

El risc causat per l'electricitat estàtica : mesures preventives

MCV-210101

El risc degut a l'electricitat estàtica : mesures preventives

Gener 2021



**GENERALITAT
VALENCIANA**

INVASSAT

Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Títol: *El risc degut a l'electricitat estàtica : mesures preventives*

Autoria: Juan Carlos Castellanos

Edició: gener 2021

Sèrie: Manuals del Campus Virtual de l'INVASSAT

Identificador: MCV-210101

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball (INVASSAT)

C/ València, 32. 46100 Burjassot

www.invassat.gva.es



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Per a citar aquest document:

INSTITUT VALENCIÀ DE SEGURETAT I SALUT EN EL TREBALL (INVASSAT). *El risc degut a l'electricitat estàtica : mesures preventives* [en línia]. Juan Carlos Castellanos, aut. Burjassot: INVASSAT, 2021. 29 p. [Consulta: dd.mm.aaaa]. Disponible en XXXX. (MCV-210101)

Contingut

Objectiu, 1. – Introducció, 1. – Mapa conceptual, 2. – Conceptes bàsics, 3. – Generació i acumulació d'electricitat estàtica, 4. – El risc associat a l'electricitat estàtica, 9. – Normativa de referència, 12. – Control del risc, 14. – Casos d'aplicació: Transvasament de líquids inflamables en camions cisterna, 21. – Cas d'aplicació: Descàrregues en superfícies lliures de líquids inflamables emmagatzemats en recipients, 26.



Els Manuals del Campus Virtual sistematitzen els continguts formatius que l'INVASSAT posa a la disposició de la societat valenciana a través de la plataforma e-formació de la Generalitat.

1. OBJECTIU

L'objectiu de la present píndola formativa és que l'alumnat entenga què és l'electricitat estàtica, com pot generar-se, particularment en els llocs de treball, els potencials riscos inherents a la presència i acumulació d'electricitat estàtica i com poden eliminar-se, controlar-se o minimitzar-se aquests.

2. INTRODUCCIÓ

Hi ha constància que des de temps molt remots es coneix l'existència de les càrregues elèctriques i del fenomen elèctric, així Tales de Milet (segle VI aC) va observar que, després de fregar una barra d'ambre amb un drap, la barra atraïa objectes lleugers. Amb el pas dels anys s'ha anat demostrant que la generació i acumulació de càrregues elèctriques és un fenomen que està íntimament lligat a l'estructura atòmica de la matèria.

Els àtoms que componen la matèria es componen al seu torn de partícules subatòmiques. Les principals partícules subatòmiques són els neutrons, els protons, situats en el nucli de l'àtom, amb càrrega elèctrica neta positiva i els electrons que orbiten al voltant del nucli, amb càrrega neta negativa. Normalment els àtoms (quan no es tracta d'ions) tenen una càrrega neta total neutra (vegeu figura 1). Això vol dir que la càrrega positiva és d'igual magnitud que la càrrega negativa. També sol dir-se que el nombre de protons iguala al nombre d'electrons.

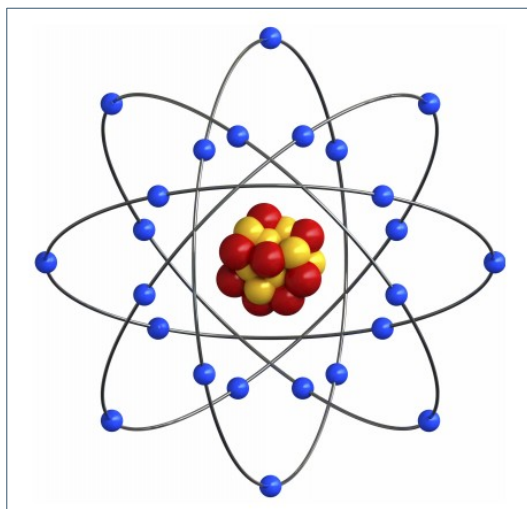
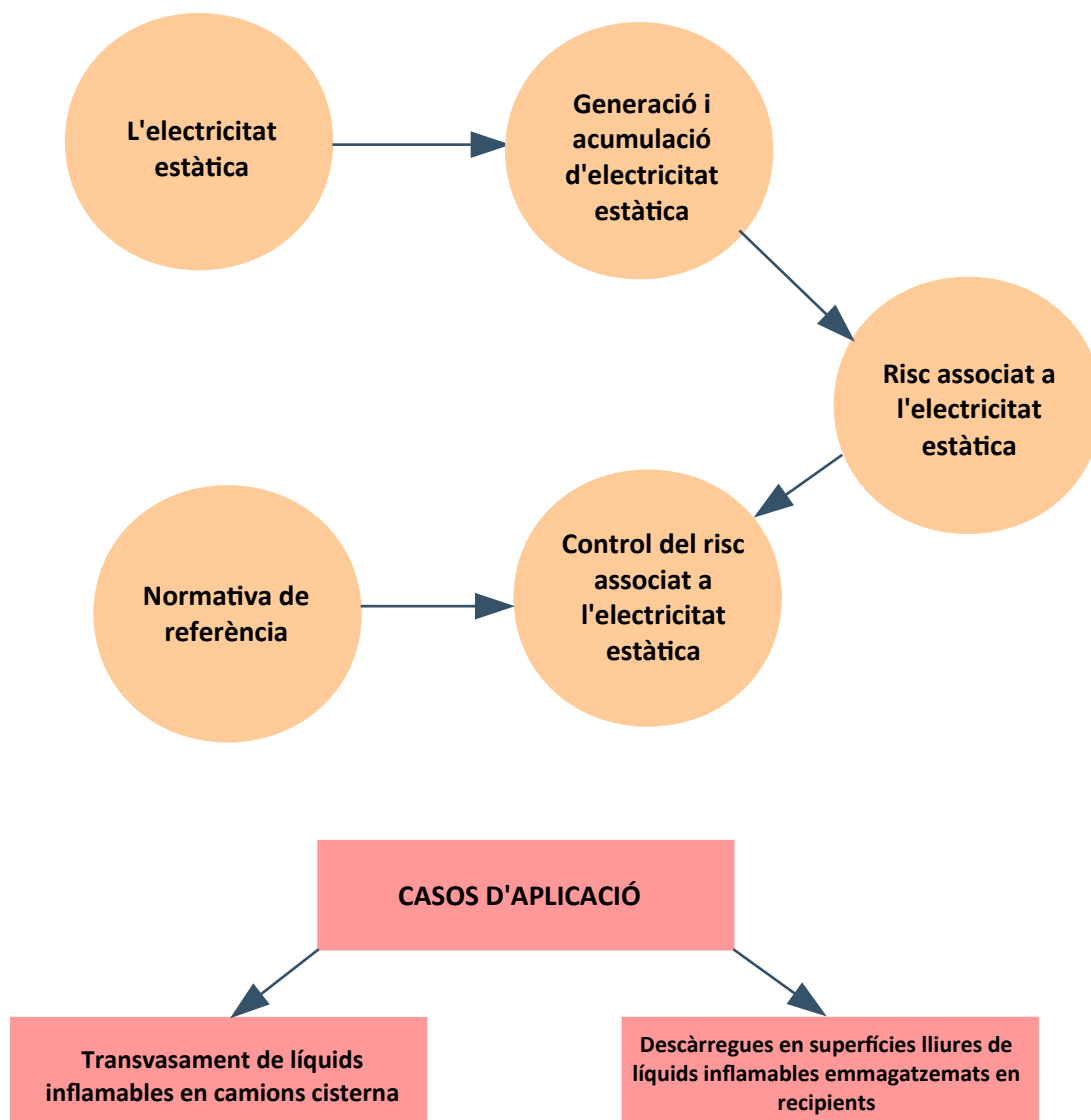


Figura 1. Model atòmic de Rutherford (INSHT, 2015, p. 7)

- Protó (càrrega positiva)
- Neutró (sense càrrega)
- Electró (càrrega negativa)

Quan un àtom perd electrons de les seues òrbites més allunyades del nucli i els cedeix a un altre àtom es produeix un desequilibri en el qual el primer d'aquests es diu que queda carregat positivament (ja que té més protons que electrons) i el segon queda carregat negativament (ja que ara té més electrons que protons).

3. MAPA CONCEPTUAL



4. CONCEPTES BÀSICS

Com ja s'ha explicat anteriorment, la generació de càrrega elèctrica estàtica constitueix un desequilibri transitori en la distribució de càrregues per transferència entre dues superfícies de dos materials que han interactuat.

Els electrons que se situen en les òrbites més pròximes al nucli de l'àtom solen estar fortament lligats per aquest (atrets per la seua càrrega positiva). No obstant això els electrons que se situen en les òrbites més allunyades estan més feblement units i poden desprendre's amb major facilitat. La força elèctrica que reté a aquests últims varia d'un material a un altre. La tendència dels materials a la cessió o adquisició d'electrons varia en magnitud segons el material de què es tracte. Aquesta tendència ha de comparar-se sempre de manera relativa entre els diferents materials. Així per exemple, els electrons són retinguts amb major força en el material plàstic del qual està fabricada la coberta d'un bolígraf que en el cotó d'una peça de roba. El niló té una major tendència que el cotó a la cessió d'electrons; per tant, la interacció entre una peça de niló i un bolígraf donarà com a resultat la generació d'un major desequilibre de càrregues elèctriques en els materials que en el cas del cotó.

La distribució de càrregues entre dos materials que han interactuat, dels quals un queda carregat positivament (el que ha cedit electrons) i un altre negativament (el que ha acceptat els electrons de l'anterior) en igual magnitud, genera una pertorbació en l'espai que envolta aquestes superfícies, denominada camp elèctric, i per tant es crea una diferència de potencial entre totes dues superfícies que pot aconseguir valors molt elevats (de diversos milers de volts).

En **els materials conductors** com el coure, l'alumini, el ferro, etc., els electrons circulen lliurement a través d'ells o sobre la seua superfície, no obstant això en **materials aïllants** com per exemple el vidre, goma, molts plàstics, etc., no es dona aquest flux o és dona amb molta dificultat.

L'electricitat present en un cos no conductor (aïllant), en el qual està retinguda, se'n diu electricitat estàtica. Ara bé, tampoc es pot dissipar l'electricitat estàtica acumulada en un cos conductor que només està en contacte amb aïllants, ja que les càrregues lliures de la superfície conductora no troben un camí de dissipació (normalment a terra) per a abandonar aquesta superfície conductora malgrat la seua facilitat de trànsit per aquesta.

En tots dos casos es diu que l'objecte està carregat.

**L'ELECTRICITAT ESTÀTICA NO ES CREA.
ÉS SIMPLEMENT CONSEQÜÈNCIA D'UN
REPARTIMENT DESIGUAL D'ELECTRONS
ENTRE LES DUES SUPERFÍCIES QUE
INTERACTUEN**

Com se sol dir, es produeix una separació entre càrregues positives i negatives, en igual nombre, de totes dues superfícies.

5. GENERACIÓ I ACUMULACIÓ D'ELECTRICITAT ESTÀTICA

Existeixen dos procediments bàsics de generació d'electricitat estàtica, el primer d'aquests és el conegut com a efecte triboelèctric mitjançant el contacte i separació de dos materials amb diferent afinitat elèctrica, la qual cosa provoca la transferència d'electrons d'un material a l'altre quedant carregat un positivament (el que cedeix electrons) i un altre negativament (el que rep els electrons).

+
Vidrio
Cabello humano
Nylon
Lana
Aluminio
Poliéster
Papel
Algodón
Acero
Cobre
Níquel
Goma
Tejidos acrílicos
Poliuretano
PVC
-

Figura 2. Sèrie triboelèctrica (INSHT, 2015, p. 10)

Com ja s'ha indicat, la tendència dels materials a la cessió o adquisició d'electrons (afinitat elèctrica) varia en magnitud segons el material de què es tracte; aquesta tendència queda plasmada en el que es coneix com a sèrie triboelèctrica (vegeu figura 2). La sèrie triboelèctrica és una llista de materials ordenats en funció de la seua tendència per a la cessió o adquisició d'electrons.

La sèrie triboelèctrica té un caràcter merament qualitatiu i relatiu, és a dir, simplement dona una idea de com es comportaran els materials; la quantitat real de càrrega produïda depèn principalment de la velocitat de fricció i/o separació dels materials i de la seua resistivitat elèctrica.

Si freguem dos materials de la sèrie anterior, el que estiga en una posició més alta es carregarà positivament, mentre que el que se situe més a baix es carregarà negativament. A més, com més separats estiguen els materials en la sèrie, major serà la generació de càrregues elèctriques i, per tant, podran quedar amb més càrrega acumulada. Es recomana visionar el vídeo que trobarà en el següent [enllaç](#).

Algunes formes de producció d'estàtica per efecte triboelèctric són:

- contacte del calçat amb revestiments del sòl;
- moviment de corretges de transmissió o de transport no conductores;
- manipulació o desplaçament de materials pulverulents;
- circulació de líquids aïllants (com per exemple hidrocarburs) per conductes, canonades o filtres;
- qualsevol classe de vehicle en moviment en els quals, com normalment les rodes són les úniques en contacte amb terra i aquestes són aïllants, no hi ha camí de dissipació de la càrrega generada;
- moviment simultani de dues fases immiscibles, per exemple el bombament d'una mescla d'hidrocarbur i aigua;

- sedimentació de sòlids en un líquid;
- decantació de dos fluids innascibles;
- ascensió de bombolles de gas a través d'un líquid, etc.

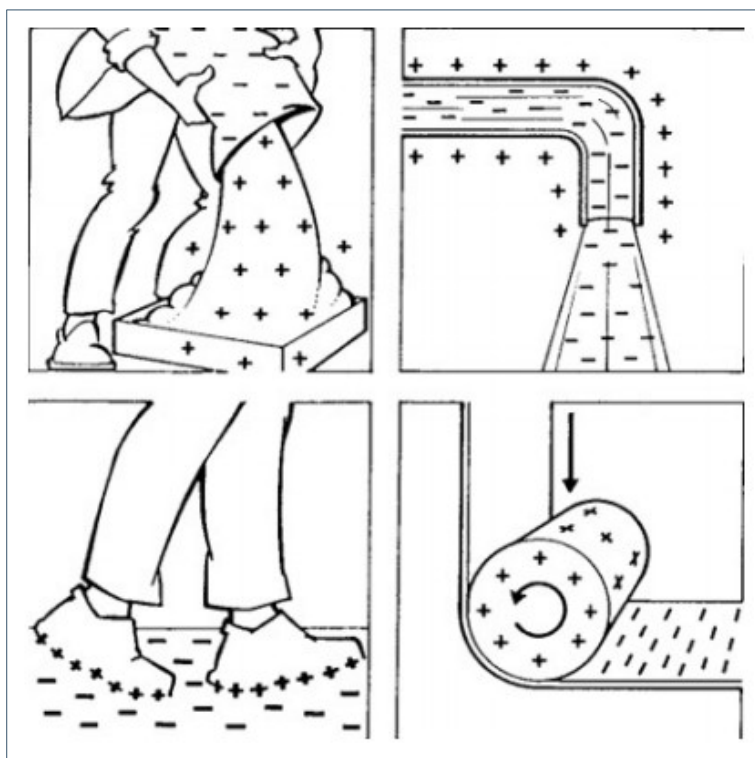


Figura 3. Diferents formes de producció d'estàtica per efecte triboelèctric.
NTP 567 (INSHT, 2000)

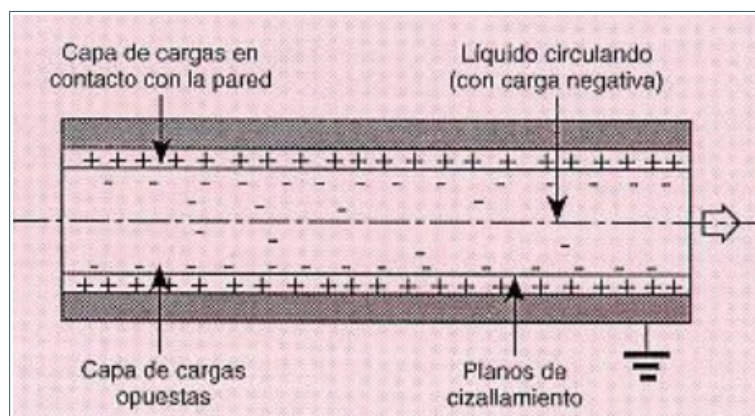


Figura 4. Distribució de càrregues en la circulació d'un líquid aïllant per una canonada. NTP 374 (INSHT, 1995a)

En general processos de fricció (en les seues diferents formes) entre diferents materials amb diferent afinitat elèctrica.

Especialment preocupant resulta la generació d'electricitat estàtica en líquids inflamables o combustibles quan pateixen processos de fricció amb altres materials.

Es genera electricitat estàtica quan es mouen aquests líquids (generalment aïllants, no conductors) en contacte amb altres materials, particularment en la seua circulació per canonades, processos de mescla, abocament, bombament, filtrat o agitació (figura 5).

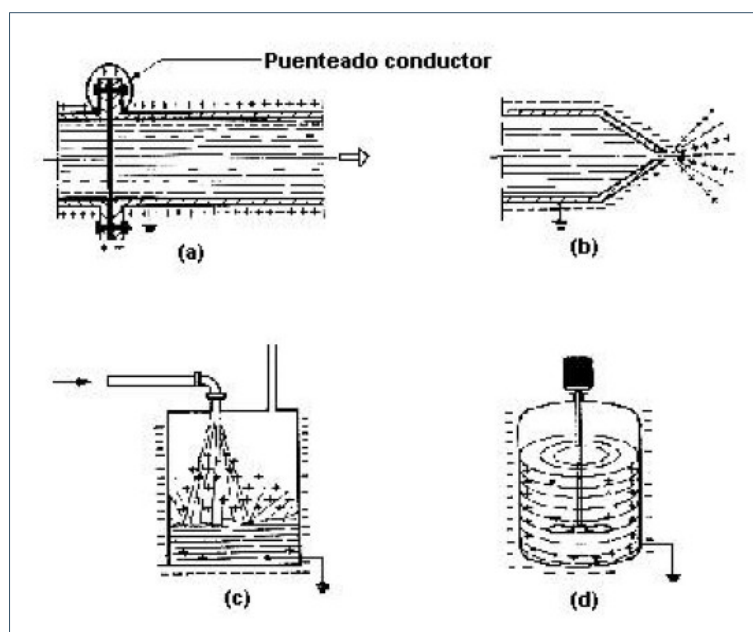


Figura 5. Processos de fricció de generadors d'estàtica. NTP 225 (INSHT, 1988)

També en gasos en moviment, quan aquests estan contaminats amb òxids metàl·lics o partícules sòlides o líquides, es pot generar electricitat estàtica. Un corrent de gas d'aquestes característiques dirigit a un objecte conductor carregarà aquest últim, llevat que estiga connectat a terra (en aquest cas la càrrega no s'acumularia sinó que es dissiparia a terra tal com es va generant).

Les persones poden acumular també important càrrega electroestàtica tant pel seu moviment i contacte amb el mitjà exterior, per exemple pel contacte del calçat amb revestiments del sòl, com per la influència de camps elèctrics als quals puga estar exposada, per exemple per la seua participació en diverses operacions fabrils, en les proximitats de superfícies carregades pel fenomen de polarització que veurem més endavant.

L'acumulació de càrregues electroestàtiques en les persones dependrà també en gran manera de les característiques d'aquesta, per exemple l'estat de la seua pell (seca o humida) o nivell de sudoració.

Si bé el cos humà és un bon conductor de l'electricitat (a causa del seu alt contingut en aigua i sals), la seua vestimenta pot ser un factor determinant a l'hora d'acumular càrrega elèctrica si aquesta és poc conductiva (aïllant), tal seria el cas de l'ús de roba sintètica o guants i calçat aïllant. Les peces exteriors poden acumular considerables càrregues electroestàtiques quan se separen del cos. La retirada d'aquestes peces és particularment perillosa en atmosferes amb el risc d'incendi o explosió.

L'aïllament de la persona del sòl per usar soles de material no conductor (goma, plàstic) o estar situada sobre paviment no conductor és la condició necessària perquè aquesta pugui acumular càrregues electroestàtiques considerables, de manera que puguin aconseguir-se valors de potencial de l'ordre de 10.000 volts respecte a terra.

L'altre procediment de generació d'electricitat estàtica és per polarització: un material conductor posat a terra, sota la influència del camp electromagnètic que envolta a un material aïllant ja carregat prèviament, pot adquirir certa càrrega (vegeu figura 6).

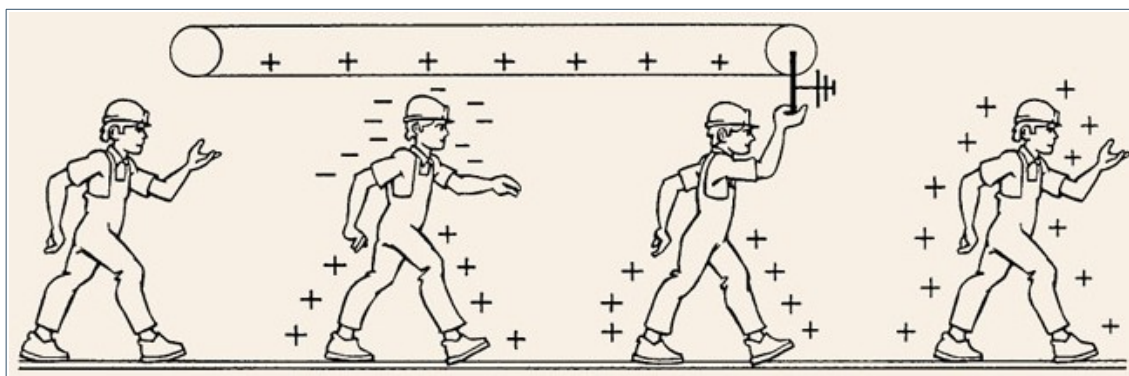


Figura 6. Generació d'electricitat estàtica per polarització. NTP 567 (INSHT, 2000)

Una persona s'acosta i passa per la proximitat d'una cinta transportadora prèviament carregada i abans d'eixir de la seua influència, toca un element conductor posat a terra. Per efecte de la càrrega positiva (el seu camp elèctric) acumulada en la cinta transportadora el cos de la persona es polaritza de manera que la càrrega negativa és atreta per la càrrega positiva de la cinta cap a la part superior del seu cos i la càrrega positiva és allunyada (per repulsió) de la càrrega positiva de la cinta. La càrrega induïda més pròxima és de signe contrari a la de la cinta i la més allunyada és del mateix signe. La càrrega positiva queda lliure després d'haver descarregat la càrrega negativa pròxima al punt de contacte a un element conductor posat a terra com pot ser la bancada o estructura metàl·lica de suport, i pot dissipar-se si es proporciona una conducció a terra. Una vegada ocorreguda aquesta eliminació, si el cos s'allunya, la càrrega romanent d'igual signe al de la cinta es distribueix uniformement per tot el cos i es pot alliberar posteriorment en forma d'espurna en aproximar-se a un conductor en contacte amb terra.

El vertader problema de l'electricitat estàtica no deriva només de la generació d'aquesta sinó que també del fet de la seua acumulació en materials no conductors (aïllants) o també en materials conductors que estan aïllats de terra. De fet aquesta segona situació resulta més perillosa, ja que la descàrrega disruptiva a terra en un material conductor que inicialment està

aïllat de terra serà més energètica i potent que la que ocorre en un material no conductor, degut precisament a la facilitat de circulació de la càrrega elèctrica en un material conductor.

A major càrrega acumulada en un material (equip, canonada, recipient, etc.) major és el camp elèctric (volts/metre) generat per aquella i per tant major la diferència de potencial (volts) entre aquest material i qualsevol altre en contacte amb terra.

La dissipació de les càrregues electroestàtiques depèn de la conductivitat entre el cos carregat i el seu camí de connexió a terra. Una bona conductivitat dona lloc a la ràpida desaparició de les càrregues electroestàtiques al mateix temps de la seua generació amb la qual cosa ni tan sols s'arriba a la seua acumulació.

Si la generació d'estàtica continua i creix l'acumulació de càrrega en la superfície d'un material aïllat de terra s'arriba a una situació en la qual és inevitable una brusca descàrrega d'electricitat estàtica. La descàrrega ocorre quan el material carregat s'acosta a un altre que està posat a terra i té cert grau de conductivitat elèctrica. En aqueix moment la intensitat del camp elèctric existent en V/m sobrepassa la rigidesa dielèctrica de l'aire i es genera una espurna visible i audible en molts casos. El material carregat es descarrega bruscament a terra.



Figura 7. Descàrrega elèctrica. Fotografia: FelixMittermeier. Font: Pixabay

5. RISC ASSOCIAT A L'ELECTRICITAT ESTÀTICA

Amb caràcter general, en les persones els efectes de les descàrregues electroestàtiques solen quedar únicament en el pla de les molèsties, és a dir, no són perilloses excepte en alguna situació especial com el cas en què un treballador faça treballs en altura i una descàrrega electroestàtica pugui fer-li reaccionar de manera que pugui patir una caiguda a diferent nivell, encara que tampoc hauria de produir-se aquesta. Se sap que descàrregues a terra a través del cos humà d'elements carregats electroestàticament a potencials de 10000 volts alliberen una energia al voltant dels 10 miliJuls (mJ), valor clarament insuficient com perquè represente un perill per a la persona.

En altres situacions l'acumulació de càrrega electroestàtica pot generar problemes en diversos processos productius com per exemple l'atracció de brutícia o pols en processos de pintat de carrosseries de vehicles, problemes de manipulació continu de tèxtils, plàstics o paper en aquestes indústries o problemes en la producció de components electrònics, entre altres.

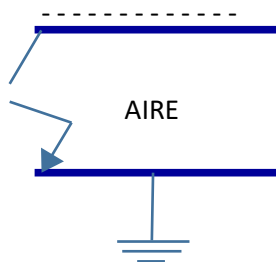
El vertader i principal perill de l'acumulació d'estàtica deriva del fet de la seua descàrrega brusca en forma d'espurna en atmosferes inflamables. Es recomana visualitzar el següent [vídeo](#).

La generació d'electricitat estàtica no presenta en si mateixa un perill d'incendi o explosió. És la recombinació brutal mitjançant espurna d'aqueixes càrregues elèctriques separades el que constitueix un risc potencial.

Perquè l'electricitat estàtica pugui ser origen d'un incendi o explosió han de donar-se totes i cadascuna de les següents situacions:

1. ha d'existir un procés de generació eficaç d'electricitat estàtica;
2. ha d'haver-hi algun element capaç d'acumular les càrregues generades, creant un camp elèctric i mantenint una diferència de potencial;
3. ha d'existir una atmosfera inflamable en el lloc on es produeix l'acumulació anterior;
4. ha de produir-se una descàrrega elèctrica disruptiva en forma d'espurna de suficient energia, superior a l'energia mínima d'inflamació de l'atmosfera inflamable (EMI).

El fenomen de descàrrega és el mateix que l'ocorregut en un condensador en el qual una de les plaques és la terra (o un element conductor connectat a ella), el mitjà aïllant o dielèctric és l'aire i l'altra placa és un objecte o cos aïllat de terra carregat. En aquesta situació, l'energia emmagatzemada i que seria alliberada en la descàrrega és:



$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

On:

W és l'energia emmagatzemada (deguda a l'acumulació de càrrega) en Julios.

C és la capacitat del condensador en Farads.

V és la diferència de potencial entre les plaques del condensador en volts.

Perquè una substància inflamable siga generadora d'una atmosfera potencialment inflamable (gas/aire o vapor/aire) la relació de la concentració del material inflamable enfront de la concentració d'aire (oxigen) ha de trobar-se dins del que es coneix per límits d'inflamabilitat, característics de la substància. A més, només serà susceptible d'ignició si la temperatura del líquid del qual emana supera el punt d'inflamació.

Els límits d'inflamabilitat (inferior i superior) defineixen les concentracions mínimes i màximes del vapor o gas en mescla amb l'aire, en les quals són inflamables. S'expressen en tant per cent en el volum de mescla vapor/gas de combustible-aire. Per tant marquen el rang d'inflamabilitat de la mescla gas/aire o vapor/aire. L'atmosfera inflamable també pot ser generada per una mescla de pols inflamable i oxigen (aire). En aquest cas han d'estudiar-se certs paràmetres d'inflamabilitat com la granulometria, la concentració mínima explosiva, l'energia mínima d'ignició, entre altres.

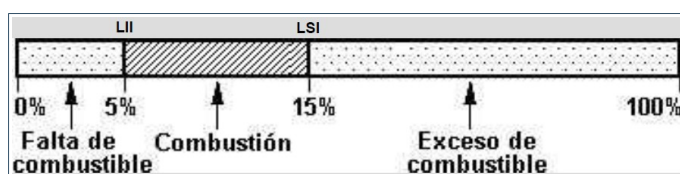


Figura 8. Límit inferior i superior d'inflamabilitat. Rang d'inflamabilitat.

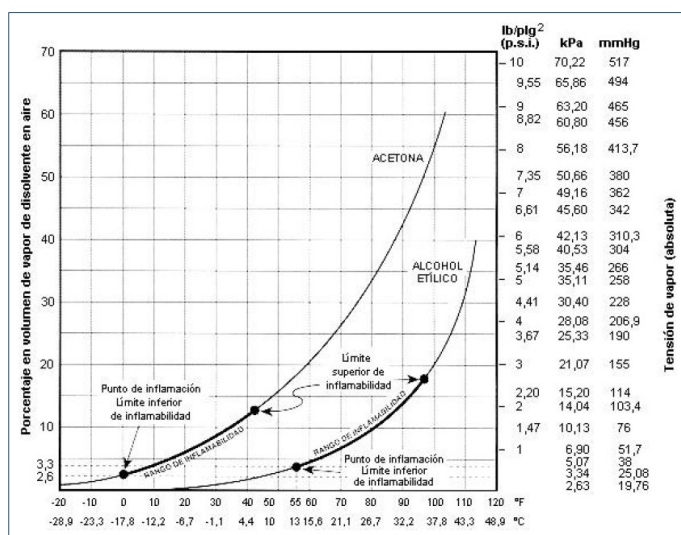


Figura 9. Punts d'inflamació i rangs d'inflamabilitat de l'acetona i l'alcohol etílic. NTP 379 (INSHT, 1995b)

La temperatura d'inflamació és la mínima temperatura (en Cº a 760 mmHg de pressió) a la qual una substància combustible, en contacte amb l'aire, pot emetre suficient vapor perquè la mescla aconseguisca el límit inferior d'inflamabilitat.

Com ja s'ha vist, una descàrrega electrostàtica pot convertir-se en el focus d'ignició d'una atmosfera explosiva sempre que l'energia de descàrrega supere l'energia mínima d'inflamació (EMI) d'aquesta atmosfera explosiva. L'experiència demostra que descàrregues en

forma d'espurna insignificants són capaces d'inflamar mescles de gas o vapor amb aire. Les atmosferes explosives de pólvores combustibles necessiten energies de descàrrega una mica majors. Se sap que gasos i vapors d'hidrocarburs saturats necessiten energies de descàrrega al voltant de 0,25 mJ per a la seua inflamació per espurna. També se sap que no és probable que espurnes procedents de diferències de potencial menors a 1500 volts siguen perilloses en gasos hidrocarburs saturats.

En la següent taula es recullen exemples d'energies mínimes d'inflamació per a mescles de determinades substàncies amb aire:

Taula 1. Exemples d'energies mínimes d'inflamació per a algunes substàncies

SUBSTÀNCIA	EMI (mJ)	SUBSTÀNCIA	EMI (mJ)
Acetat d'etil	1,42	Etilé	0,07
Acetilé	0,017	Gasolina	0,8
Acetona	0,7	Heptà	0,24
Alcohol etílic	0,4	Hidrogen	0,011
Benzé	0,5	Metà	0,28
Butà	0,25	Propà	0,25
Ciclohexà	0,22	Propilé	0,28
Età	0,24	Sulfur de carboni	0,009

El llindar de detecció sensorial en una persona d'una descàrrega se situa entorn d'1,5 mJ per a una diferència de potencial de 2000 volts (V). Aquest llindar és 6 vegades superior a l'energia mínima per a inflamar mescles d'aire-vapor d'hidrocarburs i superior a l'energia mínima d'inflamació de qualsevol de les substàncies recollides en la taula anterior. Per consegüent:

**TOTA DESCÀRREGA ELÈCTRICA QUE
SIGUEM CAPACES DE SENTIR HA DE
CONSIDERAR-SE PERILLOSA EN AQUEST
AMBIENT**

6. NORMATIVA DE REFERÈNCIA

[Reial decret 614/2001](#), de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors enfront del risc elèctric. [Annex VI-B](#) Treballs en emplaçaments amb el risc d'incendi o explosió. Electricitat estàtica.

1. En tot lloc o procés on puga produir-se una acumulació de càrregues electroestàtiques hauran de prendre's les mesures preventives necessàries per a evitar les descàrregues perilloses i particularment, la producció d'espurnes en emplaçaments amb el risc d'incendi o explosió. A aquest efecte, hauran de ser objecte d'una especial atenció:

- a) Els processos on es produïska una fricció continuada de materials aïllants o aïllats.
- b) Els processos on es produïska una vaporització o polvorització i l'emmagatzematge, transport o transvasament de líquids o materials en forma de pols, en particular, quan es tracte de substàncies inflamables.

2. Per a evitar l'acumulació de càrregues electroestàtiques haurà de prendre's alguna de les següents mesures, o combinació d'aquestes, segons les possibilitats i circumstàncies específiques de cada cas:

- a) Eliminació o reducció dels processos de fricció.
- b) Evitar, en la mesura que siga possible, els processos que produïsqen polvorització, aspersió o caiguda lliure.
- c) Utilització de materials antiestàtics (corrioles, moquetes, calçat, etc.) o augment de la seua conductivitat (per increment de la humitat relativa, ús d'additius o qualsevol altre mitjà).
- d) Connexió a terra, i entre si quan siga necessari, dels materials susceptibles d'adquirir càrrega, especialment, dels conductors o elements metàl·lics aïllats.
- e) Utilització de dispositius específics per a l'eliminació de càrregues electroestàtiques. En aquest cas la instal·lació no haurà d'exposar als treballadors a radiacions perilloses.
- f) Qualsevol altra mesura per a un procés concret que garantisca la no acumulació de càrregues electroestàtiques.

[Reial decret 486/1997](#), de 14 d'abril, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball. [Annex III](#) Condicions ambientals dels llocs de treball:

3. En els locals de treball tancats hauran de complir-se, en particular, les següents condicions: [...]

b) La humitat relativa estarà compresa entre el 30 i el 70 per 100, excepte en els locals on existisquen riscos per electricitat estàtica en els quals el límit inferior serà el 50 per 100.

Reial decret 681/2003, de 12 de juny, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats d'atmosferes explosives en el lloc de treball. Annex II-A Disposicions mínimes destinades a millorar la seguretat i la protecció de la salut dels treballadors potencialment exposats a atmosferes explosives:

2. Mesures de protecció contra les explosions. [...]

2.3 De conformitat amb el que es disposa en el Reial decret 614/2001, de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors enfront del risc elèctric, quan es tracte d'evitar els riscos d'ignició conformement a l'article 3, també s'hauran de tindre en compte les descàrregues electroestàtiques produïdes pels treballadors o l'entorn de treball com a portadors o generadors de càrrega. S'haurà de proveir als treballadors de calçat antiestàtic i roba de treball adequada feta de materials que no donen lloc a descàrregues electroestàtiques que puguin causar la ignició d'atmosferes explosives.

Reglament (UE) 2016/425 del Parlament Europeu i del Consell, de 9 de març de 2016, relatiu als equips de protecció individual i pel qual es deroga la Directiva 89/686/CEE del Consell. Annex II Requisits essencials de salut i seguretat:

2.6. EPI destinats a ser utilitzats en atmosferes potencialment explosives. Els EPI destinats a ser utilitzats en atmosferes potencialment explosives estaran dissenyats i fabricats de tal manera que no puguin donar origen a espurnes o arcs elèctrics, electroestàtics o induïts per un impacte que pogueren encendre una mescla explosiva.

Reial decret 97/2014, de 14 de febrer, pel qual es regulen les operacions de transport de mercaderies perilloses per carretera en territori espanyol. Article 44 Procediment de càrrega i descàrrega:

2. En particular, es compliran les següents normes:

a) Quan la naturalesa de la matèria ho requerisca, es derivarà a terra la massa metàl·lica de la cisterna. [...]

7. CONTROL DEL RISC

La normativa referenciada anteriorment ja recull de manera implícita les formes d'eliminació i control del risc d'incendi o explosió generat per l'acumulació d'electricitat estàtica en els llocs de treball. No obstant això les tractarem a continuació amb més detall.

Cal prèviament recordar a l'alumnat que les mesures de prevenció i protecció a adoptar i a planificar, tendents a evitar o minimitzar i controlar el risc d'incendi i explosió que potencialment puga tindre la seua gènesi en les descàrregues electroestàtiques, ha de ser el resultat d'una avaluació exhaustiva del risc. A més, en aquesta planificació han de tindre's sempre presents i aplicar-se els principis de l'acció preventiva als quals es refereix l'article [15 de la Llei 31/1995](#), de prevenció de riscos laborals (LPRL). En la figura 23 que inclou el document [Riscos causats per l'electricitat estàtica](#) (INSST, 2015, p. 52) es recull un diagrama de decisions per a l'avaluació i control de l'electricitat estàtica com a font d'ignició, la lectura de la qual es recomana.

Pot trobar més informació addicional sobre control del risc en [les NTP 225](#) i en [la NTP 567](#) del INSST.

Control de la generació d'electricitat estàtica

Control de la velocitat del flux de líquids

Una manera d'evitar o almenys minimitzar la generació d'estàtica en fluids no conductors transportats per canonada és evitar les altes velocitats de circulació a l'interior d'aquestes i controlant particularment la presència d'aigua o impureses en el fluid que contribueixen en gran manera a la generació d'estàtica. La velocitat de circulació del fluid per la canonada dependrà del cabal circulat i del diàmetre intern de la canonada. Així, per a un mateix cabal, si augmentem el diàmetre de la canonada (i amb això la seua secció de pas) la velocitat de circulació disminueix, ja que: $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$.

Per a líquids d'elevada resistivitat (molt aïllants) no hauria de sobrepassar-se una velocitat de circulació de 7 m/s.

La norma britànica BS 5958:1991 *Code of practice for the control of undesirable static electricity. Part 2 Recommendations for particular industrial situations*, recomana que el producte de la velocitat (m/s) i el diàmetre de la canonada (m) siga inferior a 0,38 per a líquids amb conductivitats menors que 5 pS/m (picosiemens per metre) i menor que 0,5 per a líquids amb conductivitats superiors a 5 pS/m. Tal criteri només és vàlid per a líquids d'una sola fase transportats a velocitats no superiors a 7 m/s.

Quan es transvasen suspensions de sòlids en líquids inflamables, existisca la presència d'aigua, o bé existisquen mesclures insolubles, és recomanable transvasar a una velocitat inferior a 1 m/s.

Control del sistema d'ompliment de recipients

Resulta necessari en la mesura que siga possible que el transvasament per a ompliment de recipients es faça preferentment mitjançant instal·lacions fixes de manera que es troben connectada la canonada de transvasament amb els recipients d'ompliment i buidatge i a terra.

Ha d'evitar-se qualsevol sistema d'ompliment que implique polvorització o dispersió del líquid transvasat, així com la descàrrega d'aquest mitjançant doll lliure. Per això, resulta del tot recomanable que les canonades d'ompliment arriben el més pròxim al fons dels recipients. Es recomana que aquesta distància no sobrepassi els 25 centímetres.

Quan siga factible la presència d'impureses sedimentables o aigua, el tub d'ompliment en el seu extrem final serà horitzontal, disposat de tal forma que no projecte el líquide sobre el fons dels recipients.

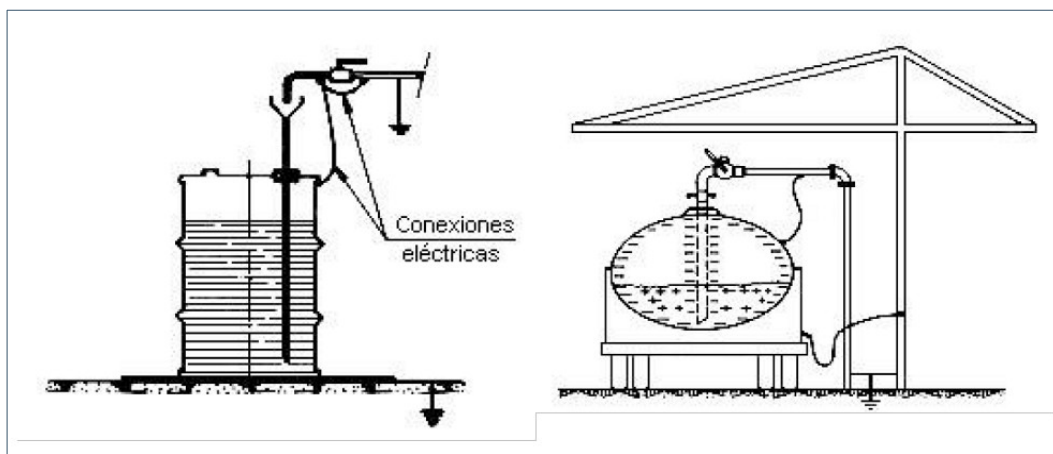


Figura 10. Exemples d'ompliment correcte de recipients i depòsits. NTP 225 (INSHT, 1988)

L'alentiment del moviment relatiu entre dos materials en contacte mutu redueix la velocitat de generació d'electricitat estàtica. Aquest podria ser el cas del transport de teixits, paper o plàstic en el seu contacte amb els corròs guies o motrius en una unitat de procés pròpia del sector en qüestió.



Figura 11. Exemple de transport en processament de paper. Font: es.123rf.com

Prevenir l'acumulació d'estàtica en les persones

Per a això poden dur-se a terme accions com:

- evitar utilitzar calçat amb sola aïllant (goma o sola sintètica no conductora);
- disposar sòls tècnics conductors o antiestàtics, utilitzar catifes conductives o impregnar els sòls amb detergents o ceres antiestàtiques facilita la descàrrega electroestàtica a terra i per tant evita l'acumulació en les persones;
- utilitzar calçat, roba, guants, etc., antiestàtics, que té el mateix objectiu anterior.

Es recomana a l'alumnat la lectura detinguda de la [NTP 887](#) *Calzado y ropa de protección "antiestáticos"* (INSST, 2010).

Eliminació d'electricitat estàtica

Connexió equipotencial i posada a terra

L'objectiu que es persegueix és eliminar ràpidament les càrregues electroestàtiques que es van generant de manera que mai hi haja càrrega neta acumulada. La connexió equipotencial entre els diferents equips o elements conductors fa que mai existisca una diferència de potencial entre ells i per tant pugen descarregar-se entre si. A més el conjunt ha d'estar connectat o lloc a terra per a crear un camí de dissipació de càrregues generades.

Es recomana que la resistència elèctrica de fugida a terra no supere 1 megaohms (10^6 Ohm) en les condicions més desfavorables. Aquests mesuraments requereixen instruments especials i s'han de realitzar per personal ensinistrat.

La posada a terra es pot fer directament o a través de la connexió equipotencial amb un altre element connectat a terra. Les canonades enterrades i els tancs d'emmagatzematge recolzats sobre el terreny es consideren llocs a terra. Si el sòl és una cosa conductora i els recipients metàl·lics, no és necessari un conductor especial de posada a terra. No ha d'haver-hi pintures o recobriments aïllants que tallen la continuïtat del camí a terra. Si fos així, s'haurien d'establir les connexions en metall a la vista i un cable de posada a terra connectat a una presa de terra prevista per a aquesta finalitat.

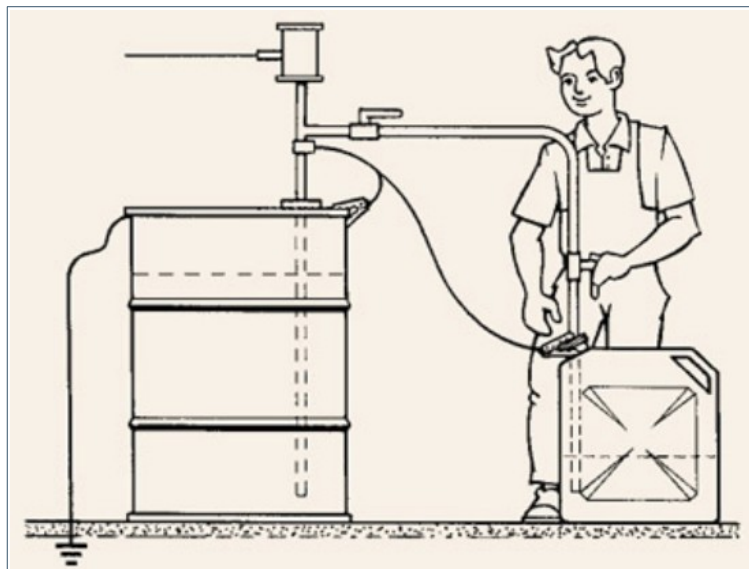


Figura 12. Exemple de connexió equipotencial i posada a terra. NTP 567 (INSHT, 2000)

Humidificació i tractament superficial

L'objectiu és augmentar la conductivitat superficial dels materials mitjançant l'elevació de la humitat relativa ambiental. D'aquesta forma aconseguim que alguns materials aïllants puguin comportar-se en aqueixes condicions d'humitat com a conductors (o almenys, més conductors) afavorint d'aquesta forma la dissipació de la càrrega acumulada en les seues superfícies. Això mateix podria aconseguir-se també aplicant certs tractaments superficials a aquests. L'augment de la humitat relativa pot aconseguir-se amb certs equips de climatització o mitjançant aparells independents d'humidificació.

El [Reial Decret 486/1997](#), sobre disposicions mínimes de seguretat i de salut en els llocs de treball, indica que en els locals on existisquen riscos per electricitat estàtica, la humitat relativa serà com a mínim del 50%.

En qualsevol cas, la humidificació no pot considerar-se com una solució global als problemes d'estàtica en totes les situacions, entre altres, per aquests motius:

- hi ha certs processos fabrils que són incompatibles amb ambients humits per les matèries que s'utilitzen en aquests. Per exemple en el cas de treballar amb pólvores alimentàries ja que l'excés d'humitat pot facilitar l'aparició de bacteris, fongs, etc.;
- una elevada humitat relativa en l'ambient pot generar, en combinació amb temperatures elevades, situacions de desconfort intolerables o fins i tot generar situacions (en funció també del treball desenvolupat) de risc per estrès tèrmic;
- cal tindre en compte que certs materials aïllants no absorbeixen la humitat de l'ambient i per tant a penes millora la seua conductivitat, tal és el cas d'alguns plàstics (com per exemple el polietilè) i les superfícies de líquids derivats del petroli;
- l'eficàcia del sistema és molt reduïda si s'aplica a maquinària amb velocitats de treball elevades, ja que no hi ha temps suficient perquè es genere la pel·lícula conductora sobre els materials;
- por últim hem de tindre en compte que no serveix de res fer conductor un material aïllant per humidificació si al final no es proporciona un camí de fugida a terra de la càrrega emmagatzemada en aquest, amb el que la humidificació ha de considerar-se, en tot cas, complementària d'altres mesures de control.

El tractament superficial es realitza generalment mitjançant l'aplicació de preparats o mescles antiestàtics, afegits als detergents, pintures, lubricants, impregnants i altres substàncies, per a augmentar la conductivitat superficial i afavorir la formació d'una capa higroscòpica conductora. En aquesta classe de mesures s'inclou el pintat i polvoritzat de cintes, corretges o sòls amb una mescla al 50% d'aigua i glicerina. Es poden utilitzar productes comercials antiestàtics, en dissolució amb aigua i la seua aplicació a sòls sintètics aïllants, per fregat suau amb tiràs o drap antiestàtic humitejats amb la dissolució. Les capes creades d'aquesta forma són solubles en aigua i es van amb l'ús, per la qual cosa s'ha de realitzar un tractament periòdic, generalment setmanal.

Augment de la conductivitat dels materials aïllants

L'addició als materials de certs additius en xicotetes quantitats pot produir una disminució important de la seua resistència volumètrica, o cosa que és el mateix, un augment important de la seua conductivitat que converteix al material en un bon dissipador de la seua càrrega electroestàtica acumulada. Alguns exemples d'aquesta tècnica de control són:

- addició de negre de fum a la goma de pneumàtics, mànegues i cintes transportadores;
- addició de carboni, grafit i altres productes conductors per a reduir la resistència elèctrica d'asfalts i sòls sintètics on existisca risc d'explosió;
- en combustibles líquids l'addició de xicotetes quantitats d'additius de conductivitat mesclats amb el combustible poden proporcionar conductivitats majors a 50 picosiemens/metre.

Igual que en els casos anteriors (humidificació i tractament de superfícies) ha de proporcionar-se un camí de dissipació de la càrrega electroestàtica a terra. En cas contrari sol aconseguiríem tindre una superfície conductora carregada i asilada de terra, situació aquesta que pot arribar a ser fins i tot més perillosa, encara.

Augment de la conductivitat de l'aire

Es tracta d'un mètode eficaç per a eliminar càrrega electroestàtica acumulada en materials aïllants o en materials conductors aïllats de terra. La idea és emprar equips (ionitzadors) capaços d'ionitzar l'aire de manera que es generen en aquest ions negatius i positius que en arribar a aconseguir superfícies carregades electroestàticament provoquen la recombinació de les seues càrregues amb els ions de signe contrari transportats per aquest aire.

La tecnologia dels ionitzadors d'aire és molt variada. Els principals tipus d'ionitzadors són:

- ionitzadors emissors de radiacions ionitzants;
- neutralitzadors d'elèctrodes d'alta tensió;
- ionitzadors d'elèctrodes punxeguts connectats a terra (eliminador inductiu o neutralitzador estàtic o pinta d'estàtica).

Ionitzadors emissors de radiacions ionitzants



Figura 13. Ionizador d'aire mitjançant radiacions ionitzants. (INSST, 2015)

Per a la ionització de l'aire amb radiacions ionitzants es poden utilitzar raigs ultraviolats, X , α , β i γ . La fabricació i distribució de neutralitzadors radioactius requereix l'homologació per part del Consell de Seguretat Nuclear.

Neutralitzadors d'elèctrodes d'alta tensió

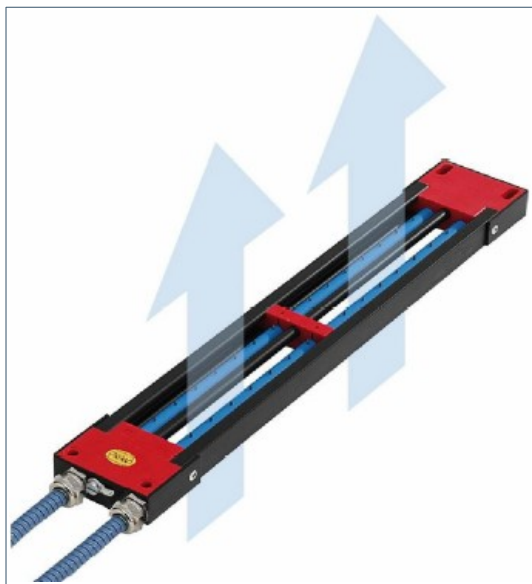


Figura 14. Neutralització d'elèctrodes d'alta tensió.
(INSST, 2015)

Aquests equips ionitzen l'aire pròxim mitjançant descàrregues de tipus corona en puntes, filferros, fulles o vores sotmeses a camps elèctrics intensos; aquests camps es poden crear amb un transformador que eleve la tensió a uns 5-10 kV, al qual es connecta una vareta aïllada amb dos elèctrodes: un connectat a alta tensió i l'altre al potencial de terra.

No s'han d'instal·lar en emplaçaments amb atmosferes explosives (especialment en zones 0 o 20), excepte en el cas en què estiguen certificats per a tal finalitat o s'aplique una ventilació externa que elimine les concentracions perilloses de substàncies inflamables a l'entorn de l'equip.

Ionitzadors d'elèctrodes punxeguts connectats a terra (pinta d'estàtica)

També es basen en la ionització de l'aire per efecte corona però són efectius únicament per a camps electroestàtics elevats. El seu fonament és el següent: la càrrega induïda en una multitud d'agulles posades a terra quan es col·loquen en la proximitat d'un cos carregat provoca la ionització de l'aire pròxim fent-lo conductor i creant d'aquesta forma un camí de dissipació. S'aprofita el que es coneix com poder de les puntes. Les càrregues que s'indueixen en una agulla tendeixen a concentrar-se en la punta de l'agulla ja que a causa del xicotet radi de curvatura existent en aquest lloc s'eviten els efectes repulsius de càrregues del mateix signe. Dit d'una altra forma, en la punta de l'agulla existeix una densitat de càrrega superficial induïda molt superior al de qualsevol altra part de l'agulla. Aquesta elevada densitat de càrrega, multiplicada per la resta d'innombrables puntes d'agulla que conformen la pinta d'estàtica és capaç d'ionitzar l'aire pròxim a aquestes creant d'aquesta forma el camí de dissipació.

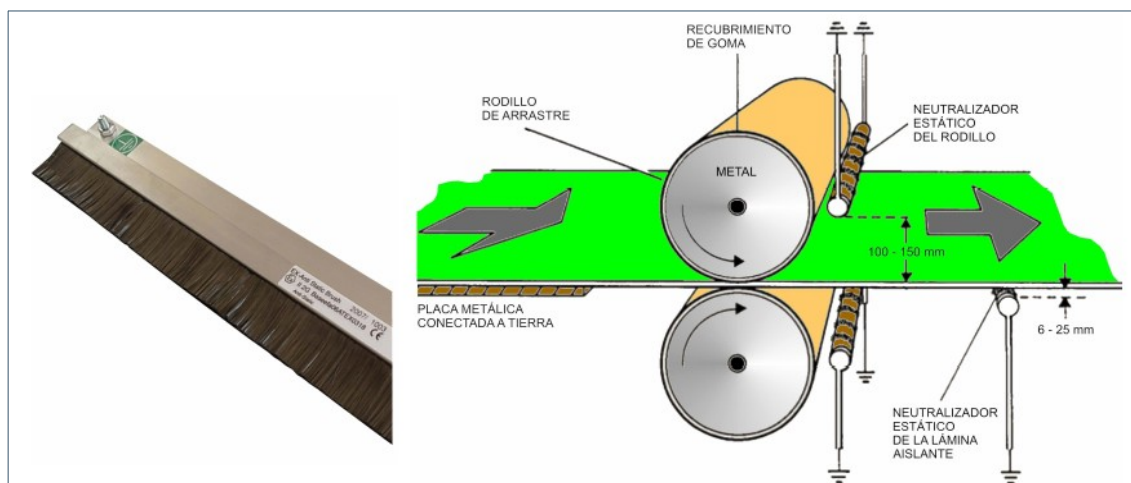


Figura 15. Pinta d'estàtica o eliminador inductiu. (INSHT, 2015)

8. CASOS D'APLICACIÓ: TRANSVASAMENT DE LÍQUIDS INFLAMABLES EN CAMIONS CISTERNES

Els processos de transvasament de líquids combustibles, en particular des de, i cap a, camions cisterna, són especialment perillosos a causa del potencial risc d'incendi o explosió generat per la producció i acumulació de càrrega electroestàtica la descàrrega brusca de la qual pot convertir-se en focus d'ignició de la mescla combustible-aire present.

La generació de càrrega electroestàtica en aquests processos de transvasament es produeix fonamentalment a causa de la fricció mecànica del líquid combustible amb els diferents elements que componen el sistema de transvasament (conduccions, filtres, bombes, etc.)

Els principals factors influents en la generació d'estàtica durant el procés són:

- **La resistivitat/conductivitat del fluid.** Com més baixa siga la resistivitat del fluid, i per tant major siga la seua conductivitat, menys càrregues electroestàtiques serà capaç d'acumular i per tant menys problemes presentarà per a dissipar aquestes càrregues. Com a criteri general s'han d'aconseguir conductivitats mínimes de 50 picosiemens/metre (pS/m) que es considera el límit de la conductivitat mitjana, sent desitjable que siga el més alta possible. Com a exemple, la gasolina té una resistivitat / conductivitat d'uns $10^{13} \Omega \cdot m$ / 0,1 pS/m; si se li agrega entre 1 i 2 g/m³ d'un additiu antiestàtic pot arribar a $10^8 \Omega \cdot m$ / 10000 pS/m, la qual cosa redueix substancialment el risc d'incendi o explosió en operacions de transvasament.
- **Velocitat de transvasament.** Com ja vam veure en l'apartat de control de la generació, com més gran siga la velocitat de circulació del líquid per les diferents conduccions major serà la fricció d'aquest amb les parets de les canonades, major la turbulència i major la generació d'estàtica.

- **Forma geomètrica de canalitzacions i recipients.** Ha de tindre's una especial precaució amb els punts singulars com ara bombes, filtres, vàlvules, colzes, bifurcacions, etc. perquè en aquests, com en el cas anterior, la fricció i turbulència és major.
- **Sistema d'ompliment.** Com també vam veure en l'apartat de control de la generació, hem d'evitar, en la manera en què ens siga possible, qualsevol situació que supose aspersió, polvorització o caiguda lliure del líquid combustible, en definitiva hem d'evitar tot allò que supose l'agitació d'aquest. L'ompliment de cisternes o depòsits en general amb líquids inflamables s'hauria de realitzar amb una canonada d'ompliment que arribara el més a prop possible del fons de la cisterna o depòsit. Quan això no fóra possible el transvasament hauria de realitzar-se a baixa velocitat, i es recomana no excedir la velocitat d'1 m/s.
- **Estat de conservació de les superfícies de contacte amb el líquid combustible.** L'òxid, la brutícia, les clivelles o qualsevol altra deterioració o defecte en canalitzacions o altres elements produeixen major fricció i per tant contribueixen a la generació d'estàtica. Un bon manteniment de les instal·lacions de transvasament podria minimitzar aquestes situacions.
- **Presència d'aigua no miscible o impureses en el líquid combustible.** Aquesta circumstància també genera més turbulències en el si del líquid i per tant contribueix a la generació d'estàtica.

En qualsevol cas, com a mesura preventiva general, durant la realització d'operacions de transvasament, a la roba de treball dels treballadors intervinents s'haurà d'evitar l'ús de peces fabricades amb fibres sintètiques, botes de goma, sabates amb sola de goma o material sintètic similar no conductor. S'haurà de propiciar l'ús de calçat i sòls conductors.

A més de les mesures preventives anteriors ha d'aplicar-se la mesura consistent en la “**Continuïtat elèctrica de la línia d'ompliment**”.

En la figura 16 es mostra la distribució de càrregues que es generen durant la càrrega d'un camió cisterna.

El líquid combustible es carrega per fricció amb la canonada en el seu procés de transport (en l'exemple, amb càrrega positiva), com a conseqüència la cisterna es va carregant amb aquest fluid carregat positivament. Aquesta acumulació de càrrega (positiva) a l'interior polaritza al mateix depòsit de manera que crea una càrrega oposada (en aquest cas negativa) en la seua paret interna. Al seu torn es genera una càrrega idèntica però de sentit

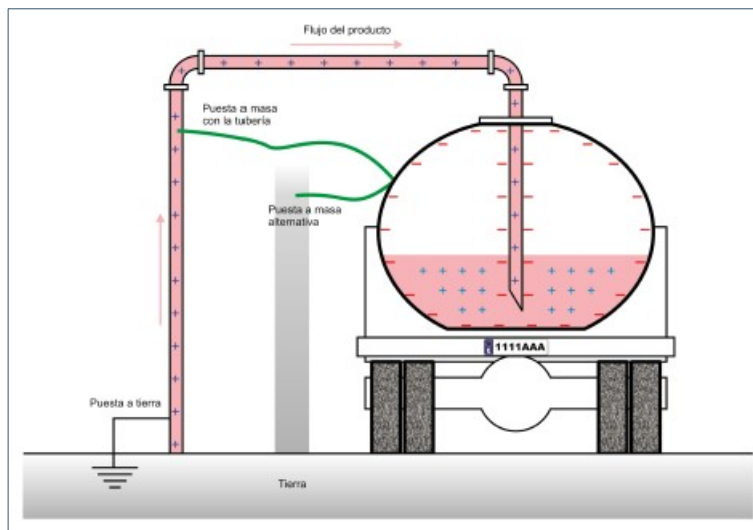


Figura 16. Distribució de càrregues electroestàtiques en l'ompliment d'una cisterna. (INSHT, 2015)

contrari (positiva) en la paret externa del depòsit que, no obstant això, no s'acumula en aquesta paret externa, ja que està posada a terra i per tant aquesta càrrega exterior és dissipada.

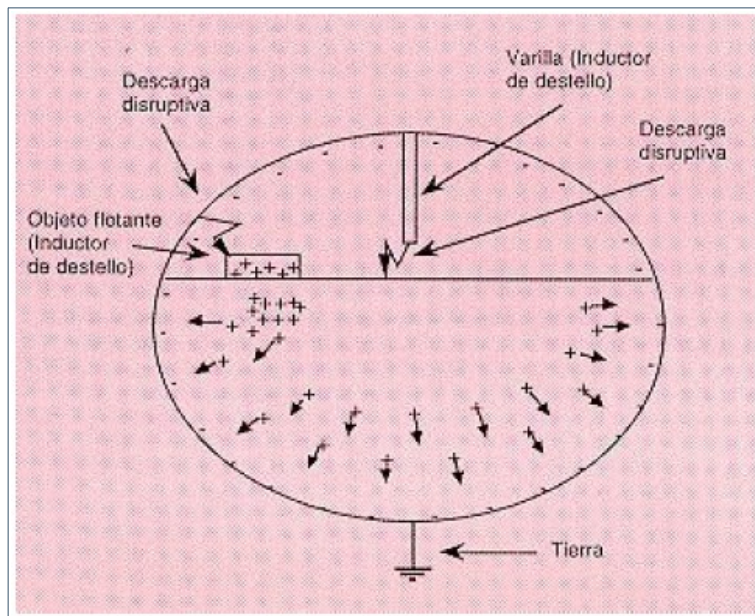


Figura 17. Exemples de descàrregues electroestàtiques a l'interior del depòsit.
NTP 375 (INSHT, 1995b)

Aquesta situació pot provocar una sobtada recombinació de càrregues en forma d'espurna, per la qual cosa necessàriament s'ha de controlar aquesta situació almenys durant tot el temps que dure el transvasament.

Totes les parts metàl·liques de la canonada d'alimentació i braç de càrrega han de tindre continuïtat elèctrica a partir del punt de connexió. Per a això, resulta necessari que les mànegues,

en general, disposen d'ànima metàl·lica contínua i aquesta haurà d'estar connectada a terra durant tota l'operació de transvasament, i haurà d'evitar-se situacions com ara la intercalació de trams de mànegues no conductores equipada amb acoblaments metàl·lics, si aquests no estan connectats a la canonada d'alimentació i depòsit receptor. La primera i última etapa de tot procés de transvasament és la connexió i desconnexió a terra respectivament.

Habitualment la connexió i desconnexió es realitzen de manera automàtica quan es connecta la mànega als punts de càrrega i descàrrega, però, si això no fóra possible, la mànega s'haurà de connectar a terra manualment mitjançant dispositius portàtils com els que podem veure en la següent figura.

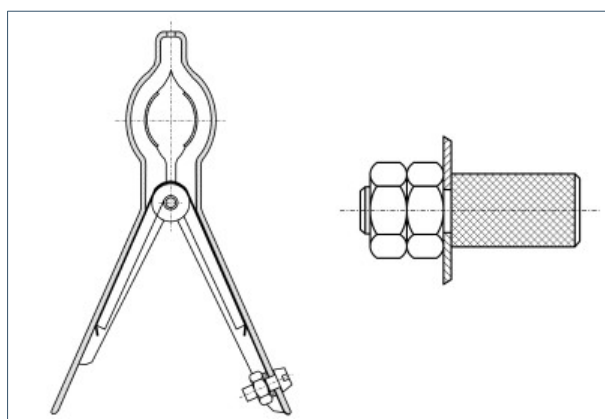


Figura 18. Pinça i borna per a la connexió a terra i equipotencial. (INSHT, 2015)

Ha de garantir-se que les unions de la mànega als punts de càrrega i descàrrega, a allargadores i a qualsevol altre element participant en l'operació de transvasament (bombes, filtres, colzes, brides, vàlvules, etc.) mantinguen la continuïtat elèctrica, si algun d'aquests elements no garanteix la continuïtat, s'haurà d'establir un pont elèctric entre tots dos costats d'aquest.

L'aplicació d'aquesta mesura ha de garantir que la majoria de càrregues generades en el procés es drenen a terra eficaçment a mesura que es produeixen.

Si el depòsit és no conductor o el seu interior disposa d'algun revestiment o recobriment aïllant, la posada a terra i equipotencial anteriorment descrita pot no constituir una mesura de seguretat suficient; a més, si, com sol succeir, el producte a transvasar té baixa conductivitat, es poden produir situacions molt perilloses. En aquests casos resulta essencial conèixer el comportament elèctric dels revestiments; existeixen dos casos habituals:

- si la grossària de la paret del depòsit és xicoteta i els materials de revestiment són resines epoxi o fenòliques amb resistivitat elèctrica $\rho \leq 10^{11} \Omega \cdot m$, no hi ha una gran influència en el drenatge de les càrregues, per la qual cosa el risc d'ignició no és imminent i es podrà treballar com si es tractara d'un depòsit conductor;
- si el material que està en contacte amb el fluid és polietilè, la resistivitat elèctrica del qual pot ser de fins a $10^{20} \Omega \cdot m$, és imprescindible adoptar mesures addicionals, com, per exemple, l'ús de braços de càrrega molt conductors o mesures especials com les que veurem a continuació.

En el cas de transvasament de líquids inflamables d'alta resistivitat (per exemple benzé, tolué, naftalé, etc.) han d'adoptar-se, a més, altres mesures especials, ja que només les generals no garanteixen una adequada protecció. Algunes d'aquestes poden ser:

- **Ventilació.** La mesura consisteix en una ventilació que provoqui la dilució de la substància inflamable en tota l'àrea del procés de transvasament on puguin generar-se atmosferes inflamables o explosives. Com a mesura de seguretat es recomana suficient marge de seguretat no aconseguir mai en aquestes àrees el 20% del límit inferior d'explosivitat (LIE). Per exemple, sent el LIE (% volum) del benzé és d'1,2%, la recomanació és que mai s'aconsegueixca el 20% d'aquest valor, és a dir, el 0,24% de benzé (en volum) en la mescla amb l'aire.
- **Inertització.** Aquesta mesura consisteix a injectar a pressió un gas inert (com per exemple nitrogen) en el lloc on pot formar-se l'atmosfera explosiva (particularment a l'interior dels depòsits) de manera que aquest desplaci a l'oxigen present, a fi d'evitar d'aquesta forma la propagació d'una possible ignició. Es considera que un sistema d'inertització és eficaç quan s'aconsegueix reduir la concentració d'oxigen almenys a l'11%.
- **Respectar els temps de relaxació.** Quan tenim un líquid inflamable carregat electroestàticament a l'interior d'un depòsit vam veure que per polarització es crea una càrrega de signe contrari en la paret interna del depòsit. Amb el pas del temps les càrregues presents en el líquid migren cap a les parets internes del depòsit per a recombinar-se amb les càrregues (de signe contrari) presents en aquesta paret. La velocitat (el temps) que es produïska aquesta recombinació dependrà de la resistivitat/conductivitat del líquid emmagatzemat en el depòsit. Com més gran siga aquesta resistivitat (i per tant menor siga la seua conductivitat) major serà el temps requerit per a la recombinació total (o almenys fins a un nivell no perillós) de la càrrega emmagatzemada en el depòsit. A aquest concepte se'n diu "temps de relaxació".

Com ja vam veure, els temps de relaxació poden escurçar-se moltíssim augmentant la conductivitat del líquid combustible per additivació. Recordem l'exemple de la gasolina que té una resistivitat / conductivitat d'uns $10^{13} \Omega \cdot m$ / 0,1 pS/m; però si se li agrega entre 1 i 2 g/m³ d'un additiu antiestàtic pot arribar a $10^8 \Omega \cdot m$ / 10000 pS/m, la qual cosa redueix substancialment el temps de relaxació i per consegüent el risc d'incendi o explosió en operacions de transvasament.

El transvasament de líquids inflamables de baixa resistivitat (gasols, gasolines, etc.) requereix un temps de relaxació que no sol superar els 30 segons. No obstant això, el transvasament de líquids inflamables d'alta resistivitat genera una gran quantitat de càrregues en el si dels productes i, a més, aquests no són capaços de recombinar les seues càrregues amb facilitat; per això, en aquests casos se sol recomanar l'establiment de temps de relaxació majors, en general d'un a diversos minuts.

Per el seu interès, recollim íntegrament una taula publicada per l'Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball (INSHT, 2015) Indica, per a certes substàncies, la seua conductivitat i temps de relaxació mínims recomanats.

És particularment important conèixer els temps de relaxació quan s'han d'efectuar operacions de mostreig en els recipients, ja que constitueixen sovint un focus d'ignició en si mateixos. S'hauran de respectar els temps de relaxació amb un coeficient de seguretat ampli. És preferible l'ús de sistemes tancats de mostreig, emprant agents inertitzants en cas de ser necessari. Si no existeix una altra alternativa que la d'usar mostrejadors personals, aquests hauran de ser metàl·lics i estar connectats equipotencialment al recipient.

Sustancia	Conductividad (pS/m)	Tiempo de relajación (s) ⁽¹⁾
Sustancias con conductividad ALTA (> 1000 pS/m)		
Crudo petrolífero	$\geq 10^3$	$\leq 0,02$
Alcoholes	$10^6 - 10^8$	$2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-5}$
Cetonas	$10^5 - 10^6$	$2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$
Agua pura	5×10^6	10^{-6}
Agua (no destilada)	$\geq 10^8$	$\leq 2 \cdot 10^{-7}$
Sustancias con conductividad MEDIA (50 - 1000 pS/m)		
Aceites con aditivos disipativos	$50 - 10^3$	$0,02 - 0,04$
Fuelóleos pesados	$50 - 10^5$	$2 \cdot 10^{-4} - 0,4$
Ésteres	$10^2 - 10^6$	$2 \cdot 10^{-5} - 0,2$
Sustancias con conductividad BAJA (< 50 pS/m)		
Parafinas	$10^{-2} - 10$	$2 - 2000$
Compuestos aromáticos (tolueno, xileno, etc.)	$10^{-1} - 50$	$0,4 - 200$
Gasolinas	$10^{-1} - 10^2$	$0,2 - 200$
Querosenos	$10^{-1} - 50$	$0,4 - 200$
Gasóleos	$1 - 10^2$	$0,2 - 20$
Aceites lubricantes	$10^{-2} - 10^3$	$0,02 - 2000$
Éteres	$10^{-1} - 10^2$	$0,2 - 200$

Taula 2. Temps de relaxació mínims recomanats per al transvasament de líquids inflamables. (INSHT, 2015)

9. CASOS D'APLICACIÓ: DESCÀRREGUES EN SUPERFÍCIES LLIURES DE LÍQUIDS INFLAMABLES EMMAGATZEMATS EN RECIPIENTS

Quan un líquid inflamable carregat electroestàticament és transvasat a un recipient, les càrregues que conté tendeixen a acumular-se en les seues superfícies d'aquest a causa de la mateixa repulsió interna d'aquestes càrregues, que tenen el mateix signe. En aquesta situació, ens podem trobar amb dos casos diferenciats:

- Recipient connectat a terra.** Tal pot ser el cas d'un recipient enterrat en el terreny o disposat directament sobre aquest o bé un recipient que s'ha connectat elèctricament a terra. En aquest cas, la part externa del recipient és elèctricament neutra perquè les càrregues generades en aquesta superfície exterior es dissipen a terra. No obstant això, en el seu interior tenim una situació en la qual el líquid present està carregat amb càrregues d'un determinat signe amb tendència a acumular-se en les seues superfícies i les parets internes del recipient també es troben carregades amb càrregues de signe contrari. Existeix per tant una diferència de potencial entre el líquid i les parets internes del recipient que es mantindrà mentre dure el temps de relaxació, al final del qual totes les càrregues presents s'han recombinat. **No existeix cap manera d'evitar aqueix desequilibri temporal** intrínsec al mateix procés de transvasament, per la qual cosa, si la càrrega acumulada fora molt elevada podria produir-se

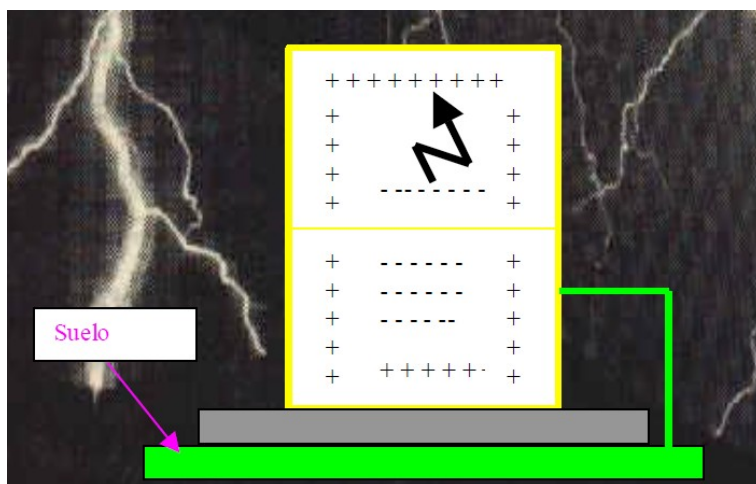


Figura 19. Distribució de càrregues en un recipient posat a terra.

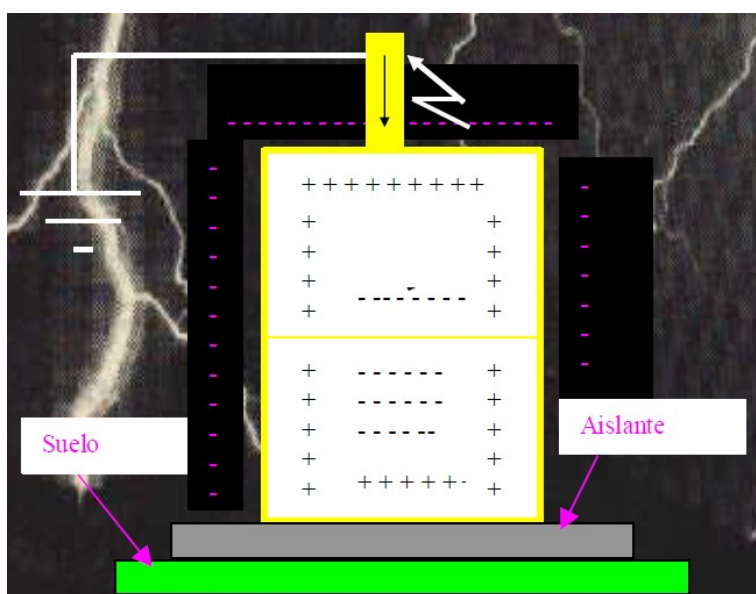


Figura 20. Distribució de càrregues en un recipient aïllat de terra.

una descàrrega disruptiva entre la superfície lliure del líquid i la paret interior del recipient o qualsevol altre element constituent d'aquest. En aquesta situació, l'única manera d'evitar la ignició és garantint una atmosfera interior ininflamable, per exemple per inertització.

- **Recipient aïllat de terra.** Tal podria ser el cas del dipòsit d'un camió cisterna si aquest no es connecta elèctricament a terra. En aquest cas, admetent, com sol ser habitual, que la paret del dipòsit també és metàl·lica, es genera una càrrega, idèntica a l'existent en el si del líquid inflamable i del mateix signe, en la paret exterior d'aquest que no pot migrar a terra perquè el dipòsit està aïllat de terra. En aquesta situació és molt probable que es pugui produir una descàrrega disruptiva entre la boca del recipient i la canonada d'ompliment (que sí que està posada a terra) o qualsevol altre element metàl·lic connectat a terra. Com vulga que es transvasa un líquid inflamable, es genera una situació molt perillosa.

REFERÈNCIES NORMATIVES

- ESPANYA. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. *Boletín Oficial del Estado* [en línia], 10.11.1995, núm. 269. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con>
- ESPANYA. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. *Boletín Oficial del Estado* [en línia], 23.04.1997, núm. 97. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/04/14/486/con>
- ESPANYA. Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. *Boletín Oficial del Estado* [en línia], 21.06.2001, núm. 148. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/06/08/614/con>
- ESPANYA. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *Boletín Oficial del Estado* [en línia], 18.06.2003, núm. 145. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/06/08/614/con>
- ESPANYA. Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español. *Boletín Oficial del Estado* [en línia], 27.02.2014, núm. 50. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/02/14/97/con>
- UNIÓ EUROPEA. Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea L* [en línia], núm. 81, 31.03.2016. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=OJ:L:2016:081:TOC>

REFERÈNCIES TÈCNIQUES

- INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (1988). *Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables* [en línia]. Madrid: INSHT. 9 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 225). Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_225.pdf
- INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (1995). *Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I)* [en línia]. Madrid: INSHT. 6 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 374). Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_374.pdf
- INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (1995). *Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (II)* [en línia]. Madrid: INSHT. 7 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 375). Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_375.pdf

INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (1995). *Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad* [en línia]. Madrid: INSHT. 11 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 379). Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_567.pdf

INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (2000). *Protección frente a cargas electrostáticas* [en línia]. Madrid: INSHT. 9 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 567). Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_567.pdf

INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (2010). *Calzado y ropa de protección antiestáticos* [en línia]. Madrid: INSHT. 6 p. [Consulta: 10.12.2020]. (Notas Técnicas de Prevención; 887). Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/328681/887w.pdf>

INSTITUT NACIONAL DE SEGURETAT I HIGIENE EN EL TREBALL (Espanya) (2015). *Riesgos debidos a la electricidad estática* [en línia]. Madrid: INSHT. 99 p. [Consulta: 10.12.2020]. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/riesgos-debidos-a-la-electricidad-estatica>

INVASSAT

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball

www.invassat.gva.es

secretaria.invassat@gva.es



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria d'Economia
Sostenible, Sectors Productius,
Comerç i Treball