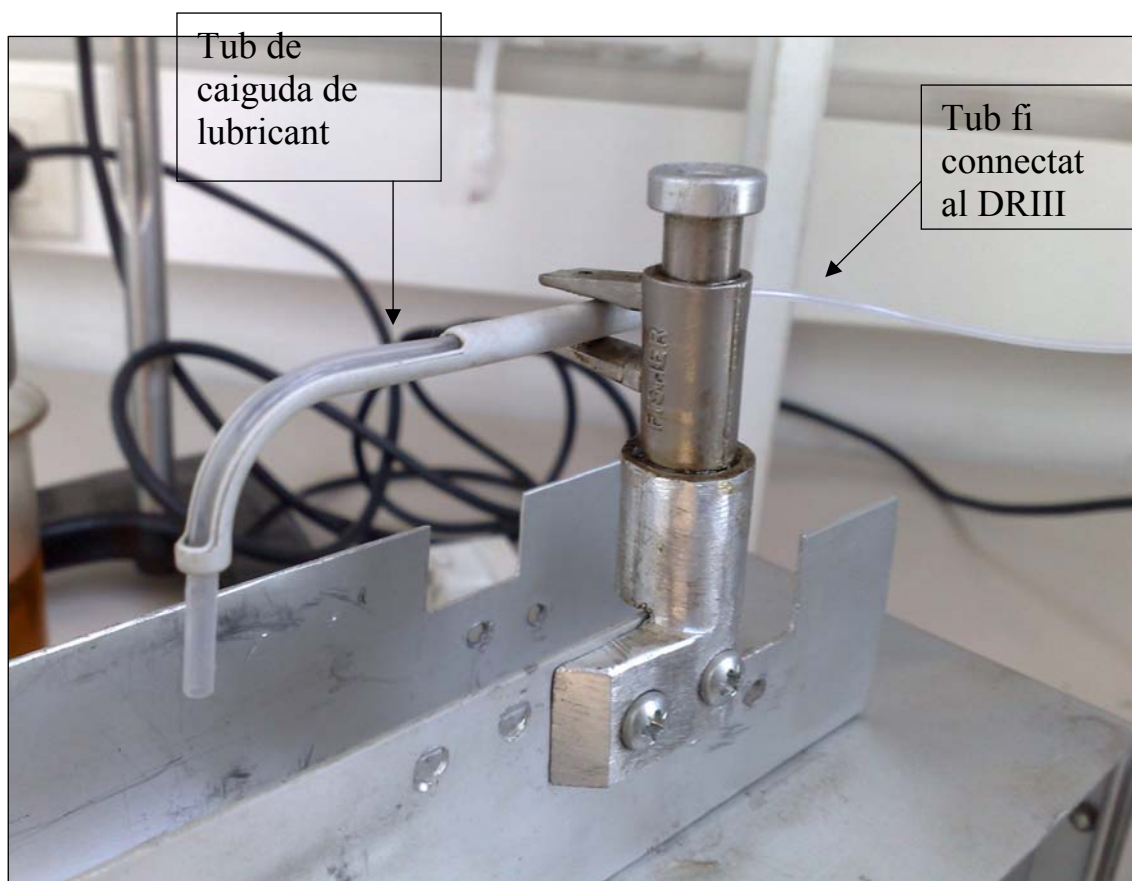


Fig 5: Fotografia del sortidor del captador de partícules.

Cal dir que per a la realització d'aquest procediment, s'haurà d'anar ràpid perquè pel tub d'anàlisi està baixant mostra, amb el que podem embrutir la taula i els instruments de treball. La mostra anirà baixant lentament (depenent de la viscositat de l'oli, la temperatura i de les dilucions), fins que es completi l'anàlisi al baixar tota la mostra.

Una vegada obtingut el ferrograma, s'ha de netejar les restes d'olis de sobre del portaobjectes amb l'ajuda del dissolvent que ja hem comentat anteriorment. El procediment

serà el mateix que hem seguit anteriorment, podent escollir qualsevol dels dos: manual o amb l'ajuda del DRIII. Una vegada estigui sec el ferrograma i sense mostres d'oli, procedim a col·locar-lo a sobre d'un portaobjectes (aquesta vegada sí, perquè fins ara estàvem usant un cobreobjectes) i l'enganxem amb cinta adhesiva per l'inici, just per on començava a caure el lubricant. Finalment el marquem amb retolador per identificar-lo amb més facilitat i apuntem les dades importants de l'experiment. En la figura 3.6 es poden veure diferents ferrogrames realitzats de forma manual.

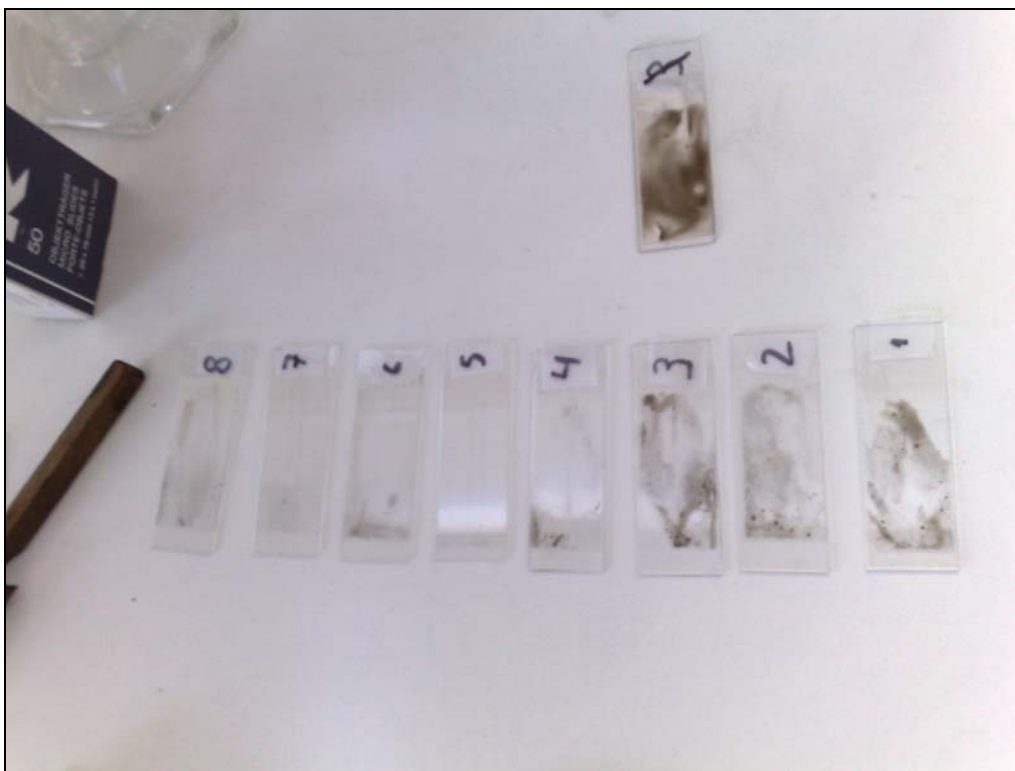


Fig 6.: Fotografia de diferents ferrogrames realitzats de forma manual. Es pot veure la mala evolució de les mostres de la n^o 1 fins a la n^o3 a causa d'una inexperiència inicial.

3.6 Descripció d'un ferrograma

El ferrograma obtingut amb qualsevol dels mètodes descrits anteriorment són dues bandes fosques disposades longitudinalment al llarg del portaobjectes i paral·leles entre elles. A la figura 3.7 podem veure com s'estructura un ferrograma i es pot veure que les partícules més grans es concentren a l'inici i les menors a la sortida.

Zona d'entrada

La zona d'entrada sol ser la zona més ampla del ferrograma, i és on s'hi troben les partícules de major grandària perquè les forces amb que són atretes són proporcionals al seu volum. Mentre que la resistència a la viscositat del fluid és proporcional a la superfície exterior de la partícula. És a dir, per partícules amb igual forma, primer es dipositarà la de més volum, ja que rebrà una força d'atracció major.

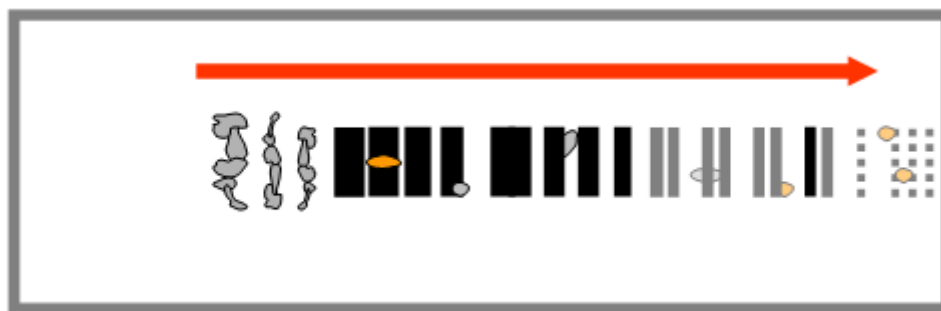


Fig 7. Exemple de com s'estructura un ferrograma

Zona central

La zona central és la millor zona en quant a l'observació microscòpica de les partícules, a causa de que és la zona menys densa i la major del ferrograma. Podem trobar-hi la major part de les partícules característiques del ferrograma. S'hi pot distingir perfectament la progressiva graduació de les grandàries de les partícules.

Zona de sortida

La zona de sortida del ferrograma no dóna informació constant, degut a que algunes vegades n'aportarà molta i d'altres no. En aquesta zona, es on es dipositen les partícules més petites, que solen acumular-se formant unes zones més denses que en la resta del ferrograma. És freqüent trobar-hi partícules grans a causa de l'arrossegament d'aquestes a causa del dissolvent emprat per a la neteja del ferrograma. En alguns casos, el drenatge final pot endur-se gran part dels sediments d'aquesta zona.

3.7 Construcció del captador de partícules

3.7.1 Introducció

En aquest apartat veurem el procés de construcció, assemblatge i muntatge de les peces que conformen l'aparell de separació de partícules en olis usats. Cal destacar que l'aparell s'ha construït absolutament amb peces que s'han trobat pel taller de pneumàtica i lubricants que en aquells moments estaven en desús. Els únics components que s'han comprat són els consumibles: portaobjectes, filtres de membrana i xeringues. Per tant, està clar que s'hauria pogut realitzar un millor disseny, optimitzant més l'espai o el material però hem volgut crear una màquina única reciclant peces. L'aparell quedarà al laboratori de lubricants, amb l'esperança de que algun dia ajudi a les generacions futures a desenvolupar millor els seus coneixements sobre lubricants i manteniment.

3.7.2 Disseny del captador de partícules

El disseny del captador de partícules s'ha dut a terme amb programari informàtic de la casa Autodesk: Autodesk Inventor (com es pot apreciar a la figura 3.8), Autocad 2009 i Autodesk VIZ (figura 3.9). Els plànols en 2D del captador estan inclosos al document 2: plànols. Hem tingut en compte diversos factors i objectius a l'hora de millorar el disseny del captador:

- Automatitzar el captador.
- Donar una velocitat de caiguda de l'oli lenta i constant a sobre del cobreobjectes.
- Facilitar el transport del captador.
- Aconseguir una nova metodització senzilla del sistema d'obtenció de ferrogrames. L'objectiu és l'equivalència de la mostra independentment de l'usuari que la utilitzi, de manera que es redueixi la possibilitat d'error en la realització de l'assaig i augmenti la fiabilitat dels ferrogrames.
- Facilitat de muntatge i desmuntatge, de manera que es pugui prevenir un possible recanvi de peces que hagin quedat desgastades o malmeses al llarg del temps.

- Capacitat de captar partícules d'origen no fèrric, a més de les fèrriques. Això es pot aconseguir de dues maneres: que les partícules fèrriques del ferrograma actuïn com una barrera per les demés partícules, les quals veuran dificultada la seva trajectòria a través del ferrograma, o a través d'algun altre sistema de filtratge de partícules com poden ser els filtres de membrana.
- El camp magnètic creat ha de ser suficientment potent, en comparació amb el reduït espai que es vol magnetitzar. De manera que ens permeti atraure les partícules més petites, les quals per la seva morfologia resulten més difícils d'atraure magnèticament que les de major grandària.
- Els materials usats al voltant de l'imant han de ser d'origen no fèrric, per tal de no influir en el camp magnètic que es crearà. A la vegada han de ser materials suficientment capaços de donar solidesa al captador.
- Baix cost econòmic.
- Tenir un angle d'inclinació variable en l'aparell, enlloc de tenir-lo fix.

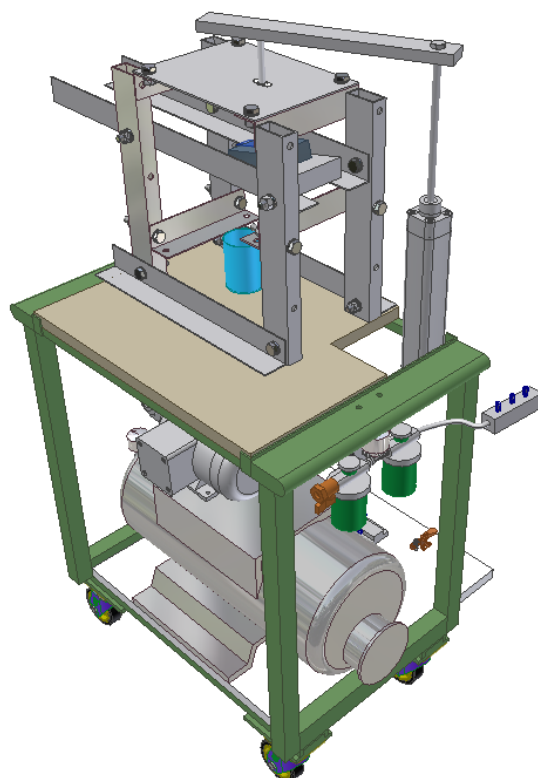


Fig 8.: Imatge d'Autodesk Inventor del captador de partícules

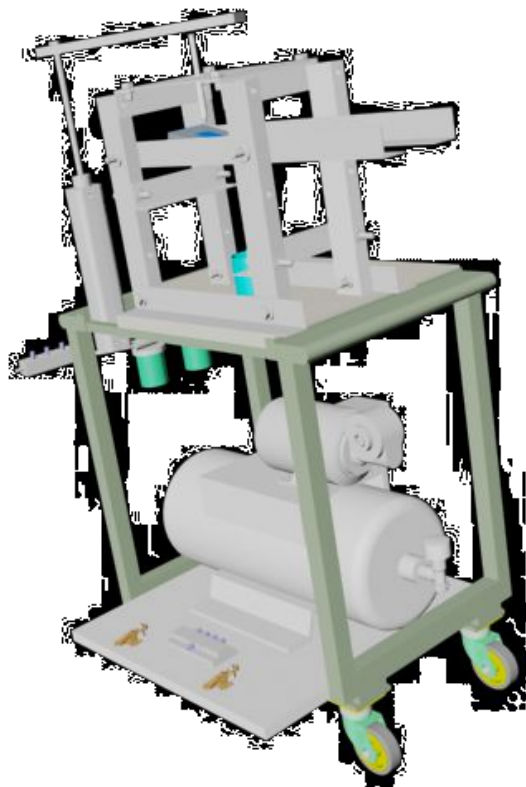


Fig 9.: Imatge del captador de partícules (Render d'Autodesk VIZ 2008)

A la figura 3.9 es pot observar un render realitzat amb Autodesk VIZ, el problema d'aquest programa és que absorbeix molts dels recursos de l'ordinador i es tarda aproximadament uns 30 minuts en carregar l'arxiu. El color negre del voltant es deu a que el fons de l'Autodesk VIZ és negre.

3.7.3 Elements del captador de partícules

A continuació es mostra un llistat dels elements que componen el captador de partícules, juntament amb un petit esquema d'aquest. Els plànols del captador es poden observar amb més claredat i més detingudament en el document N°2 d'aquest projecte: Plànols.

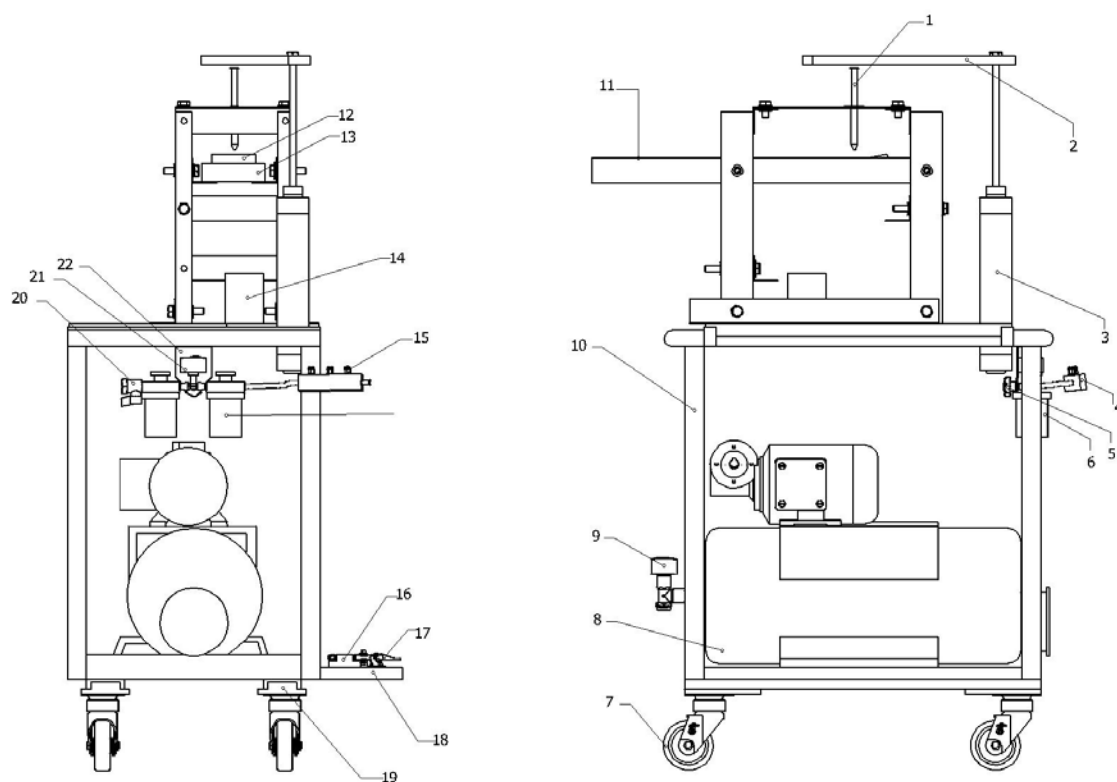


Fig 10.: Esquema del captador de partícules

Llista dels elements:

1 – Xeringa de plàstic d'una capacitat per a 50 ml	12 – Imant de Neodimi
2 – Barra de contacte del pistó en vers la xeringa d'una llargada de 350 mm	13 – Pla inclinat
3 – Cilindre pneumàtic Festo de doble efecte	14 – Vas de precipitats
4 – Distribuïdor amb una entrada i quatre sortides amb ràcords	15 – Ràcord
5 – Tirador per regular el cabal d'aire	16 – Vàlvula 5/3
6 – Filtre del regulador	17 – Accionament pneumàtic
7 – Roda de contacte de la plataforma amb el terra	18 – Platina
8 – Bomba de succió REINE	19 – Clau de pas
9 – Manòmetre	20 – Manòmetre
10 – Taula	21 – Platina doblegada
11 – Plataforma de suport per al imant	

Taula 3.1.: Llista dels elements del captador de partícules

3.7.4 Procés constructiu

Una vegada dissenyat el captador de partícules, només faltava crear-lo per així continuar amb el nostre estudi. El primer que vàrem necessitar va ser un suport general mòbil per l'aparell, pel que vàrem optar per aprofitar una antiga taula amb rodetes, que servia antigament per treballar amb la màquina d'escriure. D'aquesta manera ens asseguràvem poder traslladar l'aparell amb facilitat. La taula era una estructura suficientment rígida per aguantar els elements que volíem posar-hi i suficientment alta per treballar-hi amb comoditat. A partir de la taula vàrem instal·lar el pistó hidràulic regulable en velocitat. Aquest pistó hidràulic estava al laboratori de pneumàtica en desús. Per aconseguir-ho vàrem foradar una de les potes per fixar-lo per la part inferior amb un cargol i el vàrem subjectar mitjançant un junta per donar-li més rigidesa. El problema que vàrem trobar va ser que no arribava el pistó a tocar la xeringa pel que vàrem decidir foradar la fusta de conglomerat per fer passar el pistó per dintre.

El següent pas va ser crear la instal·lació pneumàtica de l'aparell. Per fer-ho vàrem necessitar, a més del pistó, una vàlvula 4/2 i un parell d'estranguladors (figura 3.12) que vàrem connectar a la xarxa de distribució d'aire comprimit.

A partir d'aquí vàrem començar a realitzar diverses proves de ferrogrames amb els olis inicialment obtinguts. Per a dur a terme aquesta tasca vàrem distribuir com vam poder el conjunt d'elements necessaris per acomplir la comesa. El contacte horitzontal entre la xeringa i el pistó es va portar a terme amb l'ajut d'un petit pistó pneumàtic connectat a un distribuïdor pneumàtic. La xeringa era aguantada per un suport de laboratori i unes pinces. La distribució va ser força forçada, però és clar, necessitàvem comprovar que l'aparell funcionés i més endavant encarregar-nos de crear un suport. A la figura 3.11 podem observar diferents posicions que vam estudiar per la futura col·locació del pistó hidràulic.



Fig. 11.: Fotografia de la taula amb el pistó situat a l'exterior (dreta) i amb el pistó situat dintre (esquerra)

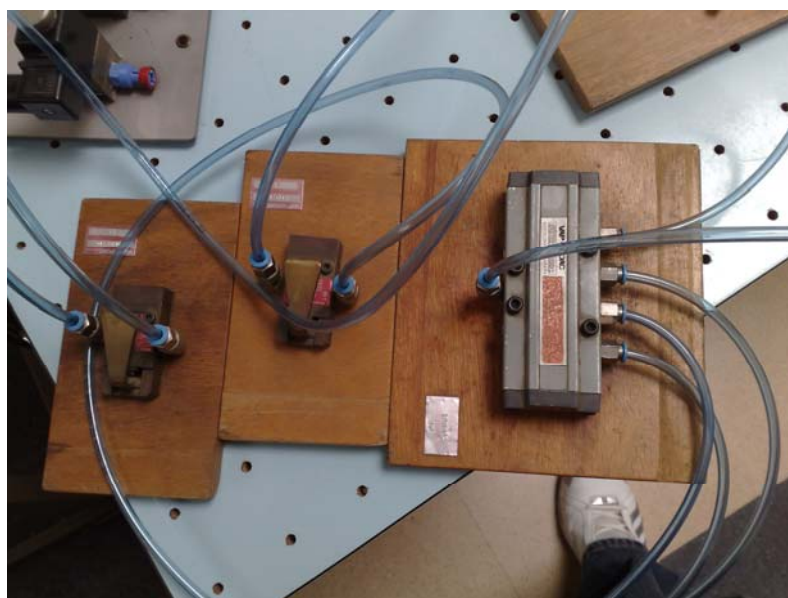


Fig. 12: Fotografia d'alguns dels components pneumàtics usats

Durant les proves amb aquest muntatge vàrem descobrir la necessitat de col·locar cinta adhesiva a sobre del portaobjectes per donar un camí per recórrer a l'oli, ja que sinó aquest s'escapava pels costats. A la figura 3.13 es pot observar una distribució inicial dels elements que vam utilitzar pel futur disseny del captador.



Fig. 13.: Fotografia de la distribució inicial d'elements de l'aparell

Una vegada realitzats varis ferrogrames va ser quan vam incorporar la bomba de succió a l'aparell. La vam situar a la part inferior de la taula, a sobre d'una fusta que servia de recolzament, tal i com s'observa a la figura 3.14. Les proves realitzades amb la bomba de succió van ser molt satisfactòries.



Fig. 14: Fotografia de l'aparell amb la bomba de succió afegida.

Els següents passos a seguir van ser la instal·lació d'un regulador, el qual portava incorporat un engraixador, un manòmetre, un filtre i una clau de pas. Per instal·lar-lo al conjunt vam necessitar una petita platina plegada amb tres forats, pel que vam foradar també la barra on es suportaria. Cal afegir que per connectar tots aquest elements a la xarxa de distribució d'aire comprimit vam col·locar a cada sortida i entrada politetrafluoroetilè (PTFE), també conegut per Teflon®. L'avantatge d'aquest polímer és que és pràcticament inert, no reacciona amb altres substàncies químiques excepte en algunes situacions molt especials.



Fig. 15.: Fotografia del conjunt regulador, on es poden observar a més d'esquerra a dreta: la clau de pas, el filtre, el manòmetre, l'engreixador, el distribuïdor i els quatre ràcords.

A la sortida del conjunt regulador vam afegir un distribuïdor de quatre vies, encara que només en necessitem 3. A partir d'aquí, vàrem agregar el sistema de distribució pneumàtica a l'aparell clavant cada un dels components a la fusta de conglomerat situada al peu de la taula. Els estranguladors els vàrem situar a aquesta alçada per poder-los accionar amb el peu. Amb la finalitat estètica i de que no molestin, els tubets els vam fer passar tots per dins d'una canonada, aquesta la vam situar al costat d'una pota de la taula mitjançant juntes.

Ja teníem la màquina ben encaminada, ara només faltava un bon suport per a aguantar l'imant. En el taller de mecànica, dins del barril de barres de metall usades, vàrem trobar diverses barres d'alumini. Aquestes barres, provinents de l'estructura del tendal de l'entrada de l'edifici P-II, al ser d'alumini ens ajudarien a no produir cap efecte magnètic perjudicial pel nostre camp magnètic de l'imant. Es diferencien dos tipus principals de barres: unes de secció rectangular i unes altres de secció en forma de L.

Una vegada vàrem obtenir el material necessari vam procedir a l'assemblatge de les bigues d'alumini. Vàrem tenir d'estudiar les diferents posicions i combinacions de les bigues. Vam decidir utilitzar les barres de secció rectangular en posició vertical. Les barres en forma de L les vam col·locar a la base i entravessades entre les barres de secció rectangular, així

guanyariem rigidesa. No en vam tallar cap, únicament les vam foradar amb el trepant del taller. Els forats els vam realitzar amb una broca de 10. Una vegada foradats era necessari aplicar-hi la llima per a millorar l'acabat superficial i evitar aspreses. Les unions són cargolades. A la figura 3.16 podem veure una fase intermèdia de la construcció del suport d'alumini.



Fig. 16.: Fotografia del muntatge del suport sense acabar.

Una vegada construït el suport, vam procedir a unir el suport amb la resta de l'aparell. Vam substituir el contacte horitzontal del pistó pneumàtic amb la xeringa per una barra d'alumini de secció rectangular que ens sobrava del suport anterior. Vàrem crear una tapa a sobre del suport on s'hi recolzava la xeringa, de manera que l'èmbol es podia moure longitudinalment per dins del cos de la xeringa. Vam col·locar una placa d'alumini juntament amb un recolzament, per donar un cert angle d'inclinació, entremig de dues bigues de secció en forma d'ela (L). D'aquesta manera es poden obtenir dos angles diferents: un de $16,26^\circ$ i un altre de $9,4^\circ$. Encara que el millor és el de $9,4^\circ$ perquè si és de $16,26^\circ$ les gotes d'oli baixen a una velocitat massa elevada i no dona temps a l'imant de captar totes les partícules. En canvi, si és menor de $9,4^\circ$ les gotes d'oli queden col·lapsades al no tenir temps per baixar i s'escapen pels costats. A la figura 3.16 podem veure com la xeringa deixa

caure l'oli a sobre del cobreobjectes i aquest continua el seu camí fins a caure dins del vas de precipitats (figura 3.18). També vam situar un vas de precipitats a sobre la taula de manera que tot l'oli extret caigués dins seu. Així, finalment vam obtenir el muntatge complet de la màquina.



Fig. 17.: Fotografia de la tapa situada sobre el suport. Es pot observar com la xeringa hi queda travada dins.



Fig. 18.: Fotografia del suport. Es pot observar el camí que seguirà l'oli des de la xeringa fins al vas de precipitats.

Finalment, a la figura 3.19 podem veure una fotografia del disseny final del captador de partícules. En l'Annex A: Manual d'usuari del captador, es pot trobar tot el referent al funcionament d'aquest.

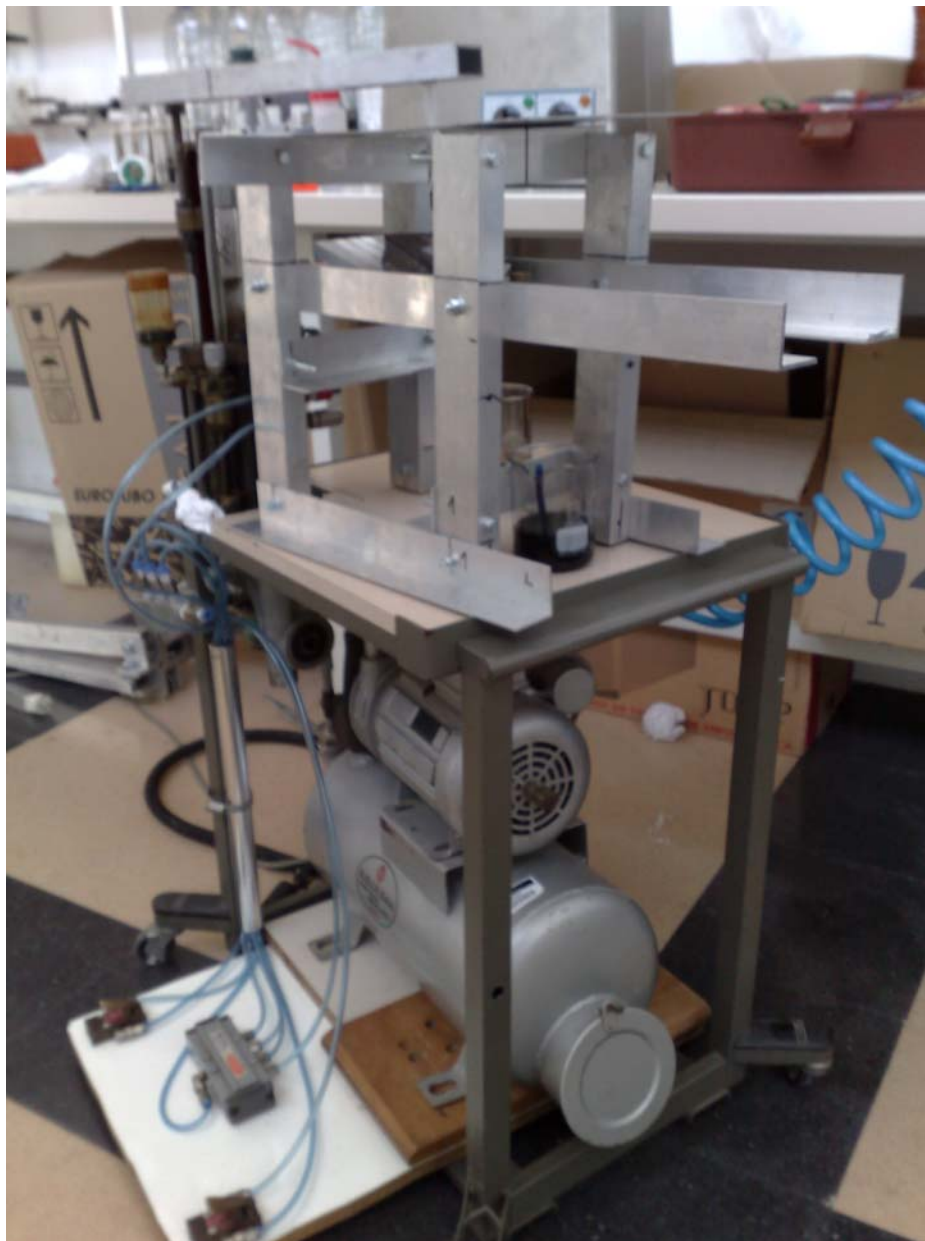


Fig. 19.: Fotografia final de l'aparell

3.8 El circuit pneumàtic del captador de partícules

3.8.1 Introducció.

En aquest apartat parlarem sobre el circuit pneumàtic que hem utilitzat en la construcció de l'aparell separador de partícules. L'annex englobarà cada uns dels elements del circuit amb una explicació de cadascun i una introducció al programari utilitzat.

3.8.2 Introducció a l'Automation Studio

El programari utilitzat per facilitar-nos el disseny del circuit pneumàtic és l'Automation Studio 3.05. Automation Studio és un programa modular de simulació. És un programa de concepció, d'animació i de simulació. Ha estat creat per a respondre a les necessitats de formació i concepció en el camp de l'automatització. Està compost pel sistema de base i per diferents mòduls de simulació que poden ser agregats.

Els mòduls, anomenats "tallers", comprenen "llibries" de components que permeten realitzar circuits de diferents tipus – pneumàtics, elèctrics, etc – o combinacions entre ells.

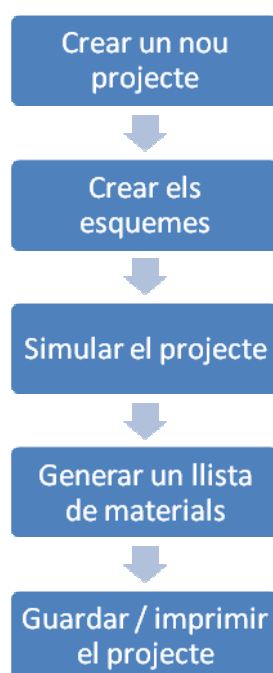


Fig. 20. : Encadenament de les operacions a seguir amb Automation Studio

El sistema de base comprèn les funcions d'edició, simulació, gestió de documents, impressió i visualització. Aquest sistema base comprèn dos utilitaris: un editor d'esquemes i un editor de projectes. El primer permet realitzar esquemes de simulació i crear els informes corresponents. El segon ofereix les principals funcions de gestió i classificació de tots els documents relatius a un mateix projecte de simulació. El seu simulador, a més, el converteix en una eficaç eina per a respondre als requeriments de la certificació dels procediments o dels programes d'automatització.

Per últim, aquest programa permet obtenir una adequada gestió de cada projecte, aportant la possibilitat d'imprimir esquemes, llistes o informes per a produir un resultat complet. També ens permet exportar els projectes cap a un altre format, com per exemple en extensió .dxf que és una de les extensions utilitzades en CAD.

L'encadenament de les operacions descrit en aquesta secció, permet exposar els principis rectors de la utilització del sistema de base. En realitat, les modificacions i les millores que acompanyen l'elaboració d'un projecte, obliguen freqüentment a recomençar les operacions. Podem veure un esquema de l'encadenament d'operacions en la figura 3.19, on es mostren els passos bàsics a seguir a nivell general.

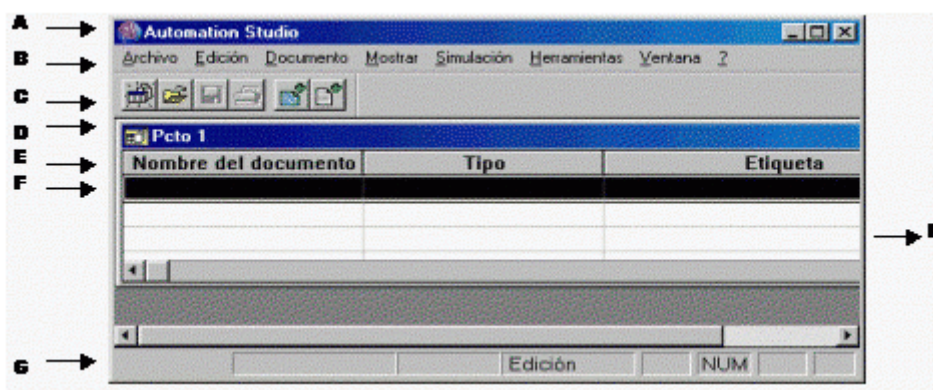


Fig. 21. : Finestra de l'editor de projectes amb un exemple de llista de documents

En la figura 3.21 podem veure la finestra d'editor de projectes. La llista dels elements que componen l' interfase d'usuari es descriuen a continuació:

- A: Barra de títol del programa
- B: Barra de menús
- C: Barra d'eines "Edició"
- D: Barra de títol de la llista de documents
- E: Línia de títols de la llista de documents
- F: Espai de treball
- G: Barra d'estat
- H: Barra de desplaçament vertical

L'entorn de treball és més complex i permet des d'afegir un component de la llibreria fins a dissenyar-lo tu mateix i crear-ne simulacions.

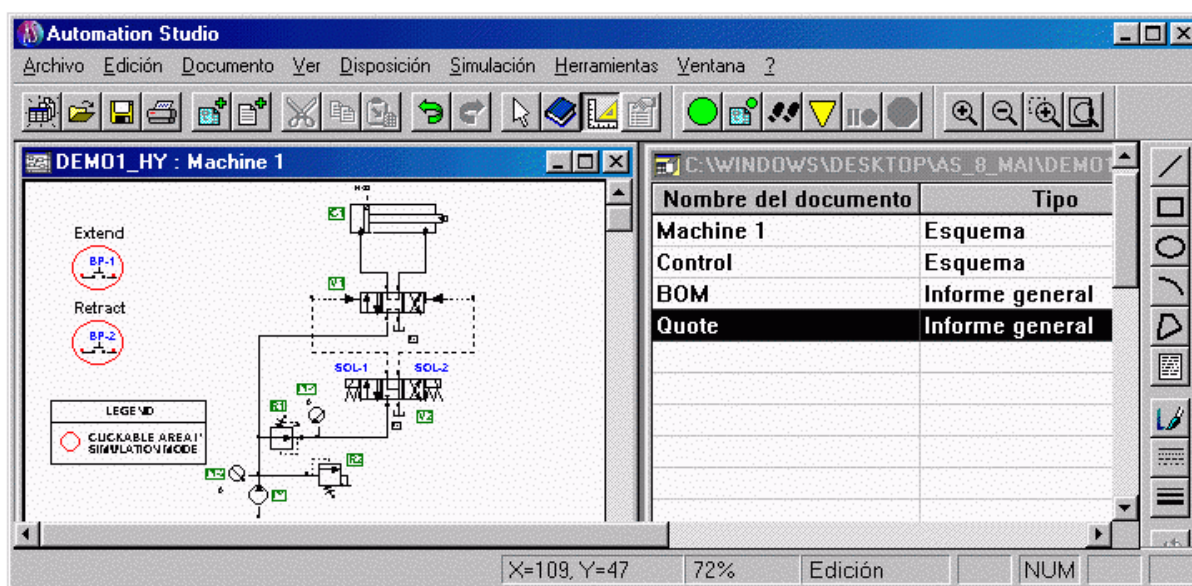


Fig. 22. : Captura de pantalla d'exemple d'Automation Studio amb dues finestres. Es pot observar tota la distribució de les eines del programa pels voltants.

3.8.3 Tria de components

El primer component que hem escollit és un compressor, perquè tot i que nosaltres agafem l'aire comprimit de la línia de distribució general, és un compressor qui agafa aquest aire. El compressor és un aparell que transforma l'energia mecànica en energia hidràulica o pneumàtica. El seu símbol és el següent:

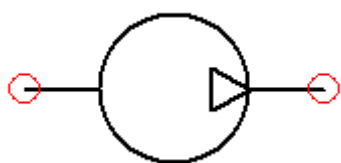


Fig. 23. : Símbol d'un compressor

El segon component és un assecador. L'aire atmosfèric conté una gran quantitat d'impureses en forma de partícules de pols, residus d'olis i humitat que poden ser causes d'averies a les instal·lacions pneumàtiques si no s'eliminen convenientment. La humitat que conté l'aire depèn de les condicions climatològiques i aquesta està íntimament relacionada amb la pressió i la temperatura. Humitat absoluta és el pes de vapor d'aigua que hi ha en un kg d'aire sec

$$H = \frac{\text{Kg de vapor d'aigua}}{\text{Kg d'aire sec}} \quad \text{Eq.1}$$

Humitat de saturació és el màxim pes de vapor d'aigua que pot admetre un kg d'aire sec a una pressió i temperatura determinada. Humitat relativa:

$$H_r = \frac{\text{Humitat absoluta}}{\text{Humitat de saturació}} \quad \text{Eq.2}$$

S'observa doncs, que el contingut d'aire augmenta amb la temperatura. El cicle de compressió comporta una elevació de la temperatura de l'aire comprimit i com a conseqüència una capacitat de retenció d'aigua superior; en refredar-se l'aire comprimit, es produirà la condensació de part de l'aigua que conté que serà arrossegada cap als dispositius pneumàtics, els quals es deterioraran progressivament. Per evitar aquest problema s'ha de realitzar l'assecament de l'aire, operació que es pot efectuar per mitjà dels procediments d'absorció, adsorció o refredament. És per aquest motiu que col·loquem un assecador a l'entrada del circuit pneumàtic. El seu símbol és el següent:

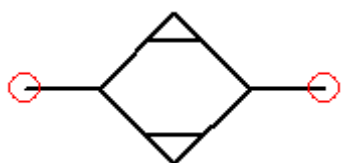


Fig. 24. : Símbol d'un assecador

El tercer element que col·locarem serà un filtre que purifiqui l'aire. El seu símbol és el següent:

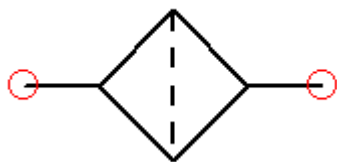


Fig. 25. : Símbol d'un filtre d'aire

El quart component serà un engraixador. Per a la lubricació d'aparells, petites quantitats d'oli són afegides a l'aire que passa per l'engreixador. L'aire de la canonada generalment és humit. Aquesta humitat és causa de l'oxidació dels aparells del circuit, el que dificulta el seu correcte funcionament. L'engreixador, com la seva paraula indica, té per finalitat engrassar l'aire i, a través d'aquest, els elements de la instal·lació, evitant la seva oxidació per una part i per l'altra fent que els elements mòbils llisquin sense dificultat. El seu símbol és el següent:

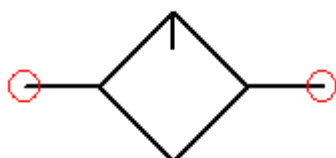


Fig. 26. : Símbol d'un engraixador

El cinquè component és un regulador de pressió. La seva funció és la de regular la pressió en el circuit d'utilització, independentment de la pressió de la xarxa de subministrament. Les canonades tindran el diàmetre suficient que permeti que la seqüència es realitzi en el temps previst. El seu símbol és el següent:

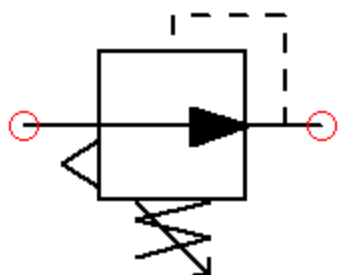


Fig. 27. : Símbol d'un regulador de pressió

El pròxim component és una vàlvula 3/2 NC (Normalment tancada) amb polsador a pedal i retorn amb molla. El seu símbol és el següent:

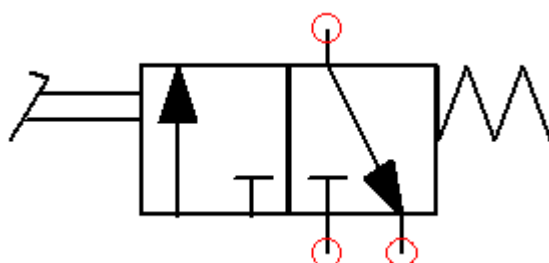


Fig. 28 : Símbol d'una vàlvula 3/2 NC amb polsador a pedal i retorn amb molla

El següent component és un regulador de cabal unidireccional, també anomenat estrangulador. Quan el fluid arriba a l'entrada d'aquest regulador, ha de passar necessàriament pel regulador de cabal per impedir un altre camí l'antiretorn connectat en paral·lel. Quan el fluid arriba per l'altre costat, l'aire passa lliurement a través de l'antiretorn que deixa el pas lliure en aquesta direcció. D'aquesta manera podrem regular la velocitat amb la que es mourà el pistó. El seu símbol és el següent:

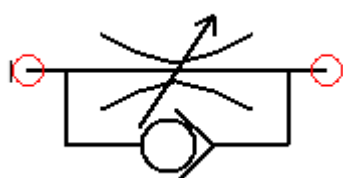


Fig. 29. : Símbol d'un regulador de cabal unidireccional

El successiu component és una vàlvula 5/2 on els controls són ambdós pilots pneumàtics de pressió. El seu símbol és el següent:

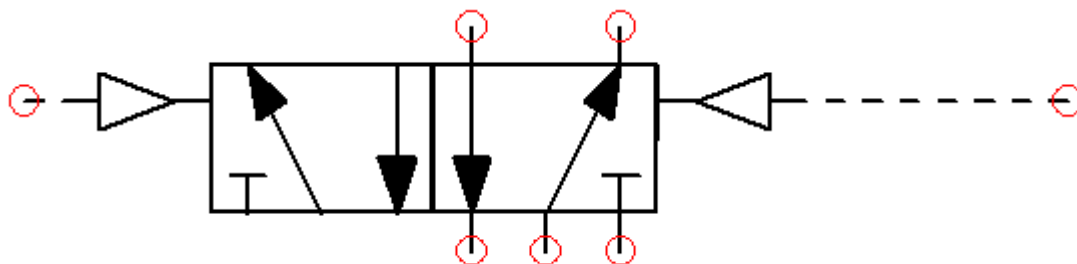


Fig. 30. : Símbol d'una vàlvula 5/2 amb ambdós controls pilots pneumàtics

El proper component és un cilindre de doble efecte. En aquests cilindres la pressió del fluid s'exerceix alternativament en els dos sentits (cursa d'anada i de tornada). El seu símbol és el següent:

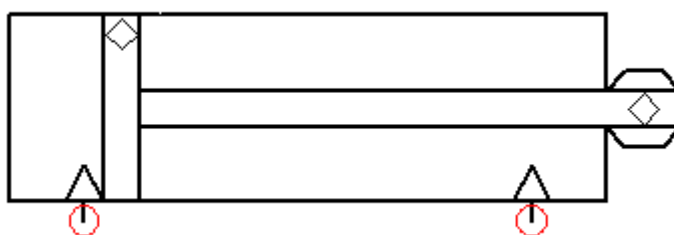


Fig. 31. : Símbol d'un cilindre de doble efecte

3.8.4 Circuit pneumàtic

A continuació es mostra el circuit pneumàtic (Figura 3.30) amb tots els seus components i a la pàgina següent podem veure les dues posicions extremes del circuit. Com que el programa Automation Studio no tenia un distribuïdor de 3 sortides hem optat per una connexió de canonades. A la figura 3.31 podem veure cadascuna de les dues posicions del circuit pneumàtic quan està obert i quan està tancat.

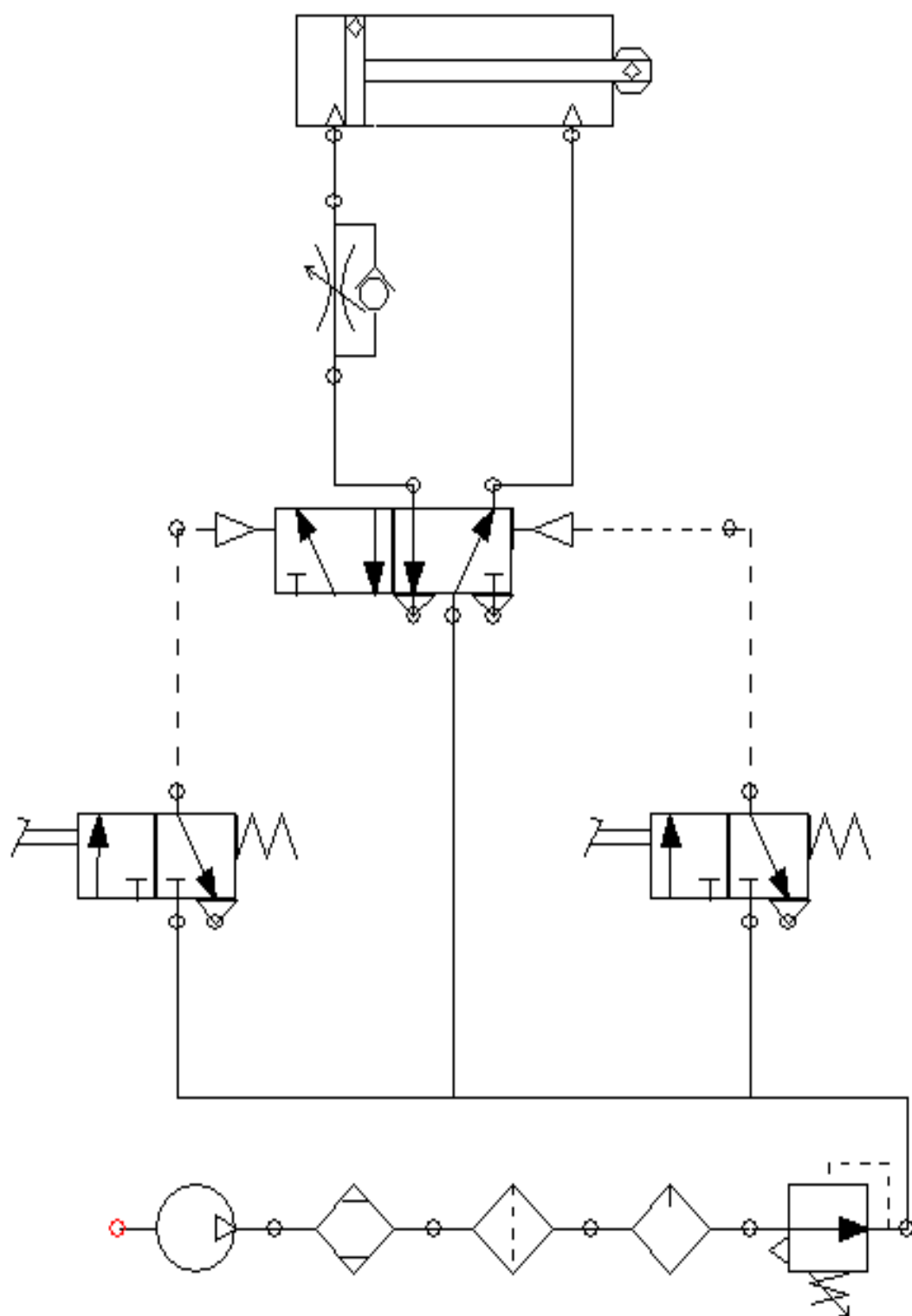


Fig. 32. : Esquema del circuit pneumàtic emprat per l'aparell

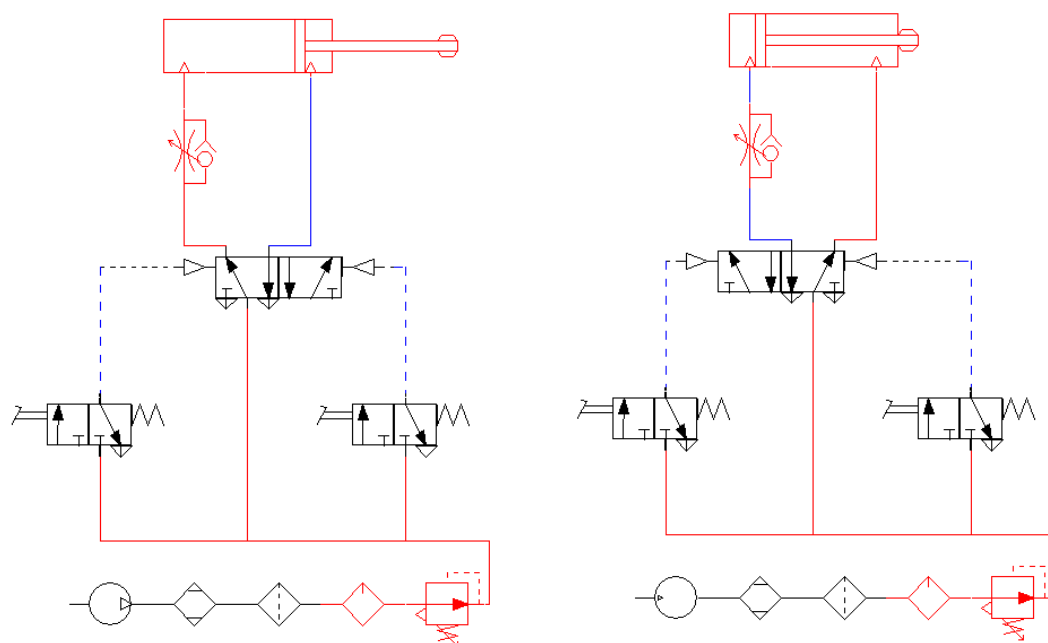


Fig. 33. : Esquema del circuit pneumàtic en les seves dues posicions extremes.

3.9 Anàlisi de les mostres

3.9.1 Introducció

Aquest capítol presenta els treballs realitzats per a obtenir un procés de separació de partícules. Comprèn des de la col·locació de les mostres en el portaobjectes, la tècnica d'observació per cadascun dels tipus de desgast, l'explicació de l'informe d'avaluació i un exemple de full de resultats.

3.9.2. Fixat de les mostres.

El fixat de les mostres s'ha de realitzar amb molta cura, procurant de no tocar la zona a estudiar. Per a realitzar una observació al microscopi no en tenim prou amb el filtre o el cobreobjectes, sinó que necessitem un segon substrat compatible amb aquests dos suports. Necessitem l'ús del portaobjectes de vidre.

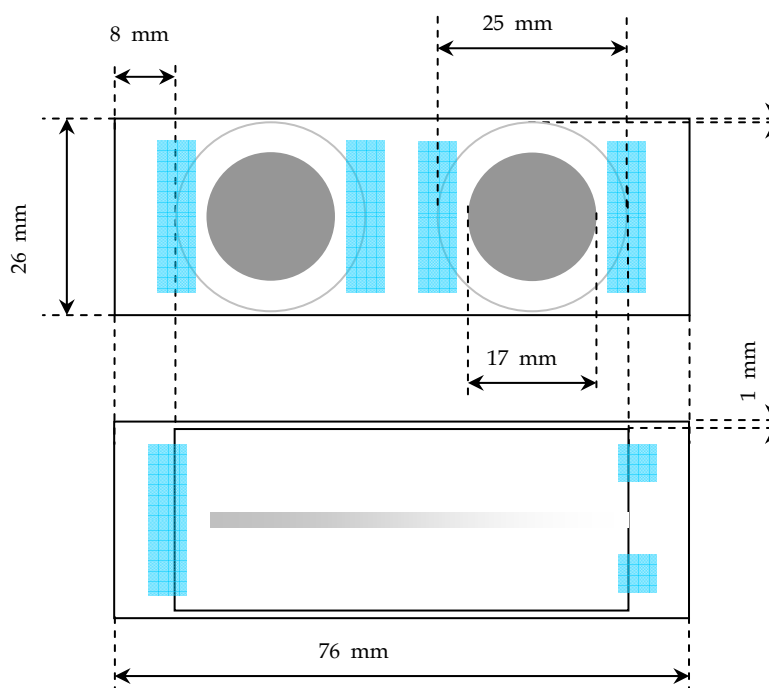


Figura 34. Distribució del portaobjectes amb un filtre de membrana (superior) i un ferrograma (inferior)

En la imatge anterior es pot observar la disposició de les membranes i del cobreobjectes a sobre del portaobjectes. Com que el portaobjectes té una llargada de 76 mm és suficient per albergar un parell de membranes. Les membranes les enganxarem per ambdós costats amb cinta adhesiva al portaobjectes. Sempre impedirem que la cinta adhesiva arribi a la zona d'estudi (en gris i de diàmetre 17mm). Deixarem un petit espai d'aproximadament uns 8mm per cada costat de l'extrem del portaobjectes per enganxar-hi la cinta adhesiva.

Respecte al ferrograma, el cobreobjectes s'adapta perfectament al portaobjectes i l'hem d'adherir a la superfície d'aquest últim amb cinta adhesiva. També deixarem un petit espai a cada banda del ferrograma.

Metodologia general de l'anàlisi.

Una vegada hem realitzat la separació magnètica, el filtrat i el fixat de les mostres sobre el portaobjectes procedim a l'anàlisi de les mateixes al microscopi òptic:

1) Ferrograma

- a) La primera observació es realitza a 100 augments (100x), observant de manera general els primers mil·límetres del ferrograma, on es concentren les partícules ferroses de major grandària. Amb la primera observació ja es poden contemplar la distribució de les partícules i l'aparició de cossos extraordinaris.
- b) A continuació s'estudien les partícules situades en el tram final del ferrograma, on s'agrupen les partícules ferroses de menor grandària, una elevada presència d'aquestes partícules és indicativa d'un desgast corrosiu del mecanisme lubricat.
- c) Després d'anàlitzar les partícules ferroses es procedeix a l'anàlisi de les partícules no ferroses de major grandària que ocasionalment poden quedar dipositades al llarg del ferrograma. Aquesta observació es realitza a 200 augments (200x) ja que només són importants les partícules grans, les de menor grandària hauran estat arrastrades pel flux i dipositades sobre la membrana polimèrica.
- d) Una vegada tenim les partícules escollides, procedim a un anàlisi més detallat a 500 augments (500x) on podrem observar amb més detall l'estructura de les partícules.
- e) Quan hem seleccionat la partícula i el seu augment, procedim a la captura d'aquesta imatge a l'ordinador mitjançant una càmera de fotografies digital que incorpora el microscopi.
- f) Ajustem la imatge a la resolució desitjada, nitidesa i brillantor i l'etiquetem amb la data, el tipus de mostra i l'augment a la que es troba.

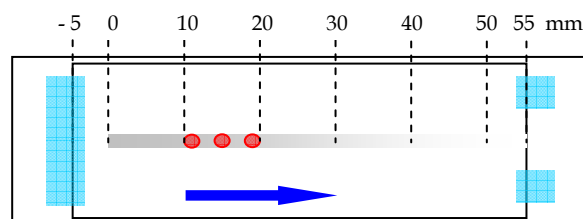


Figura 35. Àrea estudiada per a la determinació de desgast normal ferrós.

1) Filtre de membrana

- a) Es realitza una observació a 100 augments sobre la totalitat de la superfície de la membrana per detectar la presència de les partícules de major grandària.

- b) Una vegada realitzat l'estudi preliminar es realitza la quantificació en detall dels diferents metalls existents sobre la membrana. Distingint partícules d'alumini, coure, polímers de fricció, pols mineral, metalls antifricció i resta de partícules.

Cal afegir que la determinació exhaustiva de les partícules en la mostra requereix un llarg temps d'observació, essent un treball llarg i tediós, per això s'ha optat per proposar un mètode simplificat que obté conclusions similars però emprant un temps sensiblement inferior.

El mètode es descriurà per a cadascun dels tipus de partícules avaluades, s'ha de ressenyar que el mètode d'anàlisi aquí descrit és molt més fàcil d'aplicar en la pràctica, ja que en les mostres reals estudiades no existeixen tants tipus de partícules de manera simultània, apareixent només dos o tres dels grups descrits, mentre que la resta de tipus no es troben presents en la mostra.

3.9.3. Tipus de partícules i criteris de valoració

3.9.3.1. Fricció normal (ferrosa)

Les partícules de fricció normal tenen grandàries per sota dels 15 micròmetres, es realitza un estudi del ferrograma a partir dels primers 10 mm, ja que abans es sedimentin partícules de major grandària, aquesta àrea queda analitzada amb l'estudi de 3 camps del microscopi a 100 augments, equivalents a 6 mil·límetres de ferrograma. A la figura 3.35 es representa el ferrograma i la localització dels camps observats. Els criteris per a avaluar la concentració relativa de partícules són els següents:

- Baix: Menys de 5 alineacions per camp, no superen els 2 mil·límetres de longitud transversal, menys del 25% de superfície coberta per partícules.
- Mitjà: Entre 5 i 10 alineacions per camp, entre el 25% i el 50% de la superfície de vidre està coberta pels metalls. Algunes alineacions superen els 2 mil·límetres de longitud transversal.
- Alt: Més de 10 alineacions per camp, la majoria superant els 2 mil·límetres de longitud transversal i cobrint més del 50% de la superfície del camp.

3.9.3.2 Fricció normal (no ferrosa)

Per a aquest tipus de partícules, l'estudi requereix un anàlisi a 500 augments, ja que les partícules no ferroses tenen una grandària inferior als 15 micròmetres i es distribueixen de manera homogènia sobre tota la membrana polimèrica, essent necessari un estudi de 9 camps, seleccionats tal i com mostra la figura 3.36.

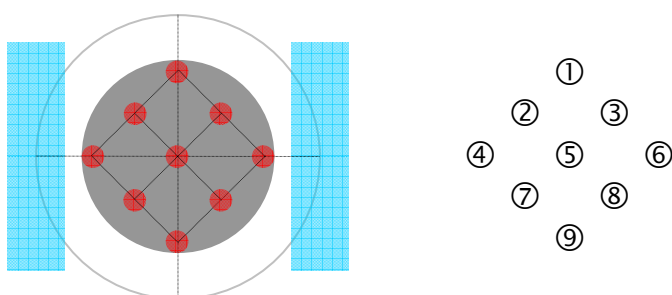


Figura 36. Àrees estudiades per a la determinació de desgast en la membrana

L'aspecte de cadascun dels 9 camps es compararà amb tres patrons de partícules (fig. 3.37) ja fixats i s'assignarà el contingut de metalls segons la semblança amb algun dels tres patrons.

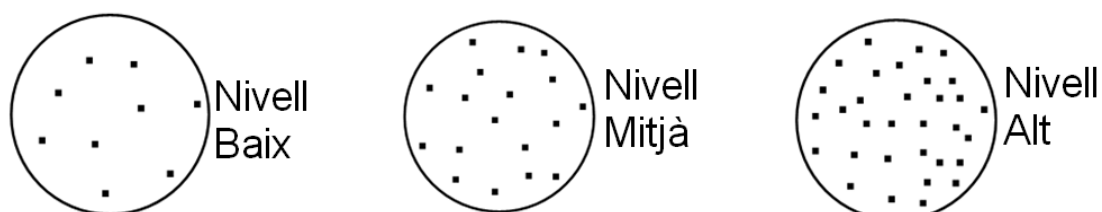


Figura 37. Patrons de valoració pel desgast de fricció normal no ferrosa

3.9.3.3 Partícules de lliscament, fragments, laminars de fatiga, òxids foscos, partícules de tall i esferes (ferroses).

Aquests quatre tipus de partícules es poden estudiar de manera conjunta, ja que presenten característiques similars de retenció pel camp magnètic. Per la seva visualització s'empra l'objectiu de 100 augments, es centra en els primers 5 camps (de 0 a 10 mil·límetres), on queden retingudes les partícules d'aquests tipus de grandàries superiors als 15 micròmetres.

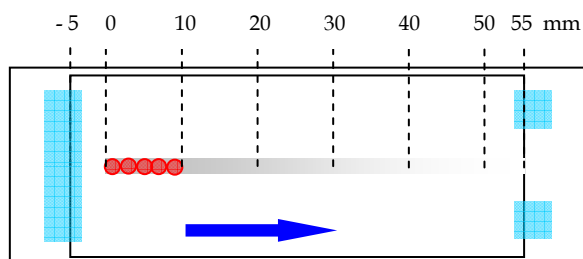


Figura 38. Àrea estudiada per a la determinació de desgast ferrós.

Per a l'avaluació de concentracions relatives per a cada un dels tipus de partícules s'empren els següents criteris de valors pels 5 camps estudiats:

- Baix: menys de 10 partícules en total
- Mitjà: Entre 10 i 20 partícules en total
- Alt: Més de 20 en total

3.9.3.4 Partícules de lliscament, fragments i partícules laminars de fatiga i partícules de tall (no ferroses).

Pel cas de partícules no ferroses, l'estudi s'haurà de realitzar sobre la membrana polimèrica, realitzant un estudi a 10 augments de 9 camps situats a la membrana (fig. 3.36).

A l'avaluació de concentracions relatives s'utilitzen els següents criteris de valors mitjans:

- Baix: Menys de 3 partícules per camp (< 27 en el total dels camps)
- Mitjà: Entre 3 i 6 partícules en total
- Alt: Més de 6 partícules en total

3.9.3.5 Desgast corrosiu.

Són partícules ferroses de grandàries inferiors a una micra, s'observen tres camps situats en la zona final del ferrograma, tal i com mostra la figura 3.39. Per avaluar la presència d'aquestes partícules s'utilitza l'objectiu de 100 augments, ja que a pesar que cada partícula és d'una grandària inferior a un micròmetre, aquestes formen agrupacions visibles a menys augments.

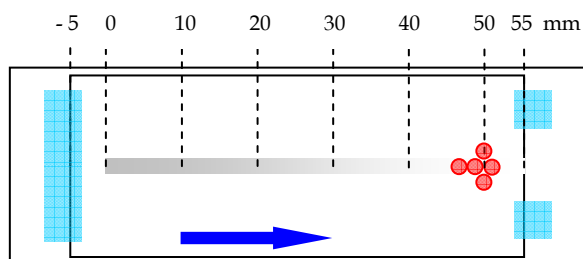


Figura 39. Àrea estudiada per la determinació de desgast corrosiu.

Baix: Es detecten alineacions en la part final, les alineacions no arriben als 20 micròmetres de gruix.

Mitjà: Alineacions per sobre dels 20 micròmetres de gruix.

Alt: Pràcticament no es distingeixen les separacions entre les alineacions.

3.9.3.6 Òxids vermells, polímers de fricció, pols mineral, fibres i altres contaminants.

Es realitza un anàlisi de les partícules retingudes sobre el cobreobjectes de vidre, estudiant 5 camps no consecutius (fig. 3.40) al llarg de tot el ferrograma ja que els òxids vermells no tenen una elevada tendència a ser retinguts pel camp magnètic i solen quedar dipositats al llarg de tot el ferrograma. La llum polaritzada permet distingir amb claredat aquestes partícules.

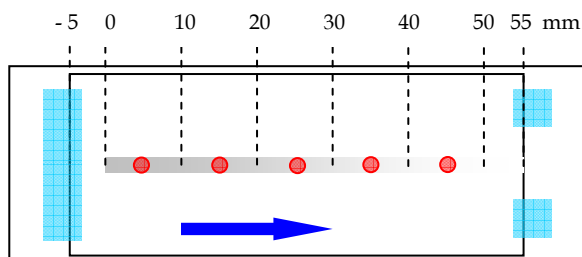


Figura 40. Àrees estudiades per la determinació d'òxids polímers i pols.

- Baix: Menys de 30 partícules en total
- Mitjà: entre 30 i 60 partícules
- Alt: Superior a 60 partícules

Encara que la determinació de la contaminació de pols i fibres es realitzi sobre la membrana polimèrica, és recomanable que quan es realitzi l'anàlisi d'òxids vermells amb llum polaritzada es presti atenció a la presència d'aquestes partícules sobre el vidre, ja que són fàcilment detectables al mostrar brillantor blanques sobre el fons negre. No sempre estan

retingudes sobre el vidre, però quan això passa solen dipositar-se en els últims trams del ferrograma, pròxims a la sortida.

L'estudi dels polímers de fricció, pols mineral, fibres i demés contaminants es realitza sobre la membrana polimèrica, analitzant els 9 camps descrits en la figura 3.36 i avaluant, en funció del nombre de partícules detectades, el grau de contaminació de la mostra. Els valors estimatius de concentració per a aquests contaminants són:

- Baix: Menys de 20 partícules en total
- Mitjà: entre 20 i 60 partícules
- Alt: Superior a 60 partícules

3.9.4. Realització de l'informe d'avaluació

Una vegada que s'ha realitzat l'anàlisi de cadascuna de les mostres es farà un informe dels resultats obtinguts per posteriorment emetre un diagnòstic. Aquest informe recull els diferents tipus de partícules classificades per grandàries i la concentració relativa de les mateixes, a la taula 3.3 es comenten els tipus de desgast, les partícules avaluades i la importància donada a cadascuna d'elles assignant-li un valor numèric (denominat pes relatiu) comprés entre 1 i 3. Per a cadascuna de les grandàries s'haurà d'indicar la concentració relativa de cadascuna de les categories anteriors, per això també s'han fixat quatre nivells: nul, baix, mitjà i alt, amb uns pesos relatius respectivament de 0,1,2 i 3.

En últim lloc s'obté pels 5 principals grups de partícules, un valor numèric on s'avaluarà la importància del desgast o contaminació soferta per la màquina. Aquests valors es calculen sumant el producte del paràmetre "Pes" per la concentració, posteriorment aquest valor es compara amb uns límits establerts (Taula 3.2).

Valoració	Rang d'avaluació	Codi de color
Normal	$< 3 * (C_1 * C_2 * C_3)$	Verd
Alerta	$\geq 3 * (C_1 * C_2 * C_3)$ y $< 5 * (C_1 * C_2 * C_3)$	Taronja
Alarma	$\geq 5 * (C_1 * C_2 * C_3)$	Vermell

Taula 2. Límits per a l'avaluació de l'estat del motor

	Rang de Grandàries [µm]	Pes relatiu		Rang de Grandàries [µm]	Pes relatiu
Desgast adhesiu ⁽¹⁾			Òxids		
Fricció normal	1 ÷ 15	2	Corrosió química	< 1	2
Lliscament	> 15 y < 50	1	Òxids Alfa	> 15 y < 50	1
Lliscament	≥ 50 y < 100	2	Òxids Alfa	≥ 50 y < 100	2
Lliscament	> 100	3	Òxids Alfa	> 100	3
Desgast per fatiga ⁽¹⁾			Òxids Foscos	> 15 y < 50	1
Fragments	> 15 y < 50	1	Òxids Foscos	≥ 50 y < 100	2
Fragments	≥ 50 y < 100	2	Òxids Foscos	> 100	3
Fragments	> 100	3	Contaminants		
Laminars	> 15 y < 50	1	Pol. de Fricció	> 5 y < 50	1
Laminars	≥ 50 y < 100	2	Pol. de Fricció	≥ 50 y < 100	2
Laminars	> 100	3	Pol. de Fricció	> 100	3
Esferes. ⁽²⁾	> 1 y < 15	1	Pols mineral	> 5 y < 30	1
Esferes. ⁽²⁾	≥ 15 y < 50	2	Pols mineral	≥ 30 y < 50	2
Esferes. ⁽²⁾	> 50	3	Pols mineral	> 50	3
Desgast abrasiu ⁽¹⁾			Fibres	> 5 y < 30	1
Entre 2 cossos	> 15 y < 50	1	Fibres	≥ 50 y < 100	2
Entre 2 cossos	≥ 50 y < 100	2	Fibres	> 100	3
Entre 2 cossos	> 100	3			
Entre 3 cossos	> 5 y < 15	1			
Entre 3 cossos	≥ 15 y < 50	2			
Entre 3 cossos	> 50	3			

(1) Es quantificaran les partícules ferroses i les no ferroses en dos grups independents.

(2) Només es quantifiquen les esferes ferroses.

Taula 3. Tipus de partícules analitzades en el procés.

Els límits inicials són modificats al ser multiplicats per altres factors adimensionals que depenen del tipus de màquina, de la forma de treball de la instal·lació i del grau de contaminació de l'ambient que l'envolta. En la taula 3.4 es detallen aquests paràmetres així com el valor assignat encara que en el nostre cas únicament farem servir el de MCIA (Motors de Combustió Interna Alternatius) perquè sinó ens allunyaríem de l'objectiu del projecte.

Tipus de màquina (coeficient C1)		Tipus d'entorn de treball (coeficient C2)		Càrrega de treball de la màquina (coeficient C3)	
MCIA	1,0	Ambient normal	1,0	Ús normal, on l'equip és sotmès a càrregues de treball similars a les de disseny.	1,0
Hidràulics	1,0				
Turbines	1,0				
Transmissions	1,25	Ambient brut	1,25	Ús en sol·licitacions extremes per sobre de la càrrega normal de disseny de l'equip.	1,25
Reductors	1,25				




Taula 4. Paràmetres de correcció dels límits. Font bibliogràfica [7]

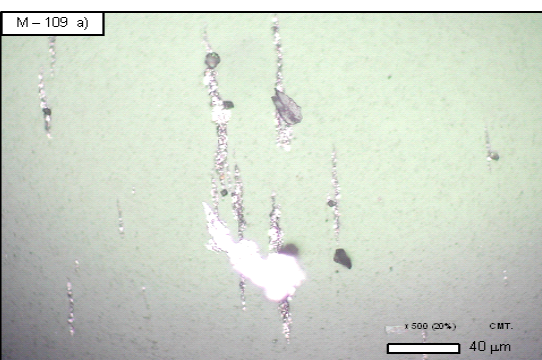
Una vegada que s'hagin avaluat tots els tipus de partícules es construeix una taula de resultats similar a l'exemple mostrat a la taula 3.3, on a més s'adjunten imatges de les partícules més significatives localitzades a l'oli. La taula (figura 3.5) ha estat realitzada amb un full de càlcul. A la part superior d'aquesta podem observar que hi ha un espai per les dades tècniques: data presa de mostres, data de l'anàlisi, client, equip, Km d'oli, volum d'oli, tipus d'oli i codi de la mostra. En el nostre cas el camp "equip" sempre el deixarem en blanc per tractar-se sempre del mateix equip captador de partícules, el que hem construït. El camp "client" també el deixarem en blanc, ja que no en tenim perquè aquest treball es presenta sense ànim de lucre.

En la part intermèdia de la taula podem observar que hem dividit els apartats segons els tipus de partícules que hi trobem: desgast adhesiu, desgast per fatiga, desgast abrasiu, òxids ferrosos i contaminants. Al costat de cadascun hem introduït un petit dibuix d'ajuda de com és la partícula. Cada tipus de partícula l'hem separat en dues parts: d'origen ferrós o d'origen no ferrós i de cadascun l'hem separat en grandàries i quantitat.

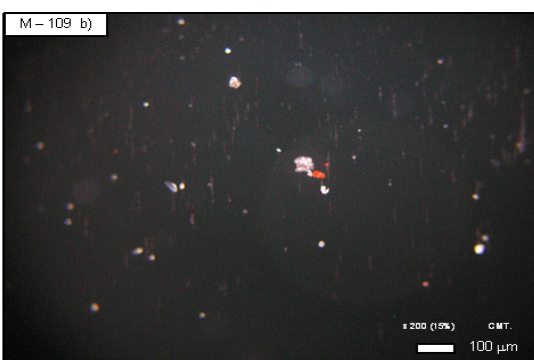
A la part inferior hem deixat un espai per mostrar fotografies realitzades amb el microscopi d'algunes partícules trobades dins la mostra i una petita explicació de cadascuna d'elles.

Client :D			Codi Mostra:		
Equip: D					
Data presa mostres: DD/MM/AAA		Km d'oli:	Tipus d'oli:		
Data anàlisi: DD/MM/AAAA		Volum d'oli:			

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa							
No ferrosa							
		Desgast adhesiu				Òxids ferrosos	
Normal Normal						Normal	
		Fricció normal: 1=15 Nul, 3=15 Mitjà 15=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul		Fricció llisca: 15=50 Baix, 50=100 Nul, >100 Nul		Vermells (humitat): 20=50 Mitjà, 50=100 Baix, >100 Nul Foscos (alta temperatura): 20=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul Corrosió química: <1 Baix	
		Desgast per fatiga				Contaminants	
Normal Normal						Alerta	
		Laminars: 15=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul 15=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul Esferes: 1=15 Nul, 15=50 Nul, >50 Nul		Polímers de fricció: 20=50 Mitjà, 50=100 Mitjà, >100 Nul Pols mineral: 20=50 Baix, 50=100 Baix, >100 Baix Fibres: 20=50 Mitjà, 50=100 Mitjà, >100 Baix			
		Desgast abrasiu					
Normal Normal							
		Entre dos cossos: 15=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul Entre 3 cossos: 15=50 Nul, 50=100 Nul, >100 Nul					



M-109 a)



M-109 b)

Partícula de lliscament d'alumini retinguda per les alineacions de partícules ferroses

Partícules de pols mineral i òxid vermell dipositades sobre el ferrograma

Taula 5: Exemple de full de resultats de les mostres

4 – ANÀLISI DE RESULTATS

4.1 Fulls de resultats dels anàlisis d'olis




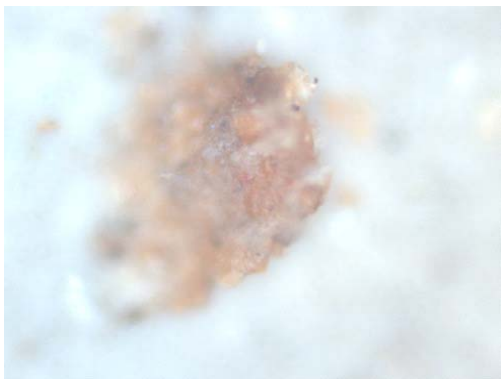
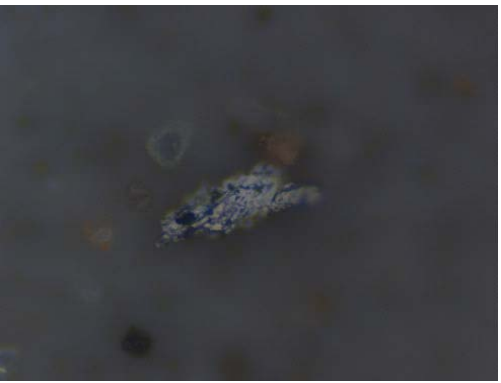
En aquest apartat es mostren les fulles de resultats dels anàlisis realitzats en olis de ferrogrames i membranes. En el full d'anàlisi es presenten totes les dades que fan referència a la mostra, la seva procedència, així com les seves característiques.

El full d'anàlisi és de fàcil comprensió i utilització, de gran ajuda a l'hora d'introduir les dades corresponents a cada partícula i de fer comparacions entre elles al poder visualitzar conjuntament totes les seves dades i característiques.

A continuació de cada full de resultats hi ha un petit resum, en el que es tracten més detingudament les partícules trobades i on també, trobem informació sobre l'origen de la mostra i unes recomanacions en vistes dels resultats obtinguts. A la taula 1 es poden observar les diferents mostres que apareixen en aquest apartat. Cal destacar que durant la realització s'han realitzat aproximadament una cinquantena de mostres, entre ferrogrames i membranes. En aquest apartat només es mostren aquestes mostres degut a varis factors: falta d'hores al laboratori de microscopia, a que no han resultat interessants d'observar, que s'han trencat o que estaven molt netes. De cadascuna de les procedències de les mostres següents, s'han indicat, a continuació, les que hem considerat més importants.

Nº Fitxa	Nom mostra	Procedència
1	Membrana 1	Barca d'arrosegament
2	Membrana 2	Barca d'arrosegament
3	Membrana 3	Barca d'arrosegament
4	Membrana 12	Renault 19
5	Membrana 11	Citroën Xsara
6	Ferrograma Z11	Citroën Xsara
7	Ferrograma 21	Mitsubishi Space Star
8	Membrana 21	Mitsubishi Space Star
9	Ferrograma 16	Peugeot 309
10	Membrana 16	Peugeot 309
11	Ferrograma f10k	Moto Tot Curses
12	Membrana 18	Scania 470
13	Ferrograma 17	Scania 470
14	Membrana 17	Scania 470
15	Ferrograma 1	Barca d'arrosegament
16	Ferrograma 5	Barca d'arrosegament
17	Membrana 19	Honda Civic

Taula 1: Quadre de les mostres que apareixen en aquest apartat

Client : D				Codi Mostra:													
Equip: D				Membrana 1													
Data presa mostres: DD/MM/AAAA		Km d'oli:						Tipus d'oli:									
Data anàlisi: DD/MM/AAAA		Volum d'oli:															
				<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Ferroses</th> <th colspan="2">No ferroses</th> </tr> <tr> <th>Grandària mitjana (µm)</th> <th>Contingut de partícules</th> <th>Grandària mitjana (µm)</th> <th>Contingut de partícules</th> </tr> </table>		Ferroses		No ferroses		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	<table border="1"> <tr> <th>Grandària mitjana (µm)</th> <th>Contingut de partícules</th> </tr> </table>		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferroses		No ferroses															
Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules														
Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules																
Ferrosa		No ferrosa															
Desgast adhesiu				Òxids ferrosos													
Normal		Normal				Normal											
	<p>Fricció normal: 15-50 Nul</p> <p>Fricció llisca: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p>	<p>3-15 Nul</p> <p>15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p>	<p>Vermells (humitat): 20-50 Mitjà, 50-100 Baix, >100 Nul</p> <p>Fosc (alta temperatura): 20-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p> <p>Corrosió química: <1 Baix</p>														
Desgast per fatiga				Contaminants													
Normal		Normal				Alerta											
	<p>Laminars: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p> <p>Fragments: 15-50 Baix, 50-100 Nul, >100 Nul</p> <p>Eferes: 1-15 Nul, 15-50 Nul, >50 Nul</p>	<p>15-50 Mitjà, 50-100 Baix, >100 Nul</p> <p>15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p>	<p>Polimers de fribri: 20-50 Mitjà, 50-100 Mitjà, >100 Nul</p> <p>Pol mineral: 20-50 Baix, 50-100 Baix, >100 Baix</p> <p>Fibres: 20-50 Mitjà, 50-100 Mitjà, >100 Baix</p>														
Desgast abrasiu																	
Normal		Normal															
	<p>Entre dos cossos: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p> <p>Entre 3 cossos: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p>	<p>15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p> <p>15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul</p>															
																	
Partícula contaminant d'oli polimeritzat degradat				Partícula laminar d'alumini provocat per un desgast per fatiga													

Resultats membrana 1:

La membrana 1 pertany a una mostra d'un vaixell d'arrossegament del port de Roses. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni de desgast abrasiu. En canvi, s'ha trobat alguna partícula laminar no ferrosa de desgast per fatiga. Aquestes són d'alumini segurament del pistó. La concentració d'òxids ferrosos vermell ha estat normal, per tant no posem una senyal d'alerta. El problema ha aparegut amb la gran quantitat d'oli polimeritzat degradat trobat i fibres, el qual trobem que el nivell no és normal, per tant hem posat una senyal d'alerta. En conclusió, recomanem que l'oli es canviï d'aquí a poc per evitar possibles conseqüències negatives per la vida del motor.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: S'han trobat partícules d'alumini provinents del pistó
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: S'han trobat alguns òxids ferrosos, però es mantenen en un nivell normal.
- Contaminants: Concentració elevada de polímers de fricció i algunes fibres.

Client: D			Codi Mostra:	
Equip: D			Membrana 2	
Data presa mostres: 13/04/2008	Km d'oli:	Tipus d'oli:		
Data anàlisi: 07/05/2008	Volum d'oli: 4 ml			
			Barca d'arrossegament	

Ferroses		No ferroses			
Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules

Ferrosa No ferrosa

Desgast adhesiu

Normal	Normal		
	Fricció normal	1:15 Nul	3:15 Nul
		15:50 Nul	15:50 Nul
	Fricció llisca	50:100 Nul	50:100 Nul
		>100 Nul	>100 Nul

Òxids ferrosos

	Vermells (humitat)	20:50 Mitjà	Alerta
		50:100 Mitjà	
		>100 Baix	
	Fosc (alta temperatura)	20:50 Nul	
		50:100 Nul	
		>100 Nul	
	Corrosíu químic	<1 Baix	

Desgast per fatiga

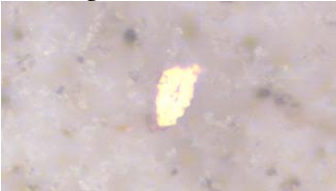
Normal	Normal		
	Laminars	15:50 Nul	15:50 Mitjà
		50:100 Nul	50:100 Baix
		>100 Nul	>100 Nul
	Fragmentes	15:50 Mitjà	15:50 Nul
		50:100 Mitjà	50:100 Nul
		>100 Baix	>100 Nul
	Esferes	1:15 Nul	
		15:50 Nul	
		>50 Nul	

Contaminants

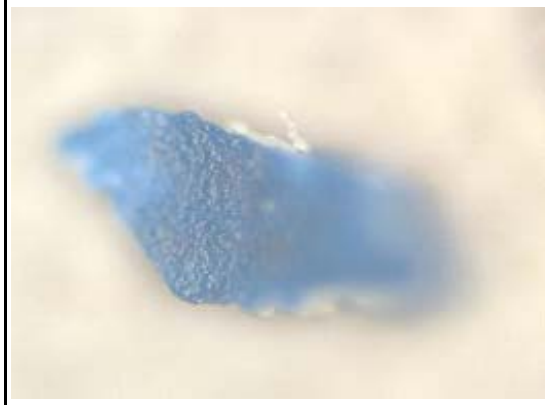
	Polímers de fricció	20:50 Mitjà	Alerta
		50:100 Mitjà	
		>100 Nul	
	Poliminerals	20:50 Mitjà	
		50:100 Baix	
		>100 Baix	
	Fibres	20:50 Mitjà	
		50:100 Baix	
		>100 Baix	

Desgast abrasiu

	Entre dos cossos	15:50 Mitjà	15:50 Nul
		50:100 Baix	50:100 Nul
		>100 Baix	>100 Nul
	Entre 3 cossos	15:50 Nul	15:50 Nul
		50:100 Nul	50:100 Nul
		>100 Nul	>100 Nul



Partícula de bronze



Partícula d'acer amb algun colorant que s'ha després





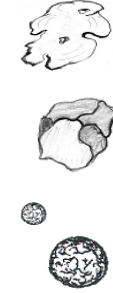


Partícula d'òxid de ferro. Segurament ha entrat aigua en el càrter


Resultats membrana 2:

La membrana 2 pertany a una mostra d'un vaixell d'arrossegament del port de Roses. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu. S'han trobat algunes partícules de desgast abrasiu i per fatiga. S'han trobat partícules de bronze que poden provenir d'algun coixinet. Hem trobat també alguna partícula d'acer despresa i barrejada amb algun colorant. La quantitat d'òxids ferrosos vermells trobats ha estat notable, això es pot deure a que ha entrat aigua salada en el càrter. També ha estat notable la quantitat de polímers i fibres trobades. Com a conclusió, recomanem que es canviï immediatament l'oli per tal d'allargar la vida del motor.


- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: S'han trobat partícules d'acer i de bronze.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Quantitat notable d'òxids ferrosos.
- Contaminants: Concentració mitjana de polímers de fricció i algunes fibres.

Client :D			Codi Mostra:		
Equip: D			Membrana 3 (M3) Barca d'arrossegament		
Data presa mostres: 13/04/2008	Km d'oli:	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 07/05/2008	Volum d'oli: 4 ml				

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa						
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos	
Normal	Normal					Normal	
		Fricció norm	1-15 Nul	3-15 Nul			
		Fricció llisca	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Mitjà 50-100 Baix >100 Baix			Vermells (humitat) 20-50 Baix 50-100 Baix >100 Nul Foscos (alta temperatura) 20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Corrosió qui mida <1 Baix
Desgast per fatiga						Contaminants	
Normal	Normal					Normal	
		Laminars	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Mitjà 50-100 Mitjà >100 Baix			
		Fragments	15-50 Mitjà 50-100 Mitjà >100 Baix	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			Polímers de fricció 20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Pols mineral 20-50 Baix 50-100 Baix >100 Baix Fibres 20-50 Baix 50-100 Baix >100 Baix
		Esferes	1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul				
Desgast abrasiu							
Normal	Normal						
		Entre dos cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			
		Entre 3 cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			



Partícula de silici. Segurament de so rra que ha entrat



Partícula d'alumini


Resultats membrana 3:







La membrana 3 pertany a una mostra d'un vaixell d'arrossegament del port de Roses. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. S'han trobat partícules de desgast adhesiu i de desgast per fatiga, com per exemple partícules d'alumini provinents del pistó, encara que sense molta importància. No s'han trobat partícules de desgast abrasiu. La concentració d'òxids ferrosos ha resultat baixa. La contaminació d'altres partícules també ha estat baixa, encara que s'ha trobat alguna partícula de silici provinent de sorra que ha entrat. En conclusió, la valoració que fem d'aquest oli és bona. No cal canviar-lo per ara.

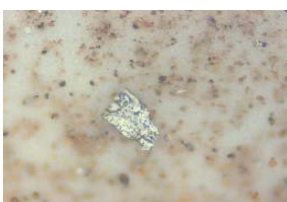

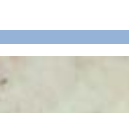
- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: S'han trobat partícules d'alumini provinents del pistó.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Concentració baixa.



Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Membrana 12 (M2)		
Data presa mostres: 01/07/2008		Km d'oli:	Tipus d'oli:		Renault 19
Data anàlisi: 02/07/2008		Volum d'oli: 4 ml			

		Ferroses		No ferroses	
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa				

		Desgast adhesiu		Òxids ferrosos		
Normal	Normal					Normal
		Fricció normal	1÷15 Nul	3÷15 Nul	Vermells (humitat)	20÷50 Baix 50÷100 Baix >100 Nul
			15÷50 Nul	15÷50 Nul	Fosc (alta temperatura)	20÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul
		Fricció llisca	50÷100 Nul >100 Nul	50÷100 Nul >100 Nul	Corrosió química	<1 Baix

		Desgast per fatiga		Contaminants		
Normal	Normal					Normal
	Laminars	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul	15÷50 Baix 50÷100 Baix >100 Baix		Polímers de fricció	20÷50 Mitjà 50÷100 Mitjà >100 Baix
	Fragmentes	15÷50 Mitjà 50÷100 Mitjà >100 Baix	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul		Pols mineral	20÷50 Baix 50÷100 Baix >100 Baix
	Esfères	1÷15 Nul 15÷50 Nul >50 Nul			Fibres	20÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul

		Desgast abrasiu		
Normal	Normal			
	Entre dos cossos	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul	Partícula metàl·lica de ferro de la camisa del cil·indre
	Entre 3 cossos	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul	15÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Nul	








	Polímer degradat provinent d'algun additiu (blanc), polímer degradat tèrmicament (vermell)
	Partícula d'un adhesiu que s'utilitza pels tancaments de les juntes del motor

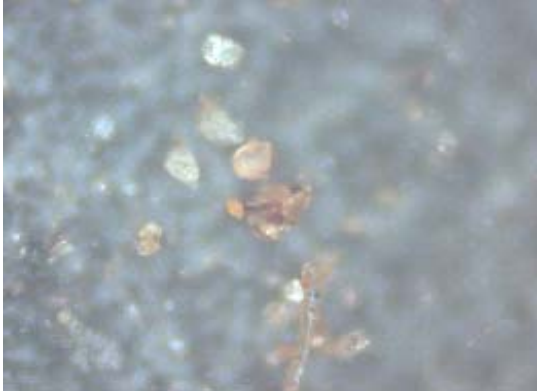
Resultats membrana 12:

La membrana 12 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Renault, en concret del model R19. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni abrasiu. S'ha trobat alguna partícula de desgast per fatiga, com per exemple alguna partícula d'acer provinent de la camisa del cilindre. El nivell d'òxid ferrosos és molt baix. La concentració de contaminants és mitjana. S'han trobat alguns polímers degradats de diferents classes, com per exemple una partícula d'un adhesiu utilitzat pel tancament de les juntes del motor. En general, la valoració d'aquest oli és bona.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: S'han trobat algunes poques partícules d'acer provinents de la camisa del pistó.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Concentració baixa.

Client: D		Codi Mostra:	
Equip: D		Membrana 11 (M1)	
Data presa mostres: 01/07/2008	Km d'oli: 25000	Tipus d'oli:	
Data anàlisi: 02/07/2008	Volum d'oli: 4 ml	Citroën Xsara HDI	

		Ferroses		No ferroses															
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules												
Ferrosa	No ferrosa																		
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos													
Normal	Normal						Normal												
		Fricció normal	1-15 Nul	3-15 Nul															
		Fricció lliscant	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul															
						Vermells (humitat)	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	20-50	Baix	50-100	Baix	>100	Nul						
20-50	Baix																		
50-100	Baix																		
>100	Nul																		
						Fosc (alta temperatura)	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	20-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul						
20-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
						Corrosió química	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td><1</td><td>Baix</td></tr> </table>	<1	Baix										
<1	Baix																		
Desgast per fatiga						Contaminants													
Normal	Normal						Alerta												
		Laminars	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul			
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
		Fragments	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul			
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
		Esfères	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>1-15</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>50</td><td>Nul</td></tr> </table>	1-15	Nul	15-50	Nul	>50	Nul										
1-15	Nul																		
15-50	Nul																		
>50	Nul																		
						Polímers de fricció	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Mitjà</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Baix</td></tr> </table>	20-50	Mitjà	50-100	Baix	>100	Baix						
20-50	Mitjà																		
50-100	Baix																		
>100	Baix																		
						Polimineral	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Baix</td></tr> </table>	20-50	Baix	50-100	Baix	>100	Baix						
20-50	Baix																		
50-100	Baix																		
>100	Baix																		
						Fibres	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Alt</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Alt</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Mitjà</td></tr> </table>	20-50	Alt	50-100	Alt	>100	Mitjà						
20-50	Alt																		
50-100	Alt																		
>100	Mitjà																		
Desgast abrasiu																			
Normal	Normal																		
		Entre dos cossos	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul			
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
		Entre 3 cossos	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>15-50</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Nul</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table>	15-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul			
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		
15-50	Nul																		
50-100	Nul																		
>100	Nul																		



Observacions: La mostra està molt contaminada

Partícules de pols ambiental a causa d'un filtre d'oli molt brut. Es poden apreciar fibres plenes de pols.



Resultats membrana 11:







La membrana 11 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Citroën, en concret del model Xsara. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. L'oli tenia una vida de 25.000 Km, 5.000 Km més dels que recomana l'oli pel seu canvi. El vehicle té uns 170.000 Km. Cal destacar que la mostra estava molt contaminada, era difícil distingir les partícules i no es podia utilitzar llum per sota ja que la membrana va quedar opaca després del seu filtratge. No s'han trobat partícules de cap tipus de desgast, segurament a causa de que la mostra estava molt bruta. Les úniques partícules que hem distingit són algunes fibres recobertes de pols ambiental a causa de tenir un filtre d'oli molt brut. En conclusió, no podem fer cap valoració si no podem apreciar bé les partícules i haurem de decidir-ho amb el ferrograma corresponent. En general, si la mostra està així de contaminada i tenint en compte que el propietari es passava en 5.000 Km del canvi d'oli recomanat es necessita immediatament un canvi.


- Desgast adhesiu: No s'ha pogut apreciar
- Desgast per fatiga: No s'ha pogut apreciar
- Desgast abrasiu: No s'ha pogut apreciar
- Òxids ferrosos: No s'ha pogut apreciar
- Contaminants: Fibres recobertes d'una gran quantitat de partícules de pols.


Client : D		Codi Mostra:	
Equip: D		Ferrograma Z11 (Z11)	
Data presa mostres: 01/07/2008	Km d'oli: 25000	Tipus d'oli:	
Data anàlisi: 02/07/2008	Volum d'oli: 4 ml	Citroën Xsara HDI	

		Ferroses		No ferroses	
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa				

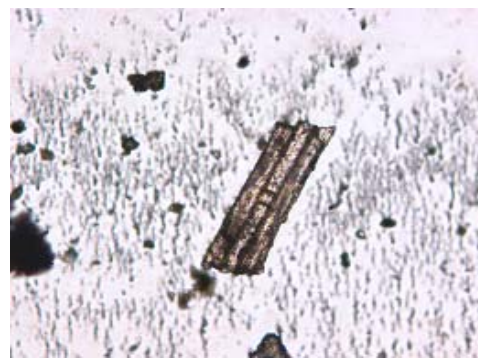
Desgast adhesiu		Oxids ferrosos	
Normal	Normal		Normal
			
Fricció normal	1=15 Nul 15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul	3=15 Nul 15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul	20=50 Baix 50=100 Baix >100 Nul 20=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul Corrosió química <1 Baix

Desgast per fatiga		Contaminants	
Normal	Normal		Alerta
			
Laminars	15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul	15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul	20=50 Mitjà 50=100 Baix >100 Baix
			
Fragments	15=50 Mitjà 50=100 Baix >100 Nul	15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul	20=50 Baix 50=100 Baix >100 Baix
			
Esferes	1=15 Nul 15=50 Nul >50 Nul	20=50 Alt 50=100 Baix >100 Mitjà	

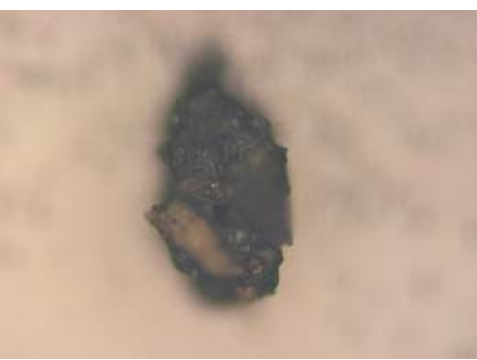
Desgast abrasiu	
Normal	Normal
	
Entre dos cossos	15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul
Entre 3 cossos	15=50 Nul 50=100 Nul >100 Nul



Partícula d'un polímer. La foto està feta amb llum per sota i per sobre



Partícules d'una mostra orgànica d'estructura vegetal. És necessari canviar el filtre. La foto està feta amb llum per sobre i per sota








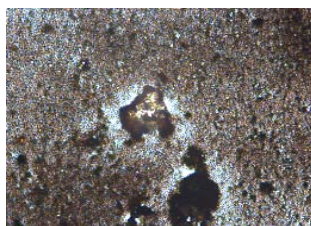
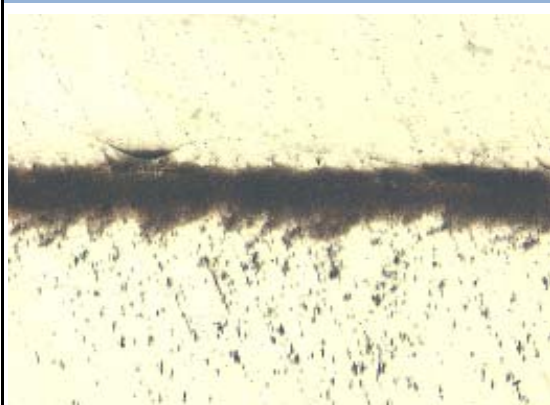

Partícula ferrosa provinent de la camisa del cilindre

Resultats ferrograma Z11:

El ferrograma Z11 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Citroën, en concret del model Xsara 2.0 HDI. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. L'oli tenia una vida de 25.000 Km, 5.000 Km més dels que recomana l'oli pel seu canvi. El vehicle té uns 170.000 Km. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni desgast abrasiu. S'han trobat forces partícules de desgast per fatiga d'origen ferrós provinents de la camisa del cilindre. La concentració d'òxids ferrosos ha estat normal. Pel que fa a contaminants, s'han trobat grans quantitats de polímers degradats. Una de les partícules extraordinàries que s'han trobat és d'origen vegetal, això es degut a que el filtre d'oli necessita un canvi immediat. En conclusió, l'oli i llur filtre necessiten un canvi immediat.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Mitjana concentració de partícules d'origen ferrós.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Gran concentració de polímers de degradació

Client : D				Codi Mostra:			
Equip: D				Ferrograma 21 Mitsubishi Space Star 1.9 Dièsel			
Data presa mostres: 29/07/2008		Km d'oli: 15500					
Data anàlisi: 30/07/2008		Volum d'oli: 3 ml					














		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa						
Desgast adhesiu						Alerta	
Normal	Normal						
		Fricció normal: 1-15 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		3-15 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Vermells (humitat): 20-50 Mitjà 50-100 Baix >100 Nul Foscos (alta temperatura): 20-50 Alt 50-100 Mitjà >100 Nul Corrosió química: <1 Baix	
Desgast per fatiga						Alerta	
Normal	Normal						
		Laminars: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Fragments: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Esferes: 1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Polimers de fricció: 20-50 Mitjà 50-100 Mitjà >100 Nul Polimineral: 20-50 Baix 50-100 Baix >100 Baix Fibres: 20-50 Mitjà 50-100 Mitjà >100 Baix	
Desgast abrasiu							
Normal	Normal						
		Entre dos cossos: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Entre 3 cossos: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Imatge d'un polímer de degradació vist amb llum per sota	
 Partícules ferroses molt petites i concentrades procedents d'òxids		 Partícula d'un polímer de degradació					

Resultats ferrograma 21:

El ferrograma 21 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Mitsubishi, en concret del model Space Star 1.9 D. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. L'oli tenia una vida de 15.500 Km, 500 Km més dels que recomana la casa Mitsubishi pel canvi d'oli. El vehicle té uns 190.000 Km. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni desgast abrasiu ni desgast per fatiga. S'ha trobat gran quantitat de partícules d'òxids ferrosos foscos, els quals han deixat una marca molt visible i gruixuda en el ferrograma. També s'ha trobat una gran quantitat de polímers de degradació i algunes fibres. En conclusió, la valoració de l'oli es força bona tenint en compte que ja li toca realitzar el canvi, però el canvi d'oli és necessari.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Gran concentració d'òxids foscos.
- Contaminants: Gran concentració de polímers de degradació i algunes fibres.

Client: D		Codi Mostra:	
Equip: D		Membrana 21 Mitsubishi Space Star 1.9 D	
Data presa mostres: 29/07/2008	Km d'oli: 15500		
Data anàlisi: 30/07/2008	Volum d'oli: 3 ml		



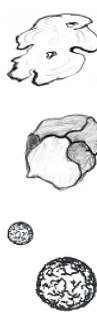


		Ferroses		No ferroses					
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules		
Ferrosa	No ferrosa								
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos			
Normal	Normal					Normal			
	Fricció normal	1-15	Nul	3-15	Nul		Vermells (humitat)	20-50 50-100 >100	Mitjà Baix Nul
	Fricció llisca	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul		Fosc (alta temperatura)	20-50 50-100 >100	Nul Nul Nul
							Corrosió química	<1	Baix
Desgast per fatiga						Contaminants			
Normal	Normal					Normal			
	Laminars	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	15-50 50-100 >100	Mitjà Nul Nul		Polímers de fricció	20-50 50-100 >100	Baix Nul Nul
	Fragmentes	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	15-50 50-100 >100	Mitjà Nul Nul		Polimineral	20-50 50-100 >100	Mitjà Baix Baix
	Esfères	1-15 15-50 >50	Nul Nul Nul				Fibres	20-50 50-100 >100	Nul Nul Nul
Desgast abrasiu									
Normal	Normal								
	Entre dos cossos	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	Partícula de fang degradada			
	Entre 3 cossos	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul	15-50 50-100 >100	Nul Nul Nul				
Partícula d'alumini									
Partícula d'òxid vermell									
Partícula d'alumini provinent del pistó						Partícula d'òxid vermell a causa de l'entrada d'humitat al motor			


Resultats membrana 21:

La membrana 21 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Mitsubishi, en concret del model Space Star 1.9 D. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. L'oli tenia una vida de 15.500 Km, 500 Km més dels que recomana la casa Mitsubishi pel canvi d'oli. El vehicle té uns 190.000 Km. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni partícules de desgast abrasiu. S'han trobat algunes partícules de desgast per fatiga com partícules d'alumini provinents del pistó encara que les quantitats es troben dins d'uns límits acceptables. La concentració d'òxids ferrosos és notable però acceptable. Ha aparegut molt poca quantitat de polímers de degradació, tot i que s'ha notat alguna partícula de fang degradada. En conclusió, la valoració de l'oli es força bona tenint en compte que ja li toca realitzar el canvi.


- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte amb algunes partícules d'alumini provinents del pistó.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Mitjana concentració d'òxids ferrosos vermells.
- Contaminants: Baixa concentració de polímers de degradació.

Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Ferrograma 16 Peugeot 309		
Data presa mostres: 22/07/2008	Km d'oli: ???	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 23/07/2008	Volum d'oli: 3 ml				

		Ferroses		No ferroses																					
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules																		
Ferrosa	No ferrosa																								
Desgast adhesiu						Alerta																			
Normal	Normal																								
	Fricció normal	1-15	Nul	3-15	Nul	 <p>Vermells (humitat)</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Mitjà</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table> <p>Fosc (alta temperatura)</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Molt alt</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Alt</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Baix</td></tr> </table> <p>Corrosió química</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td><1</td><td>Baix</td></tr> </table>		20-50	Mitjà	50-100	Baix	>100	Nul	20-50	Molt alt	50-100	Alt	>100	Baix	<1	Baix				
20-50	Mitjà																								
50-100	Baix																								
>100	Nul																								
20-50	Molt alt																								
50-100	Alt																								
>100	Baix																								
<1	Baix																								
		15-50	Nul	15-50	Nul																				
	Fricció lliça	50-100	Nul	50-100	Nul																				
		>100	Nul	>100	Nul																				
Desgast per fatiga						Alerta																			
Normal	Normal																								
	Laminars	15-50	Nul	15-50	Baix	 <p>Polímers de fricció</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Mitjà</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Mitjà</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Nul</td></tr> </table> <p>Pol·s mineral</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Alt</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Baix</td></tr> </table> <p>Fibres</p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>20-50</td><td>Mitjà</td></tr> <tr><td>50-100</td><td>Baix</td></tr> <tr><td>>100</td><td>Baix</td></tr> </table>		20-50	Mitjà	50-100	Mitjà	>100	Nul	20-50	Alt	50-100	Baix	>100	Baix	20-50	Mitjà	50-100	Baix	>100	Baix
20-50	Mitjà																								
50-100	Mitjà																								
>100	Nul																								
20-50	Alt																								
50-100	Baix																								
>100	Baix																								
20-50	Mitjà																								
50-100	Baix																								
>100	Baix																								
		50-100	Nul	50-100	Baix																				
		>100	Nul	>100	Nul																				
	Fragments	15-50	Nul	15-50	Nul																				
		50-100	Nul	50-100	Nul																				
		>100	Nul	>100	Nul																				
	Esferes	1-15	Nul																						
		15-50	Nul																						
		>50	Nul																						
Desgast abrasiu																									
Normal	Normal																								
	Entre dos cossos	15-50	Nul	15-50	Nul																				
		50-100	Nul	50-100	Nul																				
		>100	Nul	>100	Nul																				
	Entre 3 cossos	15-50	Nul	15-50	Nul																				
		50-100	Nul	50-100	Nul																				
		>100	Nul	>100	Nul																				



Partícules de carbó retingudes per la gran quantitat de partícules ferroses


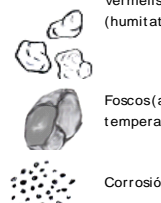

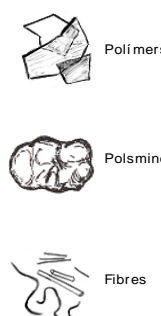





Partícules de pols atmosfèrica retingudes per la gran quantitat de partícules ferroses

Resultats ferrograma 16:

El ferrograma 16 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Peugeot, en concret del model 309 1.4 gasolina. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. El propietari no sap quants Km té l'oli. El vehicle té uns 14 anys i 110.000 Km. Cal destacar que aquest és el ferrograma més contaminat de tots amb diferència. Hi ha una gran quantitat de partícules de carbó i pols retingudes a causa de la immensa capa de partícules ferroses. Al estar tan contaminada la mostra, ha estat molt difícil trobar partícules de desgast, pel que els resultats no poden ser totalment veritables. No s'han trobat partícules de desgast adhesiu ni abrasiu, només unes poques de desgast per fatiga. Com ja hem dit la concentració d'òxids ferrosos es molt alta. També s'han trobat moltes partícules de contaminació com pols atmosfèrica, polímers degradats i algunes fibres. En conclusió, el canvi d'oli i de llur filtre en aquest automòbil és molt urgent.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Concentració d'òxids ferrosos foscos molt gran.
- Contaminants: Alta concentració de polímers de degradació i pols atmosfèrica.

Client: D				Codi Mostra:																																																																					
Equip: D				Membrana 16																																																																					
Data presa mostres: 22/07/2008		Km d'oli: ???		Tipus d'oli:		Peugeot 309																																																																			
Data anàlisi: 23/07/2008		Volum d'oli: 3 ml																																																																							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="2">Ferroso</th> <th colspan="2">No ferroso</th> </tr> <tr> <td>Grandària mitjana (µm)</td> <td>Contingut de partícules</td> <td>Grandària mitjana (µm)</td> <td>Contingut de partícules</td> </tr> </table>				Ferroso		No ferroso		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Grandària mitjana (µm)</td> <td>Contingut de partícules</td> </tr> </table>				Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules																																																								
Ferroso		No ferroso																																																																							
Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules																																																																						
Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules																																																																								
Ferrosa		No ferrosa																																																																							
Desgast adhesiu				Oxids ferrosos																																																																					
Normal		Normal		Alerta																																																																					
		<table border="1"> <tr> <td>Fricció normal</td> <td>1-15</td> <td>Nul</td> <td>3-15</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Fricció lliscosa</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> <td>15-50</td> <td>Mitjà</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Baix</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> </table>		Fricció normal	1-15	Nul	3-15	Nul	Fricció lliscosa	15-50	Nul	15-50	Mitjà		50-100	Nul	50-100	Baix		>100	Nul	>100	Nul			<table border="1"> <tr> <td>Vermells (humitat)</td> <td>20-50</td> <td>Mitjà</td> <td>50-100</td> <td>Baix</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Fosc (alta temperatura)</td> <td>20-50</td> <td>Alt</td> <td>50-100</td> <td>Mitjà</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Corrosió química</td> <td><1</td> <td>Baix</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Vermells (humitat)	20-50	Mitjà	50-100	Baix	>100	Nul	Fosc (alta temperatura)	20-50	Alt	50-100	Mitjà	>100	Nul	Corrosió química	<1	Baix																													
Fricció normal	1-15	Nul	3-15	Nul																																																																					
Fricció lliscosa	15-50	Nul	15-50	Mitjà																																																																					
	50-100	Nul	50-100	Baix																																																																					
	>100	Nul	>100	Nul																																																																					
Vermells (humitat)	20-50	Mitjà	50-100	Baix	>100	Nul																																																																			
Fosc (alta temperatura)	20-50	Alt	50-100	Mitjà	>100	Nul																																																																			
Corrosió química	<1	Baix																																																																							
Desgast per fatiga				Contaminants																																																																					
Normal		Normal		Alerta																																																																					
		<table border="1"> <tr> <td>Laminars</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> <td>15-50</td> <td>Baix</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Baix</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Fragmentes</td> <td>15-50</td> <td>Baix</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Esfères</td> <td>1-15</td> <td>Nul</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>50</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> </table>		Laminars	15-50	Nul	15-50	Baix		50-100	Nul	50-100	Baix		>100	Nul	>100	Nul	Fragmentes	15-50	Baix	15-50	Nul		50-100	Nul	50-100	Nul		>100	Nul	>100	Nul	Esfères	1-15	Nul	15-50	Nul		15-50	Nul	50-100	Nul		>50	Nul	>100	Nul			<table border="1"> <tr> <td>Polimers de fricció</td> <td>20-50</td> <td>Alt</td> <td>50-100</td> <td>Mitjà</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Polimineral</td> <td>20-50</td> <td>Alt</td> <td>50-100</td> <td>Baix</td> <td>>100</td> <td>Baix</td> </tr> <tr> <td>Fibres</td> <td>20-50</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> </table>		Polimers de fricció	20-50	Alt	50-100	Mitjà	>100	Nul	Polimineral	20-50	Alt	50-100	Baix	>100	Baix	Fibres	20-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul
Laminars	15-50	Nul	15-50	Baix																																																																					
	50-100	Nul	50-100	Baix																																																																					
	>100	Nul	>100	Nul																																																																					
Fragmentes	15-50	Baix	15-50	Nul																																																																					
	50-100	Nul	50-100	Nul																																																																					
	>100	Nul	>100	Nul																																																																					
Esfères	1-15	Nul	15-50	Nul																																																																					
	15-50	Nul	50-100	Nul																																																																					
	>50	Nul	>100	Nul																																																																					
Polimers de fricció	20-50	Alt	50-100	Mitjà	>100	Nul																																																																			
Polimineral	20-50	Alt	50-100	Baix	>100	Baix																																																																			
Fibres	20-50	Nul	50-100	Nul	>100	Nul																																																																			
Desgast abrasiu																																																																									
Normal		Normal																																																																							
		<table border="1"> <tr> <td>Entre dos cossos</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td>Entre 3 cossos</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> <td>15-50</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> <td>50-100</td> <td>Nul</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>100</td> <td>Nul</td> <td>>100</td> <td>Nul</td> </tr> </table>		Entre dos cossos	15-50	Nul	15-50	Nul		50-100	Nul	50-100	Nul		>100	Nul	>100	Nul	Entre 3 cossos	15-50	Nul	15-50	Nul		50-100	Nul	50-100	Nul		>100	Nul	>100	Nul																																								
Entre dos cossos	15-50	Nul	15-50	Nul																																																																					
	50-100	Nul	50-100	Nul																																																																					
	>100	Nul	>100	Nul																																																																					
Entre 3 cossos	15-50	Nul	15-50	Nul																																																																					
	50-100	Nul	50-100	Nul																																																																					
	>100	Nul	>100	Nul																																																																					
																																																																									
Partícula d'alumini provinent del pistó				Partícula d'un polímer de degradació																																																																					

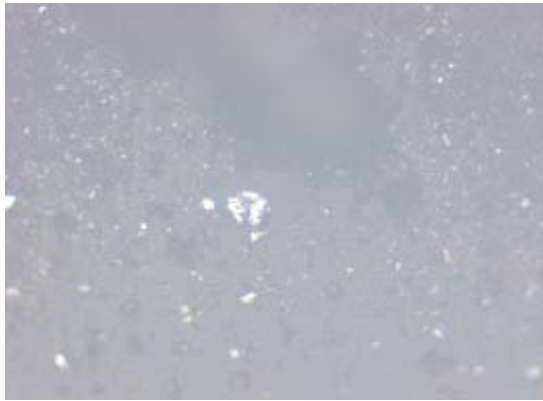
Resultats membrana 16:

La membrana 16 pertany a una mostra d'un automòbil de la casa Peugeot, en concret del model 309 1.4 gasolina. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. El propietari no sap quants Km té l'oli. El vehicle té uns 14 anys i 110.000 Km. Cal destacar que la membrana ha estat realitzada amb oli una vegada passat pel ferrograma, a causa de la poca quantitat de mostra que teníem, pel que és difícil trobar-hi partícules ferroses. El cas és que veient el seu corresponent ferrograma, el qual té una immensa quantitat de partícules ferroses és difícil que les hagi filtrat totes. És per això que la concentració d'òxids ferrosos foscos continua essent elevada. S'han trobat unes poques partícules de desgast adhesiu i de desgast per fatiga, com és el cas de partícules d'alumini provinents del pistó. No s'han trobat partícules de desgast abrasiu. S'han trobat alguns òxids ferrosos vermells. En més quantitat s'han trobat partícules de polímer degradat i pols atmosfèrica. En conclusió, de la mateixa manera que hem dit en el ferrograma, és molt urgent canviar l'oli d'aquest vehicle.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Concentració d'òxids ferrosos foscos molt gran i alguns de vermells.
- Contaminants: Alta concentració de polímers de degradació i pols atmosfèrica.

Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Ferrograma f10k Motocicleta Tot Curses		
Data presa mostres: 07/05/2008	Km d'oli: ???	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 31/07/2008	Volum d'oli: 3 ml				

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
	Ferrosa						
	No ferrosa						
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos	
	Normal					Normal	
	Alerta						
Desgast per fatiga						Contaminants	
	Normal					Normal	
	Normal						
Desgast abrasiu							
	Normal						
	Normal						














Partícules d'alumini provinent del pistó

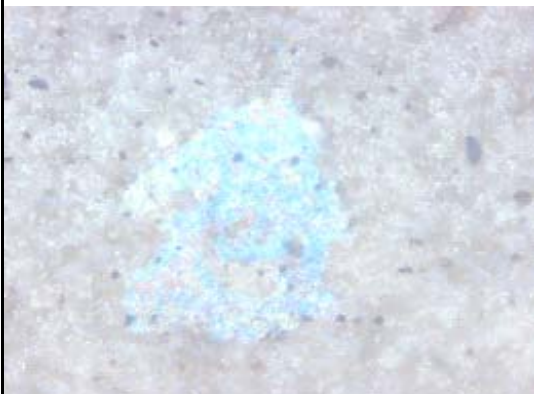
Resultats ferrograma f10k:

El ferrograma f10k pertany a una mostra de la motocicleta que prepara l'empresa "Tot Curses" per participar a competicions de rally com el Dakar. La motocicleta és feta per ells i porta el motor que es munta a la Yamaha WR 450 Enduro. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. Es desconeixen els Km recorreguts tan de l'oli com els totals de la motocicleta. S'ha trobat una immensa quantitat de partícules de desgast adhesiu d'alumini, provinents del pistó. El desgast adhesiu es deu al cisallament per tracció de les microsoldadures que es generen quan dues superfícies entren en contacte directe metall contra metall, degut a una temperatura excessiva de treball o a una lubricació insuficient. És per això, que al tractar-se d'un vehicle de competició de ral·lies, els quals sempre van amb el gas a fons, la lubricació pot arribar a ser insuficient. Pel que fa a partícules de desgast per fatiga n'hi ha molt poques. Les partícules per desgast abrasiu són nul·les. De contaminants només s'han trobat unes poques partícules de pols minerals. En conclusió, el problema del desgast adhesiu potser es solucionaria amb un altre tipus d'oli, encara que bàsicament és un problema de subministrament de lubricació.


- Desgast adhesiu: Gran quantitat de partícules d'alumini despreses del pistó
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Correcte.

Client: D			Codi Mostra:		
Equip: D			Membrana 18 Scania 470		
Data presa mostres: 02/04/2008		Km d'oli: ???			
Data anàlisi: 07/05/2008		Volum d'oli: 3 ml			

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa						
		Desgast adhesiu				Oxids ferrosos	
Normal	Normal					Normal	
	Fricció normal	1-15	Nul	3-15	Nul	 Vermells (humitat)	20-50 Mitjà 50-100 Baix >100 Nul
	Fricció lliscant	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Foscos (alta temperatura)	20-50 Mitjà 50-100 Nul >100 Nul
						 Corrosió química	<1 Baix
		Desgast per fatiga				Contaminants	
Normal	Normal					Normal	
	Laminars	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Polimers de fricció	20-50 Mitjà 50-100 Mitjà >100 Nul
	Fragmentos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		 Polsilicats	20-50 Mitjà 50-100 Baix >100 Baix
	Esfères	1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul				 Fibres	20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul
		Desgast abrasiu					
Normal	Normal						
	Entre dos cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			
	Entre 3 cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			



Partícula d'un polímer de degradació



Partícula biològica d'un bacteri

Resultats membrana 18:

La membrana 18 pertany a una mostra d'un camió de la casa Scania, en concret del model 470. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. El subministrador de l'oli ha estat "Transports Seferino Martínez S.L." de Vilafant, els quals utilitzen majoritàriament biodièsel, fet per ells mateixos, com a combustible. Cal destacar, que les mostres segurament han estat extretes d'un bidó, sense prèviament haver-lo remenat, pel que la majoria de partícules van quedar al fons del recipient. No s'ha trobat partícules de cap tipus de desgast degut a que les partícules van quedar al fons del recipient. S'ha trobat una petita concentració d'òxids ferrosos, tan vermells com foscos. S'ha trobat una mitjana concentració de polímers de degradació i pols atmosfèrica. Curiosament s'ha trobat un microorganisme biològic d'un bacteri. No podem extreure cap conclusió sobre l'estat del lubricant a causa del ja mencionat anteriorment.


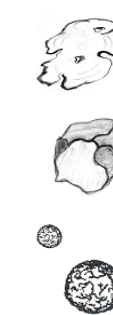

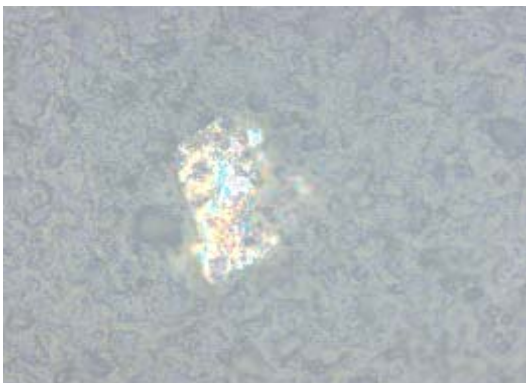
- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Correcte.

Resultats ferrograma 17:

El ferrograma 17 pertany a una mostra d'un camió de la casa Scania, en concret del model 470. És un camió diferent al de la membrana 18. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. El subministrador de l'oli ha estat "Transports Seferino Martínez S.L." de Vilafant, els quals utilitzen majoritàriament biodièsel, fet per ells mateixos, com a combustible. Cal destacar, que les mostres segurament han estat extretes d'un bidó, sense prèviament haver-lo remenat, pel que la majoria de partícules van quedar al fons del recipient. Les partícules de desgast adhesiu i abrasiu trobades són nul·les. S'ha trobat una gran quantitat de partícules ferroses d'acer, probablement provinents de la camisa. La concentració d'òxids ferrosos vermells ha estat baixa. Destaca de la mostra la gran quantitat de polímers de degradació i pols atmosfèrica. No podem extreure cap conclusió sobre l'estat del lubricant a causa del ja mencionat anteriorment, encara que s'hauria de revisar la camisa del pistó per descobrir quina és la causa de la gran quantitat de partícules d'acer trobades.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Concentració elevada de partícules ferroses.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Concentració mitjana de polímers de degradació.

Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Membrana 17 Scania 470		
Data presa mostres: 02/04/2008	Km d'oli: ???	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 07/05/2008	Volum d'oli: 3 ml				



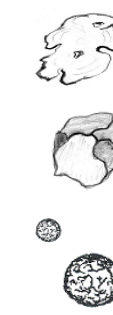


		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa						
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos	
Normal	Normal					Normal	
	Fricció normal: 1-15 Nul Fricció lliscosa: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	3-15 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			Vermells (humitat): 20-50 Baix 50-100 Baix >100 Nul Foscos (alta temperatura): 20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Corrosió química: <1 Baix		
Desgast per fatiga						Contaminants	
Normal	Normal					Normal	
	Laminars: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Fragments: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Esferes: 1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul			Polimers de fricció: 20-50 Alt 50-100 Mitjà >100 Nul Pols mineral: 20-50 Alt 50-100 Mitjà >100 Baix Fibres: 20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul		
Desgast abrasiu							
Normal	Normal						
	Entre dos cossos: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul Entre 3 cossos: 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul					
							
Partícula d'un polímer de degradació							


Resultats membrana 17:

La membrana 17 pertany a una mostra d'un camió de la casa Scania, en concret del model 470. És un camió diferent al de la membrana 18. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. El subministrador de l'oli ha estat "Transports Seferino Martínez S.L." de Vilafant, els quals utilitzen majoritàriament biodièsel, fet per ells mateixos, com a combustible. Cal destacar, que les mostres segurament han estat extretes d'un bidó, sense prèviament haver-lo remenat, pel que la majoria de partícules van quedar al fons del recipient. No s'han trobat partícules de cap tipus de desgast, només uns pocs òxids ferrosos vermells. S'ha trobat una gran concentració de polímers degradats. No podem extreure cap conclusió sobre l'estat del lubricant a causa del ja mencionat anteriorment.


- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Concentració mitjana de polímers de degradació.

Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Ferrograma 1		
Data presa mostres: 13/04/2008	Km d'oli:	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 07/05/2008	Volum d'oli: 4 ml				

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa	No ferrosa						
Desgast adhesiu						Òxids ferrosos	
Normal	Normal						Normal
		Fricció normal: 1-5 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	3-15 Mitjà 15-50 Baix 50-100 Nul >100 Nul			Vermells (humitat): 20-50 Mitjà, 50-100 Baix, >100 Nul Foscos (alta temperatura): 20-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul Corrosió química: <1 Baix	
Desgast per fatiga						Contaminants	
Normal	Normal						Alerta
		Laminars: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul Fragments: 15-50 Baix, 50-100 Nul, >100 Nul Esferes: 1-15 Nul, 15-50 Nul, >50 Nul	15-50 Baix 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul			Polimers de fricció: 20-50 Mitjà, 50-100 Mitjà, >100 Nul Pols mineral: 20-50 Baix, 50-100 Baix, >100 Baix Fibres: 20-50 Mitjà, 50-100 Mitjà, >100 Baix	
Desgast abrasiu							
Normal	Normal						
		Entre dos cossos: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul Entre 3 cossos: 15-50 Nul, 50-100 Nul, >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul 15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul				



Partícula laminar d'alumini provocat per un desgast adhesiu









La mateixa partícula amb un altre enfocament

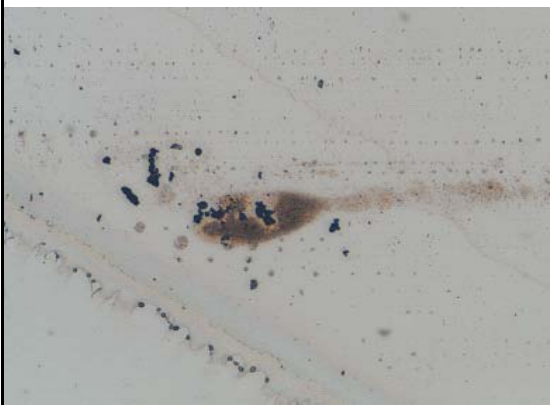
Resultats ferrograma 1:

El ferrograma 1 pertany a una mostra d'un vaixell d'arrossegament del port de Roses. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. Com que el bidó de 50 litres de on vam obtenir la mostra era molt gros, la seva barreja va ser molt complicada i segurament la majoria de partícules van quedar al fons del recipient. S'han trobat unes poques partícules de desgast adhesiu, sobretot alumini provinent del pistó. No s'han trobat partícules de desgast per fatiga o abrasiu. La quantitat d'òxids ferrosos vermells trobats és molt poca. S'han trobat algunes partícules de polímers de degradació i pols atmosfèrica. En conclusió, l'oli està força net.

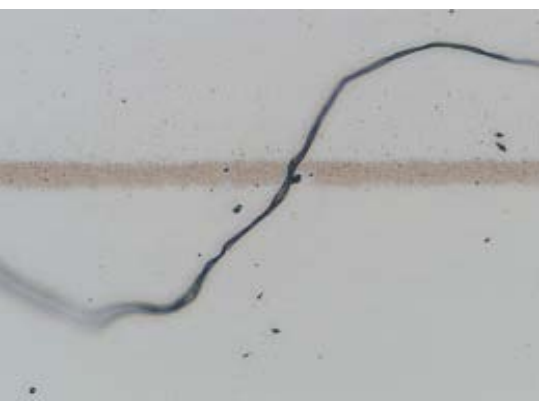
- Desgast adhesiu: Correcte amb una petita concentració de partícules d'alumini
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Concentració baixa de polímers de degradació i pols atmosfèrica.

Client : D				Codi Mostra:					
Equip: D				Ferrograma 5					
Data presa mostres: 13/04/2008		Km d'oli:						Tipus d'oli:	
Data anàlisi: 07/05/2008		Volum d'oli: 4 ml							

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferosa	No ferosa						
Desgast adhesiu						Alerta	
Normal	Normal						
		Fricció normal		Fricció lliscant			
		15÷50	Nul	3÷15	Mitjà	20÷50	Mitjà
		50÷100	Nul	15÷50	Baix	50÷100	Baix
		>100	Nul	50÷100	Nul	>100	Nul
							
						Vermells (humitat) 20÷50 Mitjà 50÷100 Baix >100 Nul	
						Foscos (alta temperatura) 20÷50 Mitjà 50÷100 Mitjà >100 Nul	
						Corrosió química <1 Baix	
Desgast per fatiga						Alerta	
Normal	Normal						
		Laminars		Fragments			
		15÷50	Nul	15÷50	Baix	20÷50	Mitjà
		50÷100	Nul	50÷100	Nul	50÷100	Mitjà
		>100	Nul	>100	Nul	>100	Nul
							
						Esferes 1÷15 Nul 15÷50 Nul >50 Nul	
Desgast abrasiu						Alerta	
Normal	Normal						
		Entre dos cossos		Entre 3 cossos			
		15÷50	Nul	15÷50	Nul	20÷50	Nul
		50÷100	Nul	50÷100	Nul	50÷100	Nul
		>100	Nul	>100	Nul	>100	Nul
							
						Polimers de fricció 20÷50 Mitjà 50÷100 Mitjà >100 Nul	
						Pols mineral 20÷50 Baix 50÷100 Baix >100 Baix	
						Fibres 20÷50 Nul 50÷100 Nul >100 Mitjà	



Imatge del final del ferrograma on es pot observar una gran quantitat de partícules. Pot observar-se la línia diagonal d'adhesiu a la cantonada esquerra.







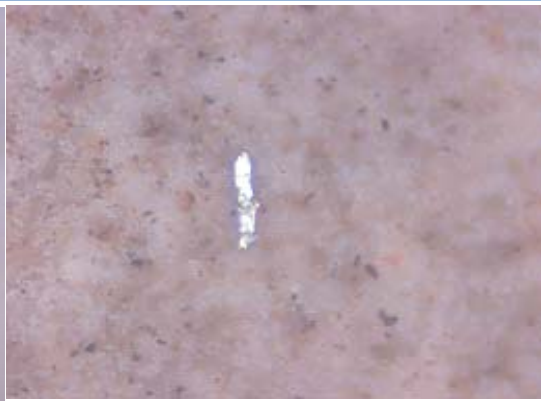
Imatge d'una fibra atrapada en el ferrograma

Resultats ferrograma 5:

El ferrograma 5 pertany a una mostra d'un vaixell d'arrossegament del port de Roses. El volum d'oli analitzat ha estat de 4 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. Com que el bidó de 50 litres de on vam obtenir la mostra era molt gros, la seva barreja va ser molt complicada i segurament la majoria de partícules van quedar al fons del recipient. S'han trobat partícules de desgast adhesiu no ferrós, com partícules d'alumini. Quasi no s'han trobat partícules de desgast abrasiu ni de desgast per fatiga. La concentració d'òxids ferrosos foscos i vermells es força notable. Cal destacar l'aparició de fibres de gran tamany. En conclusió, la valoració d'aquest oli és que està força degradat a causa dels òxids ferrosos i caldria canviar-lo.

- Desgast adhesiu: Correcte amb una petita concentració de partícules d'alumini
- Desgast per fatiga: Correcte
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Grans concentracions d'òxids ferrosos vermells i foscos.
- Contaminants: Petita concentració de fibres de grandària considerable.

Client : D			Codi Mostra:		
Equip: D			Membrana 19 Honda Civic 2001		
Data presa mostres: 27/07/2008	Km d'oli: 14800	Tipus d'oli:			
Data anàlisi: 30/07/2008	Volum d'oli: 3 ml	10W30			

		Ferroses		No ferroses			
		Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules	Grandària mitjana (µm)	Contingut de partícules
Ferrosa		No ferrosa					
		Desgast adhesiu				Òxids ferrosos	
Normal Normal						Normal	
	Fricció normal	15-50 Nul	3-15 Nul			Vermells (humitat)	20-50 Mitjà 50-100 Baix >100 Nul
	Fricció lliscant	15-50 Nul	15-50 Nul			Fosc (alta temperatura)	20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul
		50-100 Nul	50-100 Nul			Corrosió química	<1 Baix
		>100 Nul	>100 Nul				
		Desgast per fatiga				Contaminants	
Normal Normal						Normal	
	Laminars	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Alt 50-100 Nul >100 Nul			Polímers de fricció	20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul
	Fragments	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Alt 50-100 Nul >100 Nul			Polimineral	20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul
	Esferes	1-15 Nul 15-50 Nul >50 Nul				Fibres	20-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul
		Desgast abrasiu					
Normal Normal							
	Entre dos cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul				
	Entre 3 cossos	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul	15-50 Nul 50-100 Nul >100 Nul				
							
Partícula d'alumini provinent del pistó		Partícula d'alumini provinent del pistó					

Resultats membrana 19:

La membrana 19 pertany a una mostra d'automòbil de la casa Honda, en concret del model CIVIC 1.4 de l'any 2001. L'oli té uns 14.800 Km, la casa Honda recomana canviar-lo cada 15.000 Km. És un oli 10W30. El vehicle té uns 92.000 Km. El volum d'oli analitzat ha estat de 3 ml, barrejat a una proporció de 1:1 de dissolvent. Cal destacar que en el ferrograma realitzat d'aquesta mostra no s'observava quasi cap partícula ferrosa, pel que l'oli estava verdaderament molt net. En la membrana cal destacar que tampoc s'ha trobat cap partícula ferrosa de desgast adhesiu, abrasiu o per fatiga. Únicament s'ha trobat una petita quantitat de partícules no ferroses d'alumini provinents del pistó. Pel que fa als òxids ferrosos vermells, se n'ha trobat una petita quantitat. No s'han trobat contaminants. En conclusió, la valoració que faig de l'oli és molt bona pel que aguantaria una bona colla de Km més, el problema és que no coneixem si manté les seves propietats de viscositat.

- Desgast adhesiu: Correcte
- Desgast per fatiga: Correcte amb algunes partícules d'alumini provinents del pistó.
- Desgast abrasiu: Correcte
- Òxids ferrosos: Correcte
- Contaminants: Correcte

5 - CONCLUSIONS.

Valoració d'objectius acomplerts:

La valoració final del treball tenint en compte els diferents objectius plantejats és la següent:

1 - S'han acomplert tots els objectius fixats a l'inici del treball:

- S'ha pogut fer una recopilació important i molt completa, en l'apartat 2 de la memòria, d'aspectes teòrics de la lubricació en general, les tècniques de diagnosi d'olis lubricants, el desgast mecànic, l'anàlisi de les partícules que provoquen el desgast i el manteniment predictiu i preventiu com a element bàsic a nivell industrial.
- Hem aconseguit millorar el captador de partícules, creant-ne un de nou per complet. Hem implementat l'automatització del captador de partícules amb un circuit pneumàtic amb el qual hem aconseguit donar una velocitat de caiguda de l'oli lenta i constant a sobre del cobreobjectes.
- Hem comprovat que el nou captador funciona de manera òptima, permet aconseguir ferrogrames i filtres de membrana fiables, representatius i a punt per a la seva examinació detallada.
- Tot el captador de partícules, excepte en els consumibles, ha estat construït amb peces reutilitzades dels laboratoris. Això significa que el cost econòmic s'ha reduït considerablement.
- Hem aconseguit realitzar un captador de partícules fàcil de transportar, gràcies al suport amb rodetes. Encara que necessitem una presa d'aire comprimit i una presa elèctrica.
- Hem aconseguit una metodització senzilla del sistema d'obtenció de ferrogrames, de manera que qualsevol usuari independentment dels seus coneixements en el tema pot ser capaç de realitzar l'assaig, reduint la possibilitat d'error i augmentant la fiabilitat dels ferrogrames.
- Hem aconseguit que el nostre captador tingui la capacitat de captar partícules d'origen no fèrric, a més de les fèrriques. Això és gràcies a la bomba de succió que hem afegit a la part inferior de l'aparell, la qual ens permet obtenir filtres de membrana. El captador també posseeix la possibilitat de combinar les dues

tècniques: primer la ferrografia i posteriorment el filtratge per membranes, d'aquesta manera aconseguim un resultat més fiable de les partícules atrapades.

- Hem empleat materials no magnètics per no influir en el camp magnètic de l'imant.
- Hem obtingut dues posicions per a l'angle d'inclinació de la base de l'imant.

2 - Referent a les partícules trobades, podem dir que hem trobat una gran diversitat de partícules, la majoria típiques dels MCIA. Són les següents:

1- Contaminants:

- a. Polímers degradats
- b. Pols atmosfèrica
- c. Fibres
- d. Adhesius
- e. Partícules orgàniques vegetals
- f. Bacteris

2- Partícules metàl·liques:

- a. Alumini
- b. Bronze
- c. Acer

3 - A més a més, a banda dels objectius inicials, també hem obtingut les següents conclusions:

- Hem aprofundit i millorat molt els coneixements sobre les tècniques d'anàlisi de lubricants com a eines del manteniment predictiu, tant a partir dels assajos i investigacions pràctiques com a través de la recerca d'informació en publicacions exteriors.
- Hem redactat una metodologia sobre l'obtenció de les mostres, el seu anàlisi, el seu tractament i el seu fixat al portaobjectes per a la seva posterior observació al microscopi.
- Hem arribat a la conclusió que l'imant de neodimi dona millors resultats que el de ferrita, ja que els ferrogrames queden més plens i concentrats de partícules.

- Hem obtingut uns bons resultats en l'aplicació de totes les tècniques d'anàlisi i mesures de control establertes com a manteniment preventiu-predictiu. És important posar èmfasi en què la fiabilitat dels resultats d'aquestes tècniques depèn molt d'una realització correcta del mostreig. Això significa que, si per exemple, s'agafa una mostra d'un recipient el qual no s'ha sacsejat, les partícules quedaran sedimentades al fons. De tal manera que els resultats obtinguts quedaran falsejats.
- El captador de partícules construït en aquest projecte resulta ser un aparell perfectament vàlid i fiable per a l'obtenció de ferrogrames representatius i de qualitat, de manera que el laboratori de lubricants disposarà de tota la instrumentació necessària per a efectuar un assaig de separació de partícules en bones condicions.
- Podem assegurar que hi ha una gran coincidència en els resultats de les dues tècniques de separació de partícules. Està clar que ens referim als resultats de partícules ferroses.
- Hem redactat un manual d'usuari per facilitar el bon funcionament i el bon ús per als posteriors usuaris de l'equip.
- Hem adquirit una gran pràctica en la realització de ferrogrames i filtres de membrana, els quals han estat realitzats sota unes condicions adients, amb un procés estàndard. D'aquesta manera s'aconsegueix que sigui un procés regulat amb el que no es produeixin diferències importants entre els ferrogrames.

Resumint, fem una valoració molt positiva del treball a tots els nivells, fins al punt que a mesura que s'ha anat realitzant el projecte, han anat sorgint nous aspectes i coses per a millorar en el camp de la captació de partícules.

Propostes de treballs futurs.

Un treball com el que s'ha dut a terme deixa moltes línies d'investigació obertes. De cara a posteriors estudis referents al tema de la captació de partícules, a partir d'aquest captador de partícules, proposaria els següents:

- Realitzar un seguit de millores en el captador, de manera que es pugui obtenir més d'una mostra a la vegada.

- Substituir l'automatització del circuit pneumàtic per un altre amb dispositius electrònics.
- Realitzar una simulació amb elements finits del camp magnètic generat per l'imant.

Referent a les tècniques de diagnosi, proposaria els següents treballs:

- Tractar les mostres dels ferrogrames i dels filtres de membrana mitjançant un anàlisi de raigs X, el qual ens determinaria el material de la partícula de desgast.
- Realitzar un estudi sobre la viabilitat d'estudiar les partícules en els fluids refrigerants, de manera que sigui possible avaluar el desgast d'elements interns del circuit de refrigeració com la bomba, els manegots polimèrics o intercanviadors. També es podria detectar l'entrada d'elements contaminants com pols mineral.

6 – *Relació de documents*

Relació de documents

Document N°1: Memòria i annexos

- Annex A: Manual d'usuari
- Annex B: Taules de referència

Document N°2: Plànols

Document N°3: Pressupost

7 - BIBLIOGRAFIA.

- [1] CABRONERO MESAS. Motores de combustión interna. Editat per ell mateix. Any 1993.
- [2] STACHOWIAK, GWIDON W. BATCHELOR, ANDREW W.. Engineering Tribology. Butterworth Heinemann. 2002
- [3] MOBLEY, KEITH. An introduction to predictive maintenance. Butterworth Heinemann. 2002. 2^a edició.
- [4] HIGGINS, LINDLEY R.. Maintenance Engineering Handbook. Editorial Mc-GrawHill. 6^a edició. 2002
- [5] MACIÁN MARTÍNEZ, VICENTE. Mantenimiento de motores de combustión interna alternativos. Servicio de publicaciones UPV. Any 2001
- [6] MALEEV, V.L. Diesel engine operation and maintenance. McGraw-Hill Book Company.
- [7] MONTORO MORENO, LINO. Contribución al desarrollo y mejora de técnicas para la detección u análisis de partículas metálicas y contaminantes en aceites lubricantes usados. Editat per ell mateix.
- [8] MOORE R.C., MICHAEL D. PERKINS. Wear particle Atlas. Editorial desconeguda. 1976.
- [9] RABINOWICZ, ERNEST. Friction and wear of materials. Editorial John Wiley & sons 2^a edició.
- [10] VILORIA, ROLDÁN. Neumática, hidráulica y electricidad aplicada. Editorial Paraninfo. 2001
- [11] SARKAR, A.D. Desgaste de materiales. Editorial noriega limusa 1^a edición.
- [12] SMITH RICKY, R. KEITH MOBLEY. An introduction to predictive maintenance. Butterworth Heinemann. 2002. 2^a Edició.
- [13] STOLARSKI, T. A. Tribology in machine design. Butterworth Heinemann. 1990

[14] TORMOS MARTÍNEZ, BERNARDO. Fundamentos de ingeniería del mantenimiento. Editorial: Servicio de publicaciones UPV.

[15] TORMOS MARTÍNEZ, BERNARDO. Contribución al diagnóstico de motores Diesel basado en el análisis del lubricante usado. Tesis doctoral. Editat per l'autor.

[16] VELAYOS SOLÉ, JOAQUIM. Pneumática. Editat per l'autor. 2ª Edició 1999

[17] FITCH, JIM. Machinery lubrication. Manual del seminari de Noria Corp. Latín América. 2002

Adreces web:

[a] www.lubricantes.net 4 de març de 2008 a les 16:08 web relacionada amb lubricants

[b] <http://auto.howstuffworks.com/engine.htm> 8 de març de 2008 13:01 web on s'explica com funciona el motor d'un cotxe.

[c] <http://www.bobistheoilguy.com/states%20of%20lubrication.html> 12 de març de 2008 a les 19:43. Web relacionada amb els lubricants i el desgast.

[d] www.widman.biz/.../Motores-an/motores-an.html 12 abril de 2008 18:00. Web on s'expliquen interpretacions d'olis de motors de combustió interna.

[e] <http://www.cheops-pyramide.ch/khufu-pyramid/force-friction.html> 24 de març de 2008 a les 10:30. Web on es mostra el procés de construcció de piràmides.

[f] <http://en.wikipedia.org/wiki/Lubricant#History> 24 de març de 2008 a les 10:40. Web on s'explica a grans trets la història dels lubricants.

8 - AGRAÏMENTS.

Vull agrair la col·laboració de totes aquelles persones i institucions que han fet possible la realització d'aquest treball de fi de carrera. Espero agrair tot el que dec, que és molt.

En primer lloc al director/tutor del projecte el Dr. Lino Montoro Moreno, per la seva paciència i dedicació i per haver confiat en mi. Sense ell aquest projecte no s'hauria pogut dur a terme.

Al departament de mecànica de fluids per haver-me deixat utilitzar els seus laboratoris i el seu material.

Al servei de microscòpia electrònica de la UDG, per haver-me deixat fer ús de les seves instal·lacions.

A la Confraria de Pescadors de Roses, per haver-me subministrat alguns olis usats de barques d'arrossegament.

A Tot Curses, en especial a Josep Ferrer, pel seu subministrament d'olis usats de motocicletes.

A la meva família pel seu amor i suport incondicional i continu. Sense el seu esforç i dedicació no hauria arribat aquí.

A tots els meus companys de classe d'ETIM, pels bons moments passats, el seu ajut desinteressat, el seu suport i la gran amistat que hem anat forjant al llarg d'aquests anys.

I en especial, a la Noli, gràcies al seu suport, la seva implicació, la seva paciència i el seu amor en els bons i els mals moments. Sempre ha estat allà per animar-me. Moltes gràcies.

A tots aquells que d'una manera o altra m'han ajudat, encara que el seu nom no figuri de forma explícita en aquestes línies; sense ells tampoc hauria estat possible.

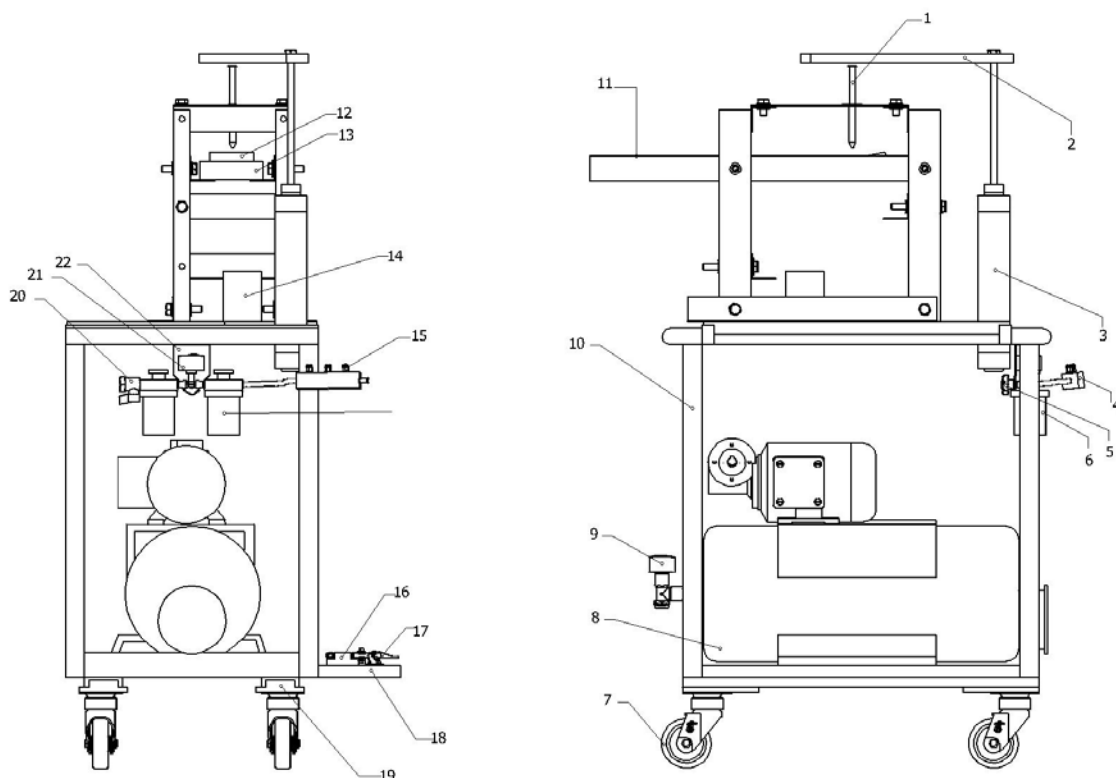
ANNEX A.

Manual d'usuari.

Manual d'usuari



Elements de la màquina:



1 – Xeringa de plàstic d'una capacitat per a 5 ml.

2 – Barra de contacte del pistó en vers la xeringa d'una llargada de 350 mm.

3 – Cilindre pneumàtic Festo de doble efecte.

4 – Distribuïdor amb una entrada i quatre sortides amb ràcords.

5 – Tirador per regular el cabal d'aire.

6 – Filtre del regulador.

7 – Roda de contacte de la plataforma amb el terra.

8 – Bomba de succió REINE.

9 – Manòmetre.

10 – Taula.

11 – Plataforma de suport per l'imat.

12 – Imant de neodimi.

13 – Pla inclinat.

14 – Vas de precipitats.

15 – Ràcord.

16 – Vàlvula 5/3.

17 – Accionament pneumàtic.

18 – Platina.

19 – Clau de pas.

20 – Manòmetre.

21 – Platina doblegada.

A.1 Utilització reglamentària

L'aparell ha estat projectat per a realitzar mostres de ferrogrames i de membranes per captar les partícules existents en olis lubricants usats. Es recomana el seu posterior anàlisi en el microscopi de les mostres generades.

A.2 Normes de seguretat

Només es pot treballar sense perill amb l'aparell si es llegeixen íntegrament les instruccions de maneig i les indicacions de seguretat indicades en els punts següents, atenent estrictament les recomanacions allà compreses. Deixi's instruir pràcticament en el maneig de l'aparell abans de la seva primera aplicació.

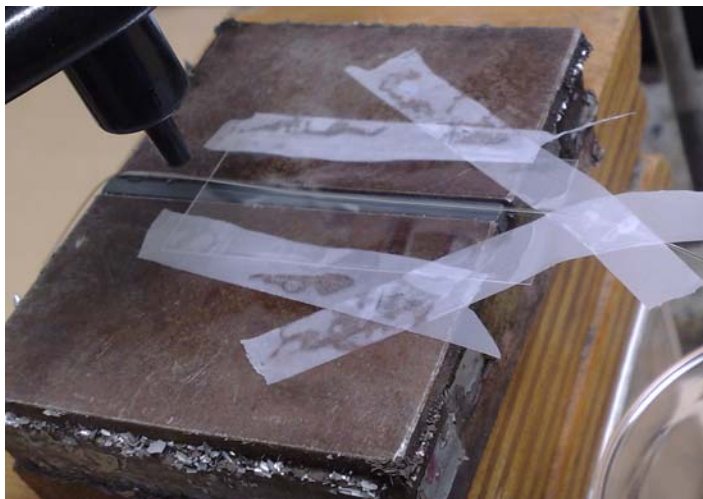
- Portar posat una bata o un mono per a la seva protecció.
- No acostar objectes magnètics a les proximitats de l'imant.
- No portar rellotges o braçalets de metall durant la pràctica de l'aparell.
- No acostar dispositius electrònics com telèfons mòbils o ordinadors portàtils a les proximitats de l'imant.
- Si s'arriba a danyar o tallar el cable de la xarxa, durant la pràctica, no tocar el cable sinó extreure immediatament l'endoll de la xarxa. No utilitzar mai l'aparell amb un cable deteriorat.
- Comprovar que les connexions d'aire comprimit no perdin aire al obrir la clau de pas. Si és així, s'ha de buscar l'origen de la fuga, tancar la clau de pas i teflonar els elements per on s'escapa l'aire.
- No utilitzar a la intempèrie.
- Utilitzar l'aparell sobre un terreny pla.
- Mantenir el cable sempre darrere de l'aparell.
- Si té el cabell llarg, reculli-se'l sota una protecció adequada.
- Evitar cops o sotragades durant el funcionament de l'aparell.
- Asseguri el portaobjectes amb cinta adhesiva sobre l'imant.

- Mai permeti que un menor utilitzi l'aparell.
- No fumar i mantenir l'equip allunyat de fons de calor
- No beure ni menjar durant la utilització de l'aparell

A.3 Muntatge del cobreobjectes

El cobreobjectes és un element molt prim (200 micròmetres), de vidre i, per tant, molt sensible a les forces aplicades a ell. Cal anar amb molta cura manipulant-lo. Cal agafar-lo i manejar-lo sempre pels laterals i extrems. No s'ha de posar mai el dit sobre la zona d'anàlisi. Cal anar amb molt de compte perquè si es trenca pot produir talls a les mans mentre es manipula.

Per muntar el cobreobjectes es necessiten cinta adhesiva i unes tisores. Primerament col·locarem el portaobjectes al centre de l'imant deixant que surti per la part inferior aproximadament un centímetre per facilitar la caiguda de l'oli. Seguidament tallarem un tall de cinta adhesiva amb les tisores i el tallarem per la meitat longitudinalment. Cada un dels talls els col·locarem a sobre del portaobjectes en forma de "V". Tot seguit, tallarem dos trossos més d'una longitud semblant a la del portaobjectes i els enganxarem a cada un dels costats llargs d'aquest, tal i com mostra la figura següent:



La cinta adhesiva permetrà crear un camí perquè l'oli no s'escapi pels costats i pugui caure dins del vas de precipitats. Cal posar el vas de precipitats a sota del camí que recorrerà l'oli, tal i com s'observa a la figura anterior.

A.4 Obtenció d'una mostra amb la màquina de succió

A diferència dels ferrogrames, la màquina de succió capta tot tipus de partícules retingudes a l'oli, ja siguin magnètiques o no. Per a l'extracció de les partícules metàl·liques del lubricant es recomana utilitzar unes membranes de por de 2 µm fabricades per l'empresa Sartorius, de 47mm de diàmetre. Són membranes orgàniques d'acetat de cel·lulosa. El filtrat es realitza en un porta membranes connectat a un kitasatos, utilitzant una bomba de buit per forçar el pas de l'oli a través de la membrana.

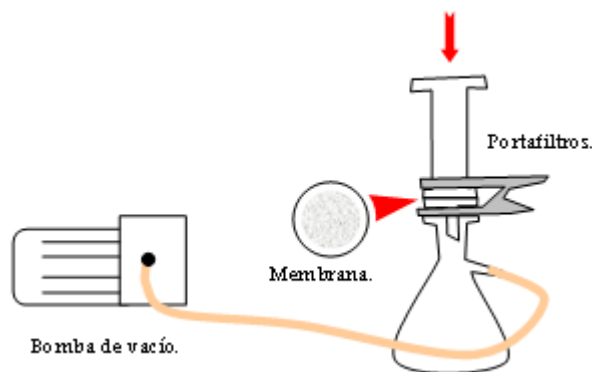
Degut a que el lubricant és molt viscos, s'utilitza un dissolvent n-heptà, compatible amb el material de la membrana, a fi de diluir l'oli i facilitar el filtrat, una vegada acabat el procés, la membrana es tornarà a rentar amb més dissolvent, procurant que quedi la menor contaminació d'oli sobre les partícules retingudes per la membrana.

El material necessari que no es subministra amb l'aparell per a realitzar una mostra amb la màquina de succió és el següent:

- Filtres de membrana
- Pinces
- Embut
- Tap foradat
- Tub de vidre
- Matràs kitasato
- Cinta adhesiva
- Capseta per a protegir les mostres

El procés a seguir és el següent:

- Agafa un filtre de membrana i el col·loquem a sobre del matràs, es tapa amb l'embut i per subjectar-los utilitzem les pinces. A continuació es mostra un petit esquema del muntatge:



- Connecta el tub negre que surt de la bomba de succió a un extrem del matràs.
- Agafa 4 ml de mostra amb la pipeta (Recorda que abans d'agafar qualsevol mostra cal remenar-la perquè les partícules es reparteixin per tot el fluid, això pots aconseguir-ho amb el bany d'ultrasons). Com que les pipetes són de 2 ml, repeteix aquesta operació dues vegades fins a aconseguir 4 ml. Introdueix la mostra dins d'un tub de vidre.
- Afegeix-hi 2 ml de dissolvent. Remena la mostra de dins del tub lleugerament de manera que els dos líquids es barregin i la mescla sigui homogènia.
- Seguidament introdueix la mostra per l'embut del matràs de manera que la mostra quedi a la part de dalt sense que pugui baixar. A continuació endolla la bomba de succió al corrent. Ràpidament la mostra passarà a ocupar l'espai interior del matràs, una vegada s'hagi succionat tota la mostra, neteja l'embut amb dissolvent perquè caigui tota la mostra dins del matràs. Si la bomba no té prou potència de succió es pot deure a tres factors:
 1. La tapa de la bomba està mal tancada. Comprova que la tapa estigui ajustada al cos de la bomba, del contrari no podrà fer el buit.
 2. La bomba està mal regulada. Això es pot arreglar regulant la vàlvula de sortida i augmentant la pressió d'aspiració.
 3. La mostra està altament contaminada de partícules. Si es així, comprova-ho amb l'aparell DRIII de ferrografia quantitativa.
- Desendolla la bomba de la xarxa.
- Treu les pinces i l'embut.

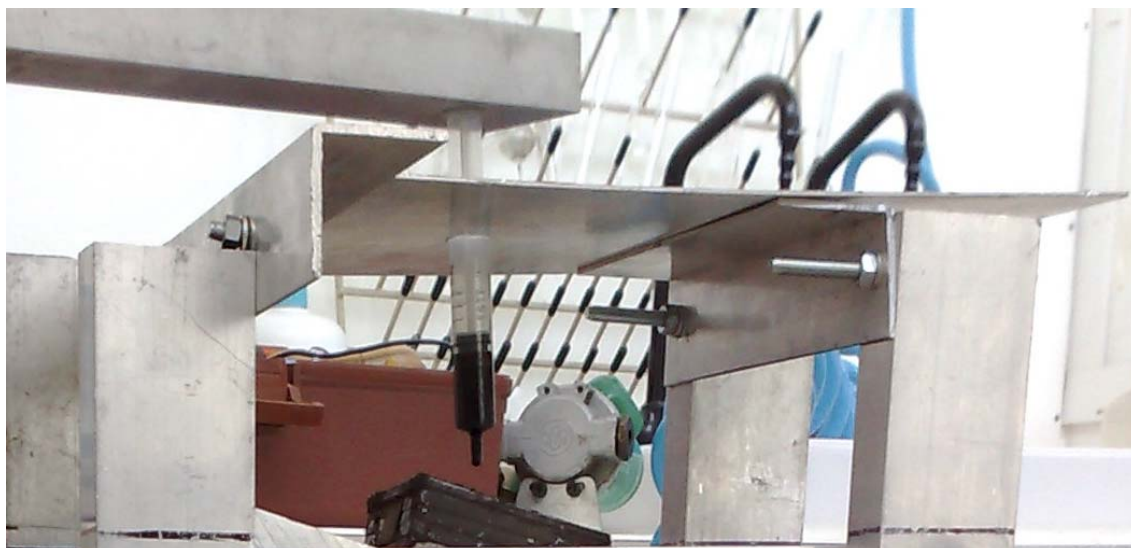
- Espera't una estona perquè el filtre de membrana es sequi.
- Treu el filtre de membrana cuidadosament amb unes pinces. Agafa la membrana per un dels extrems sense interferir amb l'interior d'ella. Extreu la membrana del kitasato i es deixa secar a temperatura ambient, en un portamostres obert amb la finalitat d'afavorir l'evaporació del dissolvent. Evita durant tot el procés de filtrat que les partícules de pols es dipositin sobre la membrana, ja que això falsejaria els resultats obtinguts.
- Col·loca el filtre a sobre d'un portaobjectes, enganxa'l pels extrems amb cinta adhesiva, anomena'l per la seva posterior identificació i guarda'l dins de la capsa.
- L'oli retingut al matràs cal llençar-lo dins de dipòsits controlats per a la seva posterior recollida. **NO LLENÇAR MAI L'OLI PER CONDUCTES DE XARXA LOCAL.**

A.5 Obtenció d'una mostra amb el ferrògraf

Per a realitzar una mostra amb el ferrògraf els passos a seguir són els següents:

- Prepararem el cobreobjectes tal i com s'ha descrit anteriorment.
- Agafarem una mostra de 4 ml mitjançant la xeringa. La mostra ha de tenir una part de dissolvent (un 50%) per facilitar el moviment de l'oli per sobre del portaobjectes.
- Col·locar la xeringa dins el forat que hi ha a la tapa superior de la plataforma de suport de l'imant de manera que quedi travada per l'extrem del tub tal i com es pot observar a la imatge següent:

usats com a eina de manteniment de motors de combustió interna



- Col·locar la barra de suport a sobre de l'èmbol de la xeringa de manera que no hi exerceixi una pressió excessiva com perquè caigui l'oli.
- Obrim la clau de pas de la línia general d'aire comprimit.
- Obrim la clau de pas del regulador de manera que entri aire a les conduccions de l'aparell.
- Graduem una pressió amb el manòmetre compresa entre 2,5 i 3 bar.

usats com a eina de manteniment de motors de combustió interna



Clau de pas

Manòmetre

Tirador

- Ajustar la velocitat del pistó pneumàtic mitjançant el regulador que té acoblat.
- Pitjar l'accionament pneumàtic de la dreta.



- Esperar a que la xeringa s'hagi buidat.
- Afegir dissolvent per acabar d'eliminar residus d'oli de sobre la mostra
- Treure cuidadosament la cinta adhesiva de la mostra.
- Marcar la mostra i guardar-la en una capsa de plàstic pel seu posterior estudi al microscopi.
- L'oli de dins del vas de precipitats cal llençar-lo dins de dipòsits controlats per a la seva posterior recollida. **NO LLENÇAR MAI L'OLI PER CONDUCTES DE XARXA LOCAL.**

ANNEX B.

Taules de referència.

B.1. Introducció.

L'objectiu d'aquest apartat és recollir diferents taules de dades i assajos que aporten una informació complementària als estudis realitzats durant el desenvolupament del present projecte fi de carrera i que són considerades d'interès.

B.2 Classificació SAE per a olis lubricants de càrter.

Grau de Viscositat SAE	Temp. límit de màxima bombejabilitat °C	Viscositat Màxima cP a °C	Viscositat Cinemàtica a 100°C (cSt)		Viscositat de cisalla (cP) a 150°C, 10 ⁶ s ⁻¹ Mínima
			Mínima	Màxima	
0W	- 35	3.250 a -30	3,8	---	
5W	- 30	3.500 a -25	3,8	---	
10W	- 25	3.500 a -20	4,1	---	
15W	- 20	3.500 a -15	5,6	---	
20W	- 15	4.500 a -10	5,6	---	
25W	- 10	6.000 a -5	9,3	---	
20	---	---	5,6	<9,3	2,6
30	---	---	9,3	<12,5	2,9
40	---	---	12,5	<16,3	2,9 ⁽¹⁾
					3,7 ⁽²⁾
50	---	---	16,3	<21,9	3,7
60	---	---	21,9	<26,1	3,7

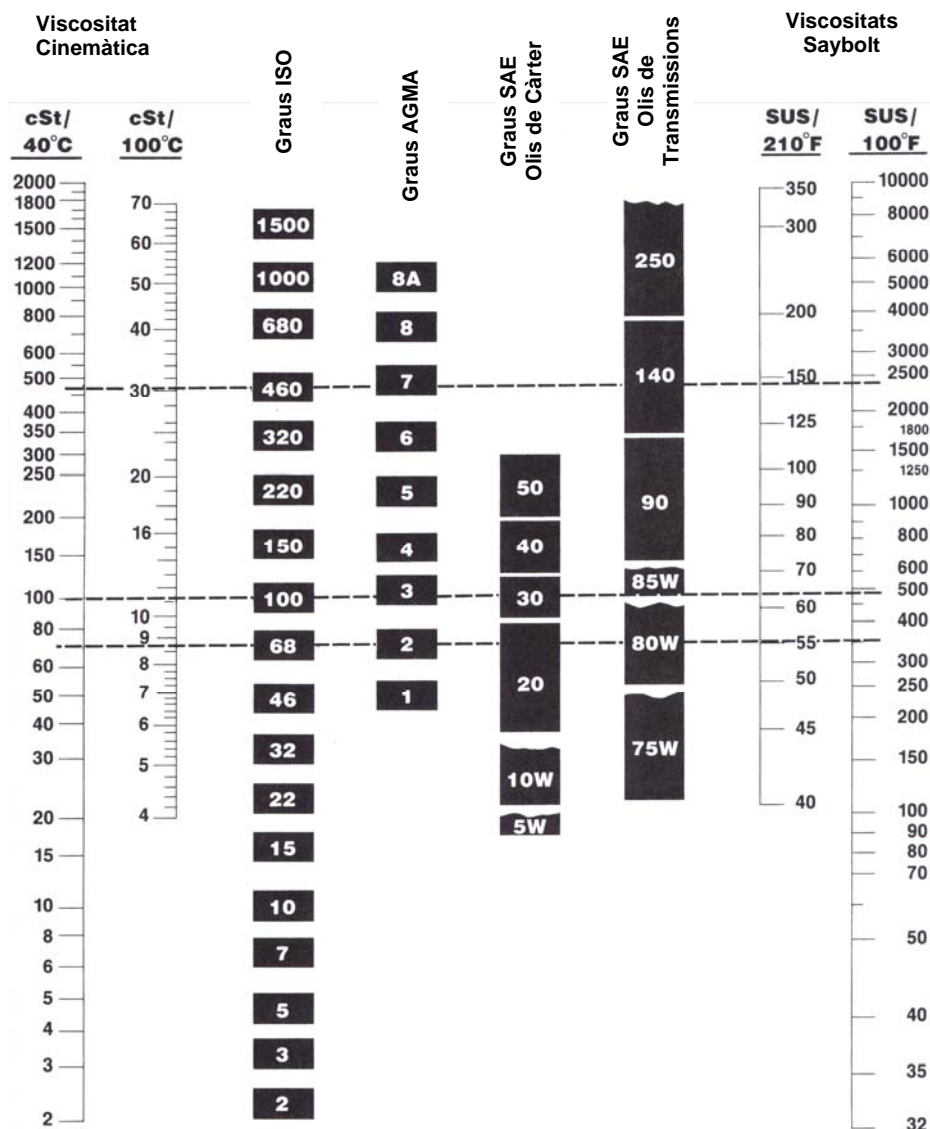
(1) Per a graus de viscositat 0W-40, 5W-40 i 10W-40.

(2) Per a grau de viscositat 15W-40, 20W-40, 25W-40 i 40.

B.3 Classificació ISO per a olis industrials.

Grau de viscositat ISO VG	Viscositat mitjana a 40°C (cSt)	Límit de viscositat		Grau de viscositat ISO VG	Viscositat mitjana a 40°C (cSt)	Límit de viscositat	
		Mín.	Máx.			Mín	Máx.
2	2,2	1,98	2,42	68	68	61,2	74,8
3	3,2	2,88	3,52	100	100	90	110
5	4,6	4,14	5,06	150	150	135	165
7	6,8	6,12	7,48	220	220	198	242
10	10	9,0	11,0	360	360	2,88	352
15	15	13,5	16,5	460	460	414	506
22	22	19,8	24,2	680	680	612	748
32	32	28,8	35,2	1000	1000	900	1100
46	46	41,2	50,6	1500	1500	1350	1650

B.4 Equivalències entre Unitats de Viscositat.
















Les viscositats només es poden relacionar horitzontalment

Les relacions entre viscositat i temperatura estan basades am un IV de 95 i només són aplicables per a olis monograu o olis multigrau de similar índex de viscositat.

Els valors de viscositat d'olis de càrter i olis de transmissions venen referits a una temperatura de 100°C. Les classificacions ISO i AGMA expressen valors de viscositat a 40°C.

B.5. Quadre Resum dels Principals Tipus de Partícules.

Tipus	Característiques	Aspecte
DESGAST ADHESIU		
Fricció Normal	Forma similar a petites escames metàl·liques, d'una grandària mai superior als 20 µm. La seva superfície és llisa y no solen presentar colors d'oxidació. Aquest tipus de partícules està associat al desgast normal.	
Fricció Lliscant	Estries paral·leles en superfície, generalment en la direcció de la dimensió major. Cantonades rectes. Superfície irregular. Coloració superficial per sobreescalfament que indueix habitualment colors d'oxidació característics per a cada tipus d'aliatge.	
DESGAST PER FATIGA		
Fragment	Morfologia equiaxial, amb la superfície sense irregularitats pronunciades, la seva relació dimensió major davant del grossor es inferior a 10:1 arribant fins i tot a 5:1. Apareixen com conseqüència de la degradació del material per fatiga per elevades càrregues.	
Esfera	Forma esfèrica característica que permet una ràpida diferenciació, la seva grandària sol estar entre els 1 µm i 10 µm de diàmetre. Si el diàmetre de les esferes és superior als 20 micròmetres indiquen un dany greu en la màquina o bé el seu origen són restes de mecanitzat, soldadura o tall amb serres radials.	
Laminar	Aspecte aplanat sense cantonades rectes, amb la superfície llisa, en ocasions presenten forats i cantonades marcades, conseqüència de l'aixafament i laminació dels fragments de fatiga que s'introdueixen en la zona de rodament.	
DESGAST ABRASIU		
Entre dos cossos	De 2 µm a 5 µm d'amplada i una longitud generalment superior als 30 µm. Es presenten en forma d'encenalls d'aspecte recte o curvat. En ocasions prenen colors d'oxidació	
Entre tres cossos	De 1 µm d'amplada com a màxim i d'una longitud inferior als 30 µm. Solen ser menys corbades que les formades entre dos cossos.	
ÓXIDS FERROSOS		
Vermells tipus alfa (α-Fe ₂ O ₃)	Tonalitat vermellosa característica, són semitransparents a la llum transmesa, responen amb un color taronja brillant davant la llum polaritzada, amb el qual permet la seva fàcil identificació. La seva presència és indicativa d'una contaminació per aigua del circuit de lubricació.	
Vermells tipus beta (β-Fe ₂ O ₃)	Tonalitat grisa característica, plans, d'aspecte similar a les partícules ferroses de desgast per lliscament, però amb una menor resposta al camp magnètic. Si s'observen amb la llum transmesa, les àrees de menys grossor són translúcides total o parcialment, quedant en evidència un color marró-vermell.	
Negres / Foscos	Color fosc generat per sobreescalfaments. En la superfície es detecten irisacions i colors d'oxidació severa.	
Corrosió	Són òxids d'una grandària inferior a 1 micròmetre, al produir-se sobre la superfície dels materials afectats reaccions químiques o electroquímiques, bé per la presència de gasos o líquids especialment reactius, o bé per l'aparició de parells galvànics entre dos materials diferents.	
PARTÍCULES CONTAMINANTS I DE DEGRADACIÓ DE L'OLI		
Polimers de fricció y de degradació.	Els polimers de fricció presenten un aspecte cristal·lí, son deguts a la degradació del lubricant en zones d'elevades pressions. Els polimers de degradació presenten un aspecte amorf, com gels, originats per processos oxidatius de l'oli y catalitzats per la presència d'aigua, airejament, elevades temperatures i partícules metàl·liques en suspensió.	
Pols ambiental	Pols de silicats: són partícules brillants, s'assemblen a diminuts fragments de vidre. Tenen una elevada duresa, que podria danyar les Superfícies lubricades. Pols calcària: partícules translúcides amb aspecte terrós, en algunes ocasions presenten brillantors, tenen un poder abrasiu inferior als silicats.	
Fibres	Fibres de naturalesa orgànica: són corbades, de diferents colores, amb els extrems esgarrats, els tractaments tèrmics las carbonitza o fon. Fibres de naturalesa inorgànica: <i>Amiant</i> són partícules allargades d'un grossor generalment inferior a 1 µm. <i>Fibra de vidre:</i> són fibres llargues i rectes, el seu grossor és de varis micròmetres.	

B.6 Procedència dels Metalls Existents en el Lubricant.

Font de materials trobats en l'anàlisi de partícules	
Material	Font
Alumini	Pistons d'aliatge lleugers
	Cigonyals
	Peces de fosa
Antimoni	Rodaments plans de metall blanc
Bor	Additius d'olis
	Fugues de refrigerant
Crom	Anells de pistons
	Cilindres
	Ajustament de vàlvules
Cobalt	Ajustament de vàlvules
	Banys de pintura
Coure	Rodaments de bronze o recoberts de coure
Indi	Cigonyals
Ferro	Engranatges
	Arbres de lleves
Plom	Rodaments plans
Magnesi	Desgast de components plàstics
	Intrusió d'aigua de mar
Níquel	Ajustament de vàlvules
	Acers d'aliatge
Silici	Intrusió de minerals en forma de pols
Plata	Rodaments recoberts de plata
	Desgast de juntes soldades de plata
Sodi	Fugues de refrigerant
	Intrusió d'aigua de mar
Llautó	Rodaments plans
Zinc	Additius d'olis