



# Riscos per exposició a fums dièsel

El gasoil és el combustible derivat del petroli que utilitzen els motors de combustió dièsel. El motor dièsel, que va ser patentat el 1892 per Rudolf Diesel, presentava avantatges en l'eficiència de consum de combustible comparat amb els motors per ignició de bugia. Proporciona energia a una àmplia varietat de vehicles, equips pesants i maquinària diversa, i està present en un gran nombre de sectors laborals, com són el transport, la construcció, la mineria, l'agricultura, el marítim, i en molts tipus diferents d'indústria, en operacions de fabricació, d'emmagatzematge, etc.

Els motors dièsel transformen l'energia química del combustible en força mecànica. El combustible s'injecta sota pressió al cilindre del motor, on es barreja amb aire i es produeix la combustió. Com a resultat del procés de combustió, els motors dièsel emeten gasos d'escapament i matèria particulada a l'ambient. Aquests components, que s'anomenen emissions o fums dièsel, presenten toxicitat per als éssers humans i constitueixen un problema important en matèria de salut pública i de salut en el treball.

El 1988, l'Agència Internacional per a la Investigació sobre el Càncer (IARC) va classificar les *emissions d'escapament dels motors dièsel com a probable carcinogen per als éssers humans* (grup 2A). El 2012, la IARC va *reclassificar aquestes emissions com a carcinogen per als humans* (grup 1).

Per tant, a més de la contaminació ambiental a la qual la població està exposada, sobretot en àrees urbanes, hi ha nombroses activitats professionals que poden estar sotmeses a una exposició freqüent a fums d'escapament dièsel.

L'exposició laboral a fums d'escapament dièsel es considera com a exposició a un agent cancerigen en el lloc de treball i, per tant, els seus riscos han de ser avaluats i controlats a un nivell acceptable, ja que poden crear un perill per a la salut quan no estan adequadament controlats.

## Objectiu

Informar sobre diversos temes relacionats amb la prevenció dels riscos associats amb l'exposició als fums dièsel en els llocs de treball:

- Què són les emissions dièsel (composició).
- Qui està exposat als fums dièsel (activitats professionals).
- Quins en són els efectes per a la salut.
- Quins en són els riscos (avaluació de riscos).
- Com s'hi poden controlar les exposicions (mesures de prevenció i control de l'exposició).
- Quina és la reglamentació en matèria de partícules fines.

## Composició de les emissions dièsel

Les emissions dièsel provenen dels motors que cremen combustibles dièsel. Es tracta d'una barreja variada de vapors, aerosols líquids i partícules, i són la font d'una contaminació químicament complexa.

Encara que, la seva composició pot variar àmpliament, els principals components químics de les emissions d'escapament de dièsel són:

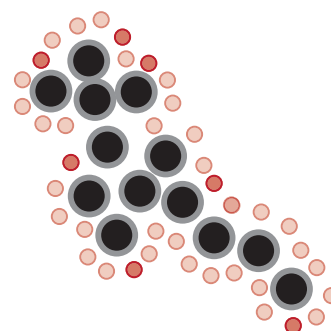
- **Gasos i vapors:** majoritàriament els gasos que es troben a l'aire, com el nitrogen, l'oxigen, el vapor d'aigua i el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ). També hi ha productes químics perillosos, com l'òxid nítric ( $\text{NO}$ ), el diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ), el diòxid de sofre ( $\text{SO}_2$ ), el monòxid de carboni ( $\text{CO}$ ) i els compostos orgànics volàtils (COV), com el benzè i el formaldehid.
- **Les partícules fines:** són partícules fines de carboni en una quantitat elevada, que formen un aglomerat de carboni amb altres compostos de composició complexa que s'hi adhereixen, amb mides compreses entre 10 i 300 nm, i que és conegut com a sutge. Aquestes partícules estan compostes per un nucli sòlid de carboni elemental i una superfície a la qual s'uneixen altres substàncies, principalment de carboni elemental i orgànic, i això inclou els hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP), cendres, aigua, sulfats, sofre, aerosols àcids i òxids metàl·lics, silicats, etc (veure figura 1).

S'hi poden trobar metalls pesants i els seus compostos: arsènic, cadmi, crom, coure, mercuri, níquel, plom, seleni, zinc.

Els hidrocarburs aromàtics policíclics i els nitroarens (derivats d'hidrocarburs aromàtics policíclics amb almenys un grup nitro) poden formar part tant de la fase gas com de la matèria particulada.

Els contaminants més perillosos de les emissions dièsel són els òxids de nitrogen i les partícules, que es caracteritzen per la mida, el nombre, la massa i les diferents substàncies de què es componen. La matèria particulada pot romandre a l'aire durant llargs períodes de temps i pot penetrar profundament en els pulmons a causa de la seva mida petita.

A més, la composició qualitativa i quantitativa de les emissions de motors depèn del combustible, de la forma d'injecció, del tipus de motor i de la seva edat, de l'estat del seu ajust i manteniment, de la utilització d'un sistema de control d'emissions i del patró d'ús (ralentí, acceleració o desacceleració, transitori, marxa estabilitzada, plena càrrega, etc.). Tenen importància les partícules sòlides de carboni que queden parcialment cremades, ja siguin del carburant, lubricants, etc. (pel sistema d'injecció, l'excés d'aire, la temperatura, etc.).



- Partícules d'hidrocarburs condensades
- Sulfats hidratats
- Nuclis de carboni sòlid amb hidrocarburs adsorbents

Figura 1. Esquema de partícules dièsel

## Activitats professionals amb risc d'exposició a emissions dièsel

La principal font d'exposició laboral a les emissions dièsel és la dels vehicles pesants que utilitzen combustible dièsel. Es troben en el sector transport (camions, autobusos, trens, vaixells), en maquinària i equips en diversos sectors, com ara la mineria, la construcció, la indústria i l'agricultura (excavadores,

formigoneres, perforadores de forta tracció, carretons elevadors, generadors d'electricitat, tractors, etc.).

Els nivells d'exposició poden ser més alts en treballs en espais confinats o tancats, amb poca ventilació, on la concentració de gasos d'escapament es pot acumular. Per exemple, els que utilitzen maquinària per la realització de treballs soterranis, en mines, túnels, excavacions, rases, dipòsits, pous, galeries, etc.; també conductors de carretons que passen molt temps dins de magatzems o locals.

A més, hi ha una gran diversitat d'activitats en les quals els treballadors també poden estar exposats a les emissions de dièsel:

- Mecànics de tallers d'automòbils (reparació, manteniment, control tècnic).
- Treballadors de la construcció, conductors de maquinària d'obres, d'indústria extractiva, de pesos pesants, o també d'altres tipus de vehicles més lleugers.
- Personal que treballa prop de vehicles i motors, com treballs sobre la via pública, carreteres i camins, operadors en les cabines de peatge i les cabines de menjar ràpid, garatges, benzineres, aparcaments, etc., en general, llocs on hi ha molt trànsit de vehicles.
- Treballadors de refineries de petroli i gas, treballadors de terra de línies aèries, estibadors, treballadors del camp, forestals, etc.

Tots els vehicles de motor que utilitzen combustible dièsel generen emissions, quan estan en funcionament, fins i tot durant el seu manteniment i reparació al taller o servei. També es poden generar emissions dièsel a partir de fonts d'energia estacionàries com generadors, compressors, grups electrògens, equips d'elevació fixes, etc., que es poden utilitzar en una gran diversitat de sectors.

## Efectes per a la salut

Les emissions dels vehicles i la maquinària amb motors dièsel produeixen un elevat grau de contaminació a l'atmosfera i, per tant, són de gran importància en matèria de salut pública.

La mida de partícula emesa pels motors dièsel que circulen actualment es troba en un rang inferior a 0,1 micres, de manera que fàcilment pot arribar als alvèols pulmonars i, atesa la

seva composició química, pot ser en certs casos precursor de càncer.

El 2012, la IARC va classificar les emissions d'escapament del motor dièsel com a carcinogen per als humans (grup 1), sobre la base, amb prou evidència, que l'exposició s'associa amb un risc més alt de càncer de pulmó i, amb evidència més limitada, d'un risc més alt de càncer de bufeta.

Les emissions de dièsel representen, tant a curt com a llarg termini, riscos per a la salut, que van des d'efectes lleus fins a malalties respiratòries i càncer.

## Efectes aguts

L'exposició a concentracions elevades d'emissions dièsel pot provocar:

- Irritació dels ulls: llagimeig, picor, ulls vermells.
- Irritació de les vies respiratòries superiors: nas, gola (amb tos o sense).
- Mal de cap, flegmes, nàusees.

Aquests signes són transitoris, reversibles en unes hores o uns dies. Però les exposicions amb nivells molt elevats poden conduir a intoxicacions ràpides, com, per exemple, asfíxia per enverinament amb monòxid de carboni.

Quan s'utilitzen aquests tipus de motors en espais insuficientment ventilats (soterranis, rases, galeries, túnels, locals tancats...) els riscos d'intoxicació són particularment elevats.

## Efectes crònics

Es produeixen intoxicacions cròniques en cas d'exposicions repetides als fums d'escapament. Les partícules dièsel penetren als bronquis i als alvèols pulmonars i poden provocar els efectes següents:

### Efectes cancerígens

L'efecte cancerigen potencial de les emissions dièsel és, de bon tros, l'efecte sobre la salut més estudiat. S'han desenvolupat molts estudis epidemiològics sobre l'impacte de les emissions dels motors en els treballadors exposats.

Les emissions dels motors dièsel contenen moltes substàncies cancerígenes conegudes (per exemple, HAP adherits a les partícules) que són fàcilment inhalades en el tracte respiratori. Hi ha evidència epidemiològica que indica que l'exposició contínua a les emissions d'escapament dièsel pot resultar en un augment del risc de càncers pulmonars i, en menor mesura, en un augment del risc de càncer de bufeta a mitjà o a llarg termini en poblacions de treballadors com són conductors d'autobús, ferroviaris, camioners, estibadors, etc.

#### Efectes al·lèrgics i immunològics

Els fums dièsel també poden provocar inflamacions, al·lèrgies i canvis en la funció pulmonar i cardíaca. Les partícules dièsel intervenen en els mecanismes al·lèrgics potenciant les respostes dels al·lèrgens que s'introdueixen a nivell pulmonar i provoquen una resposta de tipus inflamatori.

L'exposició a llarg termini pot empitjorar l'asma i altres quadres al·lèrgics i pot augmentar el risc de malalties respiratòries.

#### Efectes cardiovasculars

Hi ha pocs estudis específics que relacionin els efectes de les partícules dièsel en la funció cardiovascular, tot i que sí que hi ha estudis epidemiològics que mostren un augment de morts per parada cardiovascular quan hi ha pics de contaminació per partícules fines. S'indica que els contaminants dièsel augmenten els riscos cardíacs en persones que tenen malalties cardiovasculars.

#### Efectes sobre la reproducció

Alguns estudis fets en animals semblen mostrar alguns possibles efectes adversos sobre la espermatogènesi.

### **Prevenió de riscos. Avaluació de riscos, mesures de prevenció i control de l'exposició**

La prevenció de riscos associats als fums dièsel es basa en els principis de prevenció dels riscos químics, amb l'aplicació de les disposicions generals de prevenció relacionades amb els agents químics perillosos.

Eliminar el risc > Reducció i control del risc > Protecció col·lectiva > Protecció individual

L'avaluació dels riscos ha d'ajudar a identificar les situacions de treball en les quals el treballador pot estar exposat als fums dièsel.

Per saber si hi ha exposició a emissions de dièsel, cal analitzar i avaluar les qüestions següents:

- A quantes persones els hi pot afectar, en quina mesura i durant quant temps?
- És possible evitar o controlar les emissions?
- Hi ha queixes del personal potencialment exposat?
- Els motors operen a plena càrrega, a mitja càrrega o en buit?
- En quin estat estan els motors? Pot millorar?
- Les emissions escapen al taller, si s'escau, o es descarreguen mitjançant conductes a l'exterior? Poden disparar el sistema de detecció d'incendis?
- És visible la columna de fum en la zona d'extracció? Quin aspecte té el fum? Es podria evitar?
- És visible la contaminació dins la nau? Es pot evitar? Com?
- S'han pres les mesures de control tècnic pertinents? Són eficaces i suficients?
- Hi ha un dipòsit visible de sutge sobre les superfícies? Es pot evitar?
- Quins mètodes de neteja s'utilitzen?
- Quants motors dièsel poden estar funcionant al mateix temps?
- És necessari l'ús dels motors dièsel o hi ha alternatives?

Fer una anàlisi detallada dels procediments de treball i de les operacions permet definir els riscos previsibles, incloent-hi la gravetat dels danys que es podrien produir, i escollir les mesures preventives tècniques i organitzatives que cal aplicar adaptades al lloc. També permet establir una jerarquia d'accions per dur a terme, des del nivell més alt de protecció i fiabilitat fins al més baix, i determinar amb quina urgència cal actuar.

La taula 1 fa una estimació del nivell de risc per emissions de motor dièsel, segons les observacions fetes en l'avaluació del risc. La taula 2 indica la relació entre el color del fum emès i el funcionament del motor.

Taula 1. Estimació del nivell de risc

Risc baix	Risc mitjà	Risc alt
Fum no visible	A vegades blanc, blau o negre	Sempre fum blanc, blau o negre
Sense dipòsit de sutge	Dipòsit visible en determinades zones	Molt dipòsit, sobretot en zones properes a punts d'emissió
Sense referències d'irritació	Algun cas d'irritació	Referència d'irritació generalitzada
CO <sub>2</sub> < 1.000 ppm	CO <sub>2</sub> de prop de 1.000 ppm	CO <sub>2</sub> > 1.000 ppm
Control correcte	No semblen eficaços els controls	Control inadequat. Decidir l'estratègia de control

Taula 2. Tipus de fums visibles durant la combustió

Color dels fums	Característiques de la combustió
<b>Blau</b>	Presència d'oli i combustible no cremat. Indica un mal reglatge del motor.
<b>Negre</b>	Presència de partícules de carboni, oli i combustible no cremat. Indica un error mecànic del motor.
<b>Blanc</b>	Presència de gotes d'aigua i combustible no cremat. Es produeix amb el motor en fred i desapareix quan s'escalfa.

A continuació s'indiquen unes mesures de prevenció i control de l'exposició. Aquestes mesures no són diferents de les aplicables a qualsevol tipus de risc laboral, però dins d'aquest marc, cal incidir sobre les particularitats del risc per exposició a fums dièsel, que inclouen els punts següents:

- Suprimir els riscos.
- Reduir els contaminants a l'origen.
- Disminuir el nivell de les emissions contaminants.
- Substituir el que és perillós pel que no ho és o ho és menys.
- Reduir el nombre de treballadors exposats, i els nivells i la durada de l'exposició.
- Prendre mesures de protecció col·lectiva amb prioritat sobre les mesures de protecció individual.
- Formació i informació dels treballadors afectats.
- Vigilància mèdica dels treballadors exposats.
- Tenir en compte l'evolució de la tècnica, i planificar la prevenció d'acord amb la integració de la tècnica, les condicions de treball i l'organització, les relacions socials i la influència dels factors ambientals.

## Suprimir els riscos

La primera mesura de prevenció és la limitació de l'ús dels motors dièsel.

Els motors dièsel haurien de ser reemplaçats per motors que utilitzin altres fonts d'energia més netes (com ara electricitat, gas natural comprimit, propà, etc.), sempre que sigui factible i tenint en compte que no s'introdueixin altres riscos en els llocs de treball.

Per als treballs soterranis cal equipar el material fix o semimòbil (com ara compressors, bombes de formigó, carregadors, equips de perforació, etc.) amb motors elèctrics i deixar a la superfície l'equipament amb motor dièsel, sempre que sigui possible.

Per a les activitats en tallers cal organitzar el treball de manera que no s'hagin d'utilitzar els motors tèrmics a l'interior, i utilitzar preferentment carretons industrials elèctrics o a gas.

## Reducció dels contaminants a l'origen

Els paràmetres que tenen una influència determinant en aquest aspecte són:

### Disseny i construcció dels motors

Cal tenir en compte:

- L'optimització dels sistemes d'injecció.
- L'optimització de la combustió.
- Minimitzar el consum d'oli.
- El reciclatge dels gasos d'escapament.

Com que els diversos contaminants que es troben són molt variats, el que ofereix la millor regulació dels paràmetres d'acció sobre les emissions dièsel és el control electrònic.

Això es tradueix en un consum menor de dièsel i una reducció de contaminants en l'escapament. Una mesura addicional seria limitar la quantitat màxima d'injecció de dièsel encara que es disminueixi la potència.

Des d'un punt de vista pràctic, i per atendre els límits imposats per a cada etapa que marca la legislació, es necessita una regulació electrònica amb tecnologia cada vegada més sofisticada (etapes IIIA, IIIB, IV) (Vegeu la taula 4 en l'apartat "Regulació de les emissions de motors dièsel. Normativa".)



## Les característiques del carburant

Les característiques del carburant tenen una influència important sobre la naturalesa i la quantitat dels contaminants emesos pels motors dièsel.

Un carburant de mala qualitat influeix, a més, en la degradació del motor.

És imprescindible fer un bon manteniment dels filtres i substituir-los quan sigui necessari, de manera rigorosa.

D'altra banda, el contingut de sofre del combustible és un paràmetre molt important, responsable de la presència de diòxid de sofre i d'un augment del contingut de partícules en el gas d'escapament. Per reduir les emissions contaminants dels motors dièsel en partícules i diòxid de sofre s'haurien d'utilitzar carburants amb un contingut de sofre tan baix com sigui possible.

La combustió és de qualitat si hi ha una ignició ràpida seguida d'una crema total i uniforme del carburant.

També hi ha altres tipus de carburants alternatius utilitzables per motors dièsel que permeten reduir l'emissió d'alguns contaminants. Per exemple, emulsions d'aigua dins el gasoil, que permeten una reducció de les emissions d'òxids de nitrogen i de partícules, però augmenten la fracció orgànica no cremada. Aquest tipus de carburant l'utilitzen actualment algunes flotes d'autobusos.

El biodièsel sintètic és un fuel oxigenat sense sofre i baix en aromàtics que disminueix la matèria particulada, però augmenta el contingut de NO<sub>2</sub>, i és car.

## El manteniment dels motors dièsel

El manteniment adequat del motor és un paràmetre primordial que influeix directament en les seves emissions. Les emissions de gasos i partícules poden variar fins a duplicar-se entre un motor al qual se li fa un bon manteniment i un altre idèntic en el qual s'ha descuidat.

En general, s'indiquen unes línies directrius prioritàries en les diferents fases de

funcionament del motor per portar a terme un programa de manteniment adequat:

- **Admissió.** Neteja periòdica dels filtres, per evitar la reducció anormal de la taxa de subministrament d'aire i la formació d'un excés de CO, turbocompressor i intercanviador d'aire. En un ambient molt carregat de pols, les canalitzacions entre el filtre d'aire i el motor han de ser hermètiques.
- **Escapament.** Control de la contrapressió d'escapament i pèrdua de càrrega. Si és massa elevada, pot ser el signe d'un dispositiu de tractament de gasos inadaptat, font de sobreconsum i d'un nivell de contaminació important.
- **Sistema d'injecció de gasoil.** Té una importància primordial en l'emissió de substàncies contaminants. S'han de verificar les pressions en la bomba d'injecció i en els injectors, i la seva regulació.
- **El sistema de refrigeració.** A més de la verificació del nivell de líquid de refrigeració, cal assegurar la neteja del radiador, i el bon estat de la corretja i del termòstat del ventilador.
- **La qualitat del carburant i el seu emmagatzematge.** Si es descuida el sistema d'emmagatzematge del carburant, sovint pot originar una mala qualitat del carburant usat, envelliment, presència d'aigua i de residus diversos que generen problemes de rebliment dels filtres i de desajust de la injecció.
- **El sistema de lubricació.** Cal prestar atenció a la qualitat dels olis utilitzats i al seu emmagatzematge, i també cal verificar regularment el nivell d'oli al motor.

La càrrega de carburant s'ha de fer amb el motor parat, per evitar-ne la condensació a causa de la humitat de l'atmosfera. La penetració de gotes d'aigua pot impedir un funcionament correcte de la bomba d'injecció i produir una oxidació en cas d'immobilització perllongada del motor.

## **Descontaminació dels gasos d'escapament**

Per tal d'arribar a nivells de contaminació prou baixos, és possible afegir-hi un dispositiu de tractament dels gasos contaminants, com, per exemple, catalitzadors per oxidar els gasos i les substàncies orgàniques, i trampes per eliminar la matèria particulada.

És molt difícil aconseguir l'eliminació de tots els contaminants emesos pels motors tèrmics, a causa de les diferents propietats químiques que presenten. Alguns compostos (monòxid de carboni, compostos orgànics, partícules de carboni) es poden transformar per oxidació en diòxid de carboni o en vapor d'aigua, mentre que els òxids de nitrogen s'han de reduir a oxigen i nitrogen.

En l'elecció d'un sistema de descontaminació, s'han de tenir en compte diversos paràmetres:

- La naturalesa dels contaminants que s'han de reduir.
- El nivell de reducció que s'ha de portar a terme.
- El tipus de motor utilitzat.
- La utilització que es farà del motor o del vehicle.

Per als motors dièsel, els principals sistemes de descontaminació són els depuradors, que poden ser de diversos tipus:

- **Depuradors catalítics de “dues vies”.** Permeten una disminució de la temperatura necessària per a l'oxidació del monòxid de carboni i dels compostos orgànics, i també una reducció de la massa de les partícules emeses. Poden ser “enverinats” per additius o impureses provinents dels lubricants o dels carburants.
- **Filtres de partícules.** Retenen les partícules emeses pels motors dièsel. Al mercat n'hi ha de diversos tipus:
  - **Els filtres consumibles.** Estan constituïts per fibres que retenen les partícules en el volum del filtre. Retenen entre el 80% i el 90% de les partícules. Se saturen al llarg del temps i cal reemplaçar-los.
  - **Els filtres regenerables.** Estan constituïts per materials que resisteixen temperatures prou elevades per poder ser regenerades per combustió de les partícules de carboni. La combustió de les partícules es fa espontàniament sense cap dispositiu addicional. També hi ha sistemes de regeneració del filtre fora del vehicle. Tenen una eficàcia bona, de prop del 90% en massa, i també per a partícules més fines.
  - **Els electrofiltres.** Els gasos i les partícules circulen entre dos elèctrodes entre els quals es manté una diferència de potencial elevada. Sota aquest efecte, les partícules s'aglomeren, es carreguen negativament i són atretes per l'elèctrode positiu, al qual s'enganxen.

- **“Rentadors de gas”.** Es tracta d'un sistema de bombolleig del gas, per eliminar les espurnes i les partícules i disminuir-ne la temperatura, la qual cosa limita l'efecte dels contaminants. És un dels primers dispositius utilitzats, però la seva eficàcia és limitada.

Els sistemes que funcionen millor són els que es desenvolupen específicament per a un motor determinat; per això és important un bon disseny del motor des del inici.

## Controls d'enginyeria

### Sistemes de ventilació

Les emissions de dièsel en àrees tancades, fins i tot en àrees on els motors estan al ralenti o en manteniment, es poden reduir mitjançant la ventilació localitzada o amb una ventilació general que inclogui un millor flux d'aire natural. La cura en la selecció, disseny, instal·lació i operació de sistemes de ventilació, com també la capacitat en l'ús és essencial per assegurar que aquests sistemes redueixen al mínim els nivells d'escapament dièsel en el lloc de treball.

- **Ventilació localitzada.** Consisteix en sistemes de captura per extracció de fums dièsel que, col·locats tan a prop de la font potencial d'alliberament com sigui possible, permeten l'eliminació de les emissions de dièsel abans que es difonguin per l'ambient laboral. Per exemple, els vehicles que estiguin a l'interior es poden connectar a un sistema d'extracció localitzada amb un tub o mànega d'escapament o bé es pot utilitzar un tancament parcial adaptat a l'escapament amb ventilació local (LEV).
- **Ventilació general.** En locals on es pugui permetre (tallers, magatzems, etc.) la ventilació general pot ser natural o mecànica, encara que no és tan eficaç com la localitzada. La ventilació natural consisteix en la regulació de l'obertura de les finestres i les portes, complementada amb ventiladors. La ventilació mecànica consisteix en la instal·lació de ventiladors per moure l'aire a través de la zona de treball o per introduir un subministrament d'aire fresc.

En molts casos pot ser aconsellable una combinació de ventilació general i ventilació localitzada, amb portes obertes i/o extracció al sostre.

La normativa nacional estableix com a exigència única que la proporció volumètrica de CO en l'escapament dels vehicles amb motors de combustió interna no superi les 1.500 ppm de CO (ITC 04.5.04 sobre vehicles automotors).

A la pràctica, es recomana que el cabal d'extracció de l'aire interior per diluir els gasos d'escapament sigui com a mínim de 5-10 m<sup>3</sup>/s per cada 100 HP de potència dièsel en funcionament. Una altra regla equivalent aconsella uns 700-1000 m<sup>3</sup> d'aire per litre de combustible dièsel consumit.

#### Aïllar el perill i minimitzar l'exposició incidental

En situacions en què el control de la font de les emissions de dièsel no pot ser possible, cal prendre altres mesures per minimitzar l'exposició dels treballadors:

- Separar els treballadors dels gasos d'escapament dièsel. Per exemple, aïllar el treballador en una cabina tancada, amb aire condicionat.
- Proporcionar ventilació amb pressió positiva, amb prou aire fresc d'una font no contaminada.
- En el cas de les cabines, utilitzar finestres automàtiques que s'obrin i es tanquin segons les necessitats.
- Utilitzar unitats d'extracció portàtils sempre que sigui possible per allunyar les emissions dels treballadors en àrees com ara túnels o calçades cobertes, passarel·les, etc.

Per minimitzar l'exposició incidental d'altres persones, cal estudiar la disposició del lloc de treball i assegurar la separació de la zona del treball on es generin fums dièsel de les sales adjacents (oficines, despatxos, etc.) i tancar passadissos, portes d'accés, etc., o reduir al mínim l'accés d'altres treballadors o de públic a la zona on es treballa.

#### **Controls de tipus organitzatiu**

- Utilitzar processos o sistemes de treball que ajudin a reduir la generació d'emissions de dièsel, com, per exemple, apagar els motors sempre que sigui possible en lloc de deixar-los al ralenti i adoptar un programa de manteniment regular del motor.

- Fer una programació del treball per reduir al mínim el nombre de treballadors exposats directament, quan sigui raonablement possible, en especial dels que estan a prop de les emissions mentre es treballa.
- Rotació en l'ocupació.
- Reduir el període d'exposició.
- Planificar el treball per al moment menys ocupat del dia o de la setmana per tal de reduir al mínim l'exposició a les emissions.

#### **Utilització d'equips de protecció respiratòria**

Quan l'efectivitat de les mesures de protecció col·lectiva no sigui suficient per garantir la protecció de la salut dels treballadors respecte a les emissions dièsel, cal complementar-les amb la utilització d'equips de protecció individual.

Els equips de protecció respiratòria adequats són els que cobreixen la meitat de la cara, o tota, i disposen d'una combinació de filtres adient per protegir contra partícules, vapors orgànics i gasos: filtres d'alta eficàcia per a partícules (P3) i d'alta capacitat per als filtres contra gasos/vapors (classe 3).

#### **Informació, formació i supervisió**

S'ha de facilitar als treballadors informació i formació sobre els riscos de salut associats amb l'exposició a les emissions d'escapament dièsel i sobre l'ús adequat de les mesures de control.

Ha d'incloure el següent:

- Els perills i els riscos per al treballador.
- Les mesures de control implementades, com utilitzar-les i mantenir-les correctament (per exemple, com i quan cal netejar o reemplaçar els filtres).
- La selecció, ús, manteniment i emmagatzematge d'equips de protecció individual (EPI), necessari per controlar els riscos i conèixer-ne les limitacions.
- Les actuacions per fer front a les situacions d'emergència, i això inclou instruccions de primers auxilis.

La quantitat de detalls i l'abast de la formació depèn de la naturalesa dels riscos i la complexitat dels procediments de treball i les mesures de control necessàries per minimitzar els riscos.



Hi ha d'haver també una supervisió per assegurar que s'estan seguint els procediments de seguretat, en particular, quan s'utilitzen mesures de control organitzatiu per minimitzar els riscos.

### **Revisió i manteniment de les mesures de control**

Les mesures de control han de ser revisades periòdicament per garantir-ne l'eficàcia. Aquestes mesures han d'incloure el control de la circulació d'aire i filtres en els sistemes de ventilació, així com la inspecció dels llocs de treball, consulta als treballadors, proves i anàlisis dels registres i les dades. També cal considerar si l'ús d'una mesura de control d'ordre superior pot ser possible.

Serà necessari revisar les mesures de control:

- Quan la mesura de control no és eficaç en el control del risc.
- Abans d'un canvi en el lloc de treball que és probable que generi un risc per a la salut o per a la seguretat nou o diferent.
- Si s'identifica un risc o un perill nou.
- Si els resultats de la consulta indiquen que cal una revisió.
- Si un representant de seguretat i salut o un treballador sol·liciten una revisió.

S'ha de comprovar que totes les mesures previstes per controlar l'exposició a les emissions de dièsel en el lloc de treball es mantenen en bon estat i amb un funcionament eficient.

Quan s'utilitzen els controls d'enginyeria, han de ser examinats i provats a intervals regulars.

Cal dur a terme una revisió, neteja i manteniment adequat dels EPI que s'utilitzin.

### **Mesurar l'exposició. Límits d'exposició professional**

Respecte a un agent cancerigen, no hi ha una dosi llindar per sota de la qual sigui possible garantir l'absència de risc de dany a la salut. Per tant, és necessari eliminar-ne l'ús o, si no es pot, reduir-hi l'exposició al nivell més baix tècnicament possible.

### **Mesurar**

El mesurament de partícules d'emissions dièsel constitueix un desafiament tècnic, amb dos objectius principals: assegurar el funcionament correcte dels filtres i, en general, quantificar els riscos per a la salut causats per les emissions dièsel.

Tècnicament, la mesura del nombre de partícules (PN) es basa en un comptador de *nuclis de condensació* (CPC), que primer agrupa les partícules més petites i invisibles, i després les compta amb un feix làser.

Els comptadors de partícules elèctriques (EPC) constitueixen una alternativa que s'utilitza sovint, ja que són més pràctics i manipulables.

En un EPC, les partícules es carreguen elèctricament i, després, precipiten en un o varis elements filtrants, on dipositen la seva càrrega elèctrica. El corrent elèctric circulant es converteix en nombre de partícules.

La mesura del nombre de partícules té les següents característiques:

- S'adapta a les partícules dins la gamma de mida 20-300 nm (0,02-0,3 µm), que és la de partícules emeses pels motors de combustió, i que correspon a les partícules que penetren més profundament al pulmó; per tant, les que interessin més als experts en salut.
- Es mesuren partícules sòlides, que inclouen els sutges de carboni, les cendres metàl·liques i els hidrocarburs dèbilment volàtils. Les partícules sòlides es consideren un perill per a la salut, ja que són insolubles i persisteixen molt al cos humà.
- Pot detectar concentracions de partícules molt baixes, per tant, és adequada per detectar trencaments, fuites i altres defectes d'un filtre de partícules abans d'un altre mètode.
- Finalment, és un mètode de mesurament en línia, sense necessitat de grans manipulacions de les mostres ni de lentes anàlisis de laboratori. Les dades s'obtenen immediatament en temps real i *in situ*, fet que permet accelerar les mesures de correcció.

Per tant, la concentració en nombre de partícules és una mesura favorable, ja que combina les exigències en matèria de salut amb la sensibilitat i la disponibilitat d'instrumentació.

D'altra banda, alguns dels components individuals de les emissions dièsel, com el diòxid de carboni, el monòxid de carboni i la pols inhalable i/o respirable poden ser monitoritzats per proporcionar una indicació dels nivells d'escapament dièsel.

El monitoratge de l'aire es pot utilitzar per:

- Determinar si hi ha una fallada o deteriorament de les mesures de control.
- Determinar quan hi ha la possibilitat que els fums dièsel s'acumulin en el lloc de treball.
- Comprovar l'eficàcia de les mesures de control previstes; per exemple, filtre de partícules, ventilació localitzada, ventilació general i EPI.
- Si és obvi que hi ha un problema (per exemple, quan els treballadors refereixen efectes adversos per a la salut com ara mals de cap, marejos, nàusees o irritació dels ulls, el nas o la gola), les mesures de control han de ser revisades immediatament.

### Límits d'exposició professional

No hi ha un estàndard d'exposició professional per a emissions dièsel.

A *Espanya* no hi ha un valor límit ambiental (VLA) que englobi el conjunt dels contaminants ni tampoc indicadors representatius (com podria ser, per exemple, el carboni elemental, pel fet de ser-ne el component majoritari). Tanmateix, sí que hi ha valors límits ambientals per a alguns dels compostos gasosos dels fums dièsel, com mostra la taula 3.

Taula 3. Valors límit d'exposició a Espanya (LEP 2016)

Contaminant	VLA-ED	VLA-EC
CO	25 ppm	-
NO	25 ppm	-
NO <sub>2</sub>	3 ppm	5 ppm
CO <sub>2</sub>	5.000 ppm	-
SO <sub>2</sub>	0,5 ppm	1 ppm
Formaldehid	-	0,3 ppm
Acroleïna	-	0,1 ppm

Per a les partícules (insolubles o poc solubles) no especificades d'una altra manera, es prenen com a referència (vegeu les notes que hi ha a continuació):

Fracció inhalable 10 mg/m<sup>3</sup>  
Fracció respirable 3 mg/m<sup>3</sup>

en un model d'exposició de 8 h/dia.

#### NOTES:

- 1- Valor límit aplicable a les matèries contaminants particulades que compleixin els requisits següents:
  - Que no tinguin un VLA específic.
  - Que siguin insolubles o poc solubles en aigua (o, preferiblement, en el fluid pulmonar aquós, si es disposa d'aquesta informació).
  - Que tinguin una toxicitat baixa, és a dir, que no siguin citotòxics, ni genotòxics, ni reaccionin químicament de qualsevol altra forma amb el teixit pulmonar, ni emetin radiacions ionitzants, ni causin sensibilització, ni cap altre efecte tòxic diferent del que pugui derivar-se de la mera acumulació al pulmó.
- 2- Valors per a la matèria particulada que no contingui amiant i que contingui menys d'un 1% de sílice cristal·lina.
- 3- Vegeu UNE EN 481.

Altres països han pres altres referències:

L'Institut Australià d'Higienistes Ocupacionals (AIOH) recomana que l'exposició a partícules dièsel es mantingui per sota de 0,1 mg/m<sup>3</sup> (mitjana ponderada en temps durant vuit hores, mesurada en submicres de carboni elemental).

A la taula 4 es poden veure els valors límit de referència a Alemanya.

Taula 4. Valors límit a Alemanya (MAK):

300 µg/m <sup>3</sup>	C elemental (mines, soterranis...)
100 µg/m <sup>3</sup>	C elemental (per a altres treballs)
150 µg/m <sup>3</sup>	C total si l'índex C orgànic / C elemental > 50%

## Regulació de les emissions de motors dièsel. Normativa

Hi ha dos tipus de regulacions de les emissions i de qualitat de l'aire:

Els motors dièsel de carretera i alguns d'ús fora de carretera estan subjectes a les regulacions de l'emissió que estableixen els nivells permesos, mesurats en un cicle de proves del motor, de manera que els equips tinguin els seus certificats d'emissions abans de la venda.

Les emissions dels motors dièsel per a recintes tancats es regulen per normes de qualitat d'aire.

La reglamentació europea regula les emissions dels motors de forma diferent per a cotxes lleugers, vehicles de gran tonatge i altres de transport, amb una normativa avançada, o per als vehicles no destinats a la carretera.

En aquest grup s'inclou: maquinària per a perforació de pous industrials, equips de pedrera, maquinària de construcció de carreteres, carretons elevadors, màquines llevaneus, grues mòbils, equips d'assistència aeroportuària, etc.

La Directiva 2004/26/CE va modificar la normativa i es va apropar a les condicions reals d'utilització. (veure la taula 5)

Taula 5. Reglamentació de les emissions de motors dièsel per a maquinària no de carretera. Directiva 2004/26/CE. Valors màxims de les últimes etapes

Potència (kW)	Data d'aplicació	CO (g/kWh)	NO <sub>x</sub> + C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (g/kWh)	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	Partícules (g/kWh)
Etapa IIIA						
130-560	31.12.2005	3,5	4,0	/	/	0,2
75-130	31.12.2006	5,0	4,0	/	/	0,3
37-75	31.12.2007	5,0	4,7	/	/	0,4
19-37	31.12.2006	5,5	7,5	/	/	0,6
Etapa IIIB						
130-560	31.12.2010	3,5	/	0,19	2,0	0,02
75-130	31.12.2011	5,0	/	0,19	3,3	0,02
56-75	31.12.2011	5,0	/	0,19	3,3	0,02
36-56	31.12.2012	5,0	4,7	/	/	0,025
Etapa IV						
130-560	31.12.2013	3,5	/	0,19	0,4	0,025
56-130	31.09.2014	5,0	/	0,19	0,4	0,025

## Conclusions

Davant l'evidència de la perillositat de les emissions dièsel en els llocs de treball a les quals els treballadors poden estar exposats, resulta prioritari conèixer l'estat de les condicions de treball on desenvolupen les seves activitats.

És necessari adoptar les mesures adients per evitar o minimitzar el risc en la mesura que sigui possible, i que les noves tecnologies es puguin incorporar: en la fabricació dels motors dels vehicles i maquinàries, incloent-hi la utilització de nous filtres, combustibles, additius, etc.; en els mètodes de treball; en l'organització; en els programes de revisió i manteniment; en l'eliminació o en tot el cicle de vida de la producció de combustible i la producció de vehicles, amb l'objectiu de substituir-los per altres tipus de motors menys contaminants.

L'alt ritme al que estan evolucionant les tecnologies dels motors pot permetre assolir dos grans reptes en un futur no molt llunyà: emissions més baixes i una eficiència energètica superior.

## Bibliografia

- Directiva 2004/26/CE, del Parlament Europeu i del Consell), de 21 d'abril de 2004, per la qual es modifica la Directiva 97/68/CE relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres sobre mesures contra l'emissió de gasos i partícules contaminants procedents de motors de combustió interna que s'instal·len a les màquines mòbils no de carretera (DOUE L225/3, de 25 de juny)
- INRS - Moteurs diesel et pollution en espace confiné. ND 2239 (2005). <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202239>.
- INRS - Combustibles et carburants pétroliers. ED 989 (2006). <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20989>.
- INRS - Emissions diesel. Performances des filtres à particules pour engins non routiers. ND 2323 (2010) <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ND%202323>.
- INRS - Journée d'information émissions diesel et santé au travail (juny 2012). HST-229-19. <http://www.inrs.fr/accueil/header/actes-evenements/journee-emission-diesel.html>. INRS - Garages Pour Véhicules Légers et Poids-Lourds. FAR 2 (2008). <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=FAR%202>
- INRS. Fiches d'aide au repérage (FAR) et à la substitution (FAS) des cancérogènes. <http://www.inrs.fr/media.tml?refINRS=FAR%200> (Relacionades amb emissions dièsel: FAR 2, 4, 6, 26, 27, 29, 30,55.)
- IARC Monographs - Vol. 105 (2013). Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol105/index.php>
- Seguridad y Salud en el Trabajo. Revista del INSHT, núm. 73, juliol 2013. "La emisión de aerosoles de partículas y gases en motores de diésel". [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/RevINSHT/2013/73/SST\\_73\\_enlaces2.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/RevINSHT/2013/73/SST_73_enlaces2.pdf)
- NIOSH. CDC. - Mining - Diesel Aerosols and Gases in Underground Mines: Guide to Exposure Assessment and Control. <http://www.cdc.gov/niosh/mining/works/cover-sheet748.html>.
- CRAMIF. Guide pour le choix et l'installation d'un filtre à particules sur les engins de chantier. <http://www.cramif.fr/pdf/risques-professionnels/dte-222-guide-choix-installation-filtre-particules-engin-chantier.pdf>.
- CRAMIF. Chantiers de tunnels routiers. Synthèse du colloque. de 26 octobre 2012. <http://www.cramif.fr/pdf/risques-professionnels/chantiers-de-tunnels-routiers-synthese-colloque-26oct2012.pdf>
- CRAMIF. FIP3. Exposition aux gaz et fumées d'échappement des moteurs diesel (2012). <http://www.cramif.fr/pdf/risques-professionnels/fip3-exposition-gaz-fumees-echappement-moteurs-diesel.pdf>.
- INRS. Dossier Gaz d'échappement. Prévenir les risques liés aux gaz d'échappement. Risques - INRS. <http://www.inrs.fr/risques/gaz-echappement/ce-qu-il-faut-retenir.html>.
- OSHA. Hazard Alert - Diesel Exhaust/Diesel Particulate Matter. [https://www.osha.gov/dts/hazardalerts/diesel\\_exhaust\\_hazard\\_alert.html](https://www.osha.gov/dts/hazardalerts/diesel_exhaust_hazard_alert.html).
- MIAC. Management of diesel emissions in Western Australian mining operations. Guideline. [http://www.dmp.wa.gov.au/documents/Factsheets/MSH\\_G\\_DieselEmissions.pdf](http://www.dmp.wa.gov.au/documents/Factsheets/MSH_G_DieselEmissions.pdf).

- CRAMIF. Travaux souterrains (autres que galeries linéaires). Recommandations CRAMIF núm. 17. [http://www.cramif.fr/risques-professionnels/documentations-detail-risques-professionnels.asp?num\\_pub=79](http://www.cramif.fr/risques-professionnels/documentations-detail-risques-professionnels.asp?num_pub=79).
- SAFE WORK AUSTRALIA. Guide to managing risks of exposure to diesel exhaust in the workplace. <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/SWA/about/Publications/Documents/935/guidance-managing-risks-exposure-diesel-exhaust-in-the-workplace.pdf>
- VERT. Particulate Filter Verification (Testing of particulate filter Systems). <https://www.dieselnet.com/vert/>
- ITC 04.5.04. Instrucciones técnicas complementarias de los capítulos III y IV del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Labores subterráneas. Vehículos automotores.



Per a qualsevol observació o suggeriment sobre aquesta publicació:

**Institut Català de Seguretat i Salut Laboral**

**C/ Sepúlveda, 148-150  
08011 Barcelona  
Tel. 932 285 757**

[www.gencat.cat/alafeinacaprisc](http://www.gencat.cat/alafeinacaprisc)

L'ICSSL al territori:

**Barcelona**  
Pl. Eusebi Güell, 4-5  
08034 Barcelona  
Tel. 932 055 001

**Girona**  
Pl. de Pompeu Fabra, 1  
(Edifici de la Generalitat)  
17002 Girona  
Tel. 872 975 430 / 872 975 422

**Lleida**  
Polígon Industrial "El Segre"  
C/ J. Segura i Farré, 728-B  
25191 Lleida  
Tel. 973 200 400

**Tarragona**  
C/ Riu Siurana, 28 B  
(Camp Clar)  
43006 Tarragona  
Tel. 977 541 455



### Avis legal

Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-No Comercial-Sense Obres Derivades 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi l'autor i no se'n faci un ús comercial de l'obra original ni la generació d'obres derivades. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

