



Equipos de protección individual disipativos en zonas con riesgo de explosión (I): criterios generales de selección

Dissipative personal protective equipment in areas with explosion risk (I): general selection criteria
Dissipatif Equipement de protection individuelle dans les zones à risqué d'explosion (I): critères généraux de sélection

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad
y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Elaborado por:

María del Carmen García Vico
CENTRO NACIONAL DE
MEDIOS DE PROTECCIÓN. INSST

En numerosos ámbitos laborales existen zonas peligrosas debido a la presencia de atmósferas explosivas (zonas clasificadas). Esta nota técnica aporta criterios generales para la adecuada selección, uso y mantenimiento de los equipos de protección individual (EPI) con propiedades disipativas que se usen en zonas con riesgo de explosión con objeto de prevenir las descargas electrostáticas que pudieran tener su origen en ellos.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

La electricidad estática es un fenómeno común que se manifiesta en la vida diaria y en el ámbito laboral. Muchos de sus efectos son inocuos y pasan totalmente inadvertidos o suponen una simple molestia, pero la electricidad estática puede dar lugar a una situación peligrosa dependiendo del ambiente laboral en que nos encontremos. La ocurrencia de descargas electrostáticas en un entorno laboral puede ocasionar, por ejemplo, riesgo de explosión en presencia de atmósferas explosivas, daños electrónicos que afecten a los sistemas de medida y control de equipos e incluso, sacudidas electrostáticas que pueden dar lugar a otros riesgos como caídas, tropezones o contacto involuntario con maquinaria en movimiento.

En el ámbito laboral, la generación de electricidad estática es especialmente peligrosa en las zonas con presencia de atmósferas inflamables, hasta el punto de que si como consecuencia de una descarga electrostática el trabajador siente una simple molestia, esto ha de considerarse una indicación de la existencia de un riesgo de explosión.

El 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 la formación de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo establece, dentro de las disposiciones mínimas destinadas a mejorar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores potencialmente expuestos a atmósferas explosivas, que se deberá proveer a los trabajadores de calzado antiestático y ropa de trabajo adecuada hecha de materiales que no den lugar a descargas electrostáticas que puedan causar la ignición de atmósferas explosivas. Este requisito se complementa con el Apdo. 2.6. del Anexo II del 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, relativo a requisitos adicionales comunes a varios tipos de EPI, que indica que los EPI

destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas estarán diseñados y fabricados de tal manera que no puedan dar origen a chispas o arcos eléctricos, electrostáticos o inducidos por un impacto que pudieran encender una mezcla explosiva.

Un material "antiestático", en el contexto que nos ocupa, es aquel incapaz de retener una carga eléctrica significativa cuando está conectado a tierra, lo que no implica que no se cargue, sino que permite que la carga se disipe a tierra a través de él. Así, cuando se habla de EPI antiestáticos, se hace referencia a equipos con propiedades disipativas, por tanto, conductores dentro de unos márgenes¹.

Cuando las circunstancias determinen que la energía de una descarga electrostática pueda ser suficiente para activar una atmósfera explosiva se debe considerar como una potencial fuente de ignición. Así pues, en zonas con presencia de atmósferas explosivas los equipos de protección individual que se usen deben de ser verificados en cuanto a sus propiedades disipativas, prestando especial atención a los materiales con que están fabricados y las situaciones que se puedan dar en su uso (p.e. ponerlos y quitarlos o la fricción entre ellos o con otros materiales)

En la actualidad únicamente para ropa, guantes y calzado de protección existen normas técnicas armonizadas que incluyen métodos de ensayo y en ocasiones requisitos adicionales para aplicaciones especiales referentes a las propiedades antiestáticas o conductoras de los equipos. Teniendo en cuenta el hecho anterior, y basándonos en normas e informes técnicos europeos de requisitos generales respecto a las propiedades electrostáticas de los materiales, en este documento se abordan unos criterios que pretenden servir de ayuda al usuario para la adecuada selección, uso y mantenimiento de los EPI con propiedades disipativas.

¹ El Comité de la electricidad estática de CENELEC está intentando que se deje de usar la palabra "antiestático", y que en su lugar se emplee el término "disipativo" o "electroestáticamente disipativo".

2. EL CUERPO HUMANO. GENERACIÓN, ACUMULACIÓN Y DESCARGA DE CARGAS ELECTROSTÁTICAS

La electricidad estática es un fenómeno que se debe a una acumulación superficial de cargas eléctricas cuando entran en contacto o en proximidad dos materiales cualesquiera (inicialmente neutros). Debido a la interacción entre ellos, intercambian cargas y estas quedan retenidas en los materiales hasta que se da una situación que les permite recombinarse (o disiparse). La magnitud y el signo de la carga electrostática resultante dependerá de varios factores: la composición química, el estado y la estructura de la materia y la conductividad del material.

Existen básicamente dos formas de generación de la electricidad estática:

- Conducción (contacto o fricción). Es la forma de generación más habitual y ocurre en multitud de situaciones.
- Inducción (influencia). Puede ocurrir a partir de la carga previamente originada en la superficie de un material aislante, o bien por la presencia de un campo eléctrico, induciendo la formación y distribución de cargas eléctricas en un cuerpo conductor que esté próximo.

El cuerpo humano, a efectos de cargas electrostáticas, se considera que conduce relativamente bien la corriente eléctrica, de hecho se puede asimilar a un condensador capaz de almacenar energía. Para modelar los procesos de carga y descarga electrostática del cuerpo humano (figura 1), junto con el valor de capacitancia C , se consideran los valores de la resistencia del trabajador, resistencia del calzado (R_{calzado}) y la resistencia del suelo sobre el que desarrolla su actividad (R_{suelo}).

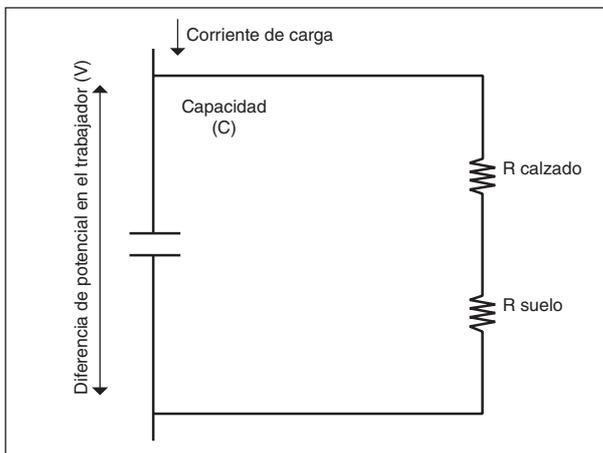


Figura 1. Modelo eléctrico de carga electrostática del cuerpo humano.

Considerando una capacitancia típica del cuerpo humano de 150 pF y la tensión más desfavorable que normalmente puede adquirir una persona de 20 kV se obtiene un valor de 30 mJ de energía almacenada. Debido a la elevada resistencia de la piel aproximadamente 2/3 de esta energía se pierde, de modo que las chispas procedentes del cuerpo humano tienen una energía máxima de ignición del orden de 10 mJ (excepto cuando se manipulan herramientas conductoras voluminosas) y ésta puede ser suficiente para provocar la ignición de determinadas mezclas inflamables.

En cuanto a la resistencia del conjunto calzado suelo ($R_{\text{calzado}} + R_{\text{suelo}}$) se recomienda un valor máximo de $10^8 \Omega$ que proporcionaría tiempos de descarga menores o iguales a 0,06 segundos.

En la estimación de la acumulación de cargas en las personas hay que tener en cuenta factores como:

- Humedad ambiental: a mayor humedad, menor probabilidad de carga.
- Tipo de suelo: si el suelo es aislante o tiene algún tratamiento superficial aislante, mayor será la probabilidad de carga.
- Estado físico del trabajador: la humedad superficial aumenta la conductividad facilitando la disipación de cargas (sudoración y humedad de la piel)
- Movimientos del trabajador (caminar sobre el suelo, levantarse de su asiento, ponerse y quitarse EPI)
- Interacción del trabajador con los elementos del entorno, especialmente con aquellos susceptibles de cargarse (manipulación de plásticos, permanecer en las cercanías de objetos altamente cargados, ...)
- Conductividad de la vestimenta; el empleo de fibras sintéticas, gomas y plásticos favorecen la acumulación de cargas.

Las descargas electrostáticas se pueden clasificar en varios tipos, los dos tipos más habituales “desde o hacia persona” son las descargas en chispa y en brocha (véase tabla 1). Además las descargas electrostáticas, “desde o hacia persona”, se producen básicamente entre:

- Una persona en contacto con tierra y un cuerpo conductor o aislante que esté cargado.
- Una persona cargada y un conductor conectado a tierra
- Una persona cargada y un conductor aislado (por inducción).

La cantidad de energía transferida determina la peligrosidad de una descarga y se manifiesta provocando la ruptura de la rigidez dieléctrica del medio aislante existente, normalmente el aire, entre las superficies cargadas. Esta manifestación energética por la recombinación de cargas es la que puede actuar como foco de ignición, si la misma alcanza el nivel de la energía mínima de ignición (EMI) de la atmósfera explosiva (véase figura 2). La EMI es la

TABLA 1. Tipos principales de descarga “desde o hacia personas” y su relevancia en el riesgo de ignición.

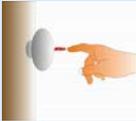
Tipo de descarga	Rango de energía	Ocurrencia	Riesgo de ignición
Chispa 	Hasta varios J (puede superar los 100 mJ, excepto entre personas que no suele superar los 10 mJ).	Entre objetos conductores que se mantienen aislados (no conectados a tierra).	Inflamación de gas/vapor y polvo de baja resistividad (incluidos los nanomateriales).
Brocha 	Hasta pocos mJ (no suele superar los 4 mJ).	Desde un material aislante cargado a un conductor.	Inflamación de gas/vapor pero no suele ser capaz de inflamar nubes de polvo.

TABLA 2. Restricciones de áreas y anchuras de materiales sólidos aislantes en zonas con riesgo ATEX.

Zona ^a	Grupo I ^b		Grupo IIA ^c		Grupo IIB ^c		Grupo IIC ^c	
	área máxima (mm ²)	anchura máxima (mm)	área máxima (mm ²)	anchura máxima (mm)	área máxima (mm ²)	anchura máxima (mm)	área máxima (mm ²)	anchura máxima (mm)
0	10.000	30	5.000	3	2.500	3	400	1
1			10.000	30	10.000	30	2.000	20
2			Sin limitación de dimensiones					

^a Clasificación de zonas conforme al Real Decreto 681/2003.
^b Grupo I son gases y vapores encontrados típicamente en minas bajo tierra.
^c Grupo II subdivisiones:
 IIA: propano como gas representativo, hexano como vapor.
 IIB: etano como gas representativo, éter dietílico como vapor.
 IIC: hidrógeno como gas representativo, sulfuro de carbono como vapor.

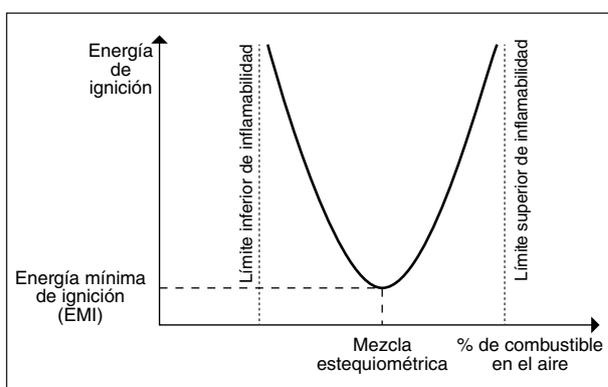


Figura 2. Límites de inflamabilidad y energía de inflamación de una sustancia inflamable en función de su concentración en el aire.

energía mínima necesaria para conseguir la inflamación de la atmósfera explosiva para una determinada concentración y determina la “sensibilidad” de dicha atmósfera. Una EMI baja implica que hace falta muy poca cantidad de energía para que la atmósfera se inflame. La cantidad de oxígeno contenido en la atmósfera así como la presión, influyen sobre el valor de la EMI necesaria para que se produzca la ignición.

Sólo algunas atmósferas explosivas son suficientemente sensibles para ser inflamadas por una descarga electrostática. Estas atmósferas suelen estar formadas por gases, vapores disolventes o polvos finos combustibles. También son muy sensibles a la ignición electrostática los materiales explosivos y sustancias en presencia de atmósferas enriquecidas de oxígeno.

3. SELECCIÓN DE EPI DISIPATIVOS

Consideraciones generales

La principal e inexcusable protección contra las descargas electrostáticas es la adecuada puesta a tierra. En el caso de las personas, es fundamental que los trabajadores que desarrollan su trabajo en zonas con atmósferas explosivas (ATEX) con EMI menor de 10 mJ estén debidamente puestos a tierra para evitar que se carguen electrostáticamente, no obstante aún puede existir riesgo de descargas electrostáticas procedentes de su ropa y otros EPI que porten.

Existen restricciones dimensionales de los materiales

aislantes existentes en las zonas donde estén presentes gases y vapores inflamables (tabla 2). En general se considera una práctica adecuada sustituir dichos materiales por otros disipativos o conductores adecuadamente puestos a tierra, a menos que el riesgo de descarga electrostática sea insignificante.

Los límites indicados en la tabla 2 no son valores absolutos para prevenir las descargas electrostáticas, simplemente las reducen a niveles bajos generalmente aceptables.

Normalmente la ropa o el resto de EPI usados pueden exceder de la limitación de área mencionada anteriormente, lo que implicaría la necesidad de uso de ropa de protección y EPI disipativos en zonas ATEX.

Es importante destacar que el uso de ropa y otros EPI de protección disipativos no eliminan el riesgo por descargas electrostáticas del personal que se encuentre aislado. Algunos EPI, por ejemplo el calzado conductor o antiestático, están diseñados para proporcionar una adecuada conexión entre el trabajador y tierra, pero son sólo efectivos si la conexión a tierra es adecuada (si se utiliza en un suelo conductor o disipativo). Aunque la **ropa y otros EPI disipativos** pueden ayudar a reducir el riesgo por descargas electrostáticas, **no se pueden usar como sustitución de la adecuada puesta a tierra del trabajador.**

Otro factor que hay que considerar es la probabilidad de ocurrencia de un mecanismo de carga en el EPI. A modo ilustrativo, la tabla 3 incluye algunos ejemplos de diferentes situaciones clasificándolos según su probabilidad de carga. Ver figura 3.



Figura 3. Situación con alta probabilidad de carga por exposición del EPI a nieblas de aerosol.

TABLA 3. Algunos ejemplos de situaciones de alta y baja probabilidad de carga.

Situación	Probabilidad de carga	Comentarios
EPI frotado al levantarse del asiento	Alta	-
EPI frotando contra otro EPI llevado por la misma persona, p.e. <ul style="list-style-type: none"> • Manga frotando contra el cuerpo de la chaqueta. • Una pernera del pantalón frotando contra la otra. • Ropa frotando contra un arnés anticaídas. 	Alta	La carga ocurre entre las fibras de la ropa (p.e. la capa interior de la chaqueta en la camisa). El riesgo electrostático es bajo siempre que las fibras frotadas no se separen (p.e. siempre que no se quite la chaqueta, no se abra o no esté excesivamente holgada).
Exposición del EPI a nieblas de aerosoles, p.e. pintura en spray.	Alta	-
Exposición del EPI a sprays cargados o partículas provenientes de extintores.	Alta	-
Cascos no sometidos normalmente a frotamiento.	Baja	-
Quitar el casco – arnés frotado contra el pelo.	Alta	Los EPI no se deben de quitar en zonas clasificadas.
Limpieza de viseras.	Alta	-
Apertura de velcro.	Alta	Los EPI no se deben abrir en zonas clasificadas.
EPI con elementos aislantes aislados expuestos a campos eléctricos o electrostáticos.	Baja	El material aislante no es fácilmente cargable por inducción por exposición a campos elevados.
EPI con elementos conductores aislados expuestos a campos eléctricos o electrostáticos.	Alta	Se pueden inducir voltajes peligrosos en las zonas conductoras aisladas. Dichos componentes deben ser puestos a tierra o tener baja capacitancia como para que no ocurran descargas peligrosas.

Resaltar que las condiciones ambientales (temperatura y humedad) influyen significativamente en la facilidad de carga electrostática de los EPI, en general, cuando la humedad relativa desciende, se incrementa la tendencia de los materiales a adquirir y retener la carga. En cualquier caso la preceptiva evaluación de riesgos ha de tener en cuenta el rango de condiciones ambientales en que se desenvuelve el trabajador, incluida el uso de calefacción y aire acondicionado.

Los EPI están excluidos del ámbito de aplicación del *Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio*, pero si un EPI dispone de un dispositivo eléctrico o electrónico y ha sido certificado conforme al *Reglamento (UE) 2016/425*, dichos componentes no están exentos del cumplimiento de los requisitos del citado real decreto.

Evaluación de riesgos

Las indicaciones para la evaluación del riesgo electrostático en zonas ATEX se encuentran en el Art. 4 del Real Decreto 681/2003. El citado artículo establece que el empresario evaluará los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta, al menos:

a) Probabilidad de formación y duración de la atmósfera explosiva.

- b) La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas. Las descargas electrostáticas pueden darse tanto por las condiciones de desarrollo del proceso como por carga acumulada por los trabajadores, por ello tendrán que evaluarse todas las circunstancias en que puedan producirse dichas descargas electrostáticas. En este punto la evaluación debe incluir los mecanismos y probabilidad de carga de los trabajadores debido a la ropa o al uso de otros EPI, teniendo en cuenta los hábitos y las prácticas de trabajo normales del trabajador.
- c) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- d) Las proporciones de los efectos previsibles.

Como ya se ha indicado, cuando se considera el riesgo por descargas electrostáticas procedentes de equipos no eléctricos, tales como la ropa de protección y otros EPI, el parámetro relevante es la EMI de la atmósfera explosiva, además, existe una correspondencia entre los grupos de explosión y la EMI, es por ello que ésta última se debe utilizar como base principal para la determinación del riesgo de ignición por descargas electrostáticas.

En función de los resultados que arroje la evaluación de riesgos, la tabla 4 se puede utilizar como orientación para determinar cuándo es necesaria la utilización de ropa de protección y otros EPI de protección frente a riesgos electrostáticos, mediante la combinación de la probabilidad de que ocurra una atmósfera explosiva, la probabilidad de que ocurra un mecanismo de descarga y la sensibilidad de la ignición por la descarga electrostática de la atmósfera explosiva.

TABLA 4. Recomendaciones de uso de EPI disipativos.

Clasificación zona ^a	Probabilidad de carga	0,016 mJ ≤ EMI ≤ 0,2 mJ Grupos explosión IIB, IIC	EMI > 0,2 mJ		
			Grupos explosión IIA, IIB	Grupos explosión IIIA, IIIB, IIIC	
Zona 0	Alta	Necesario	Necesario		
	Baja				
Zona 1	Alta		Recomendable		Recomendable
	Baja				
Zona 2	Alta	Recomendable	No necesario		
	Baja	No necesario			
Zona 20,21,22	Alta			No necesario	
	Baja				

• La EMI de una atmósfera enriquecida en oxígeno puede ser inferior a la EMI de las sustancias inflamables habituales. Si se determina que puede aparecer una atmósfera enriquecida en oxígeno (operaciones de soldadura, aplicaciones médicas...) habrá de tenerse en cuenta esta consideración en la evaluación de riesgos.
 • Se debe consultar a expertos si la atmósfera explosiva tiene una EMI inferior a 0,016 mJ (valor inferior para una atmósfera explosiva hidrógeno/aire).
 • Hay que tener cuidado cuando se comparan valores de EMI porque hay cierta incertidumbre inherente a la medida y diferentes métodos pueden no dar lugar a resultados comparables. Se debe consultar con un experto cuando la EMI está próxima al de la mezcla hidrógeno/aire.
 • Si la atmósfera explosiva es del grupo IIB pero la EMI es desconocida se puede usar las indicaciones 0,016 mJ ≤ EMI ≤ 0,2 mJ

NOTA 1: existe una gran probabilidad de carga cuando la ropa entra regularmente en contacto con superficies externas, en particular cuando los materiales están distanciados en la serie triboeléctrica.
NOTA 2: cuando se especifica “No necesario”, la puesta a tierra de las personas y otros conductores sigue siendo necesario.
 NOTA 3: la ropa de protección disipativa de la electricidad estática cumpliendo las especificaciones de EN 1149-5 es segura para su uso en todas las áreas clasificadas reflejadas en la tabla.
 NOTA 4: el presente estado del conocimiento indica que polvos y granos no son inflamables con descargas en brocha.

^a Clasificación de zonas conforme Directiva 1999/92/CE.

Aplicando la tabla 4, la evaluación de riesgos para un trabajador que asiste en los surtidores a los clientes de una estación de servicio y que habitualmente desarrolla su trabajo en una zona 1, y considerando que el vapor de la gasolina tiene una EMI mayor de 0,2mJ, indicaría:

- Necesidad de puesta a tierra de personas y otros conductores.
- Si se estima que la probabilidad de carga es alta, se requerirá el uso de prendas disipativas para el trabajador.
- Si por el contrario se estima que la probabilidad de carga es baja dicho uso será una recomendación. (Ver figura 4).

Explosivos y artículos pirotécnicos

La fabricación, almacenamiento y manipulación de explosivos y artículos pirotécnicos está sujeta a legislación internacional, nacional regional e incluso local.

Como en el resto de aplicaciones ATEX, la principal defensa contra las descargas electrostáticas peligrosas es asegurar que las personas están adecuadamente puestas a tierra, si bien, el límite del valor de la resistencia a

tierra que se acepta es menor que en otras aplicaciones. Ver figura 4.

Se puede aceptar que si la energía de activación es superior a 450 mJ no se requiere habitualmente EPI disipativos, si por el contrario se encuentra entre 1 mJ y 450mJ sí que se recomienda su uso.



Figura 4. Trabajador en surtidor de estación de servicio

BIBLIOGRAFÍA

CEN/CLC/TR 16832:2015. Selection, use, care and maintenance of personal protective equipment for preventing electrostatic risks in hazardous areas (explosion risks).

Fpr CLC/TR 60079-32-1:2018. Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic Hazards – Guidance (IEC/TS 60079-32-1:2013).

UNE-EN 60079-32-2:2016. Atmósferas explosivas. Parte 32-2. Riesgos electrostáticos. Ensayos.

CEN/CLC/TR 5404:2003. Electrostatics – Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.

INSHT, 2010. NTP-887. Calzado y ropa de protección “antiestáticos”.

UNE-EN IEC 61340-4-5:2018. Métodos de ensayo normalizados para aplicaciones específicas. Métodos para la caracterización de la protección electrostática del calzado y el suelo en combinación con una persona.

INSHT, 2015. Riesgos debidos a la electricidad estática. Documento Divulgativo DD.76.1.15.

Guía de buenas prácticas para la aplicación relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas de la Directiva 1999/92/CE. Comisión Europea 2005.

El riesgo debido a la electricidad estática: ¿en qué consiste?, ¿cómo y cuándo se debe controlar? Marcos Cantalejo García. Seguridad y Salud en el Trabajo, N° 91, Julio 2017.

INSHT, 2000. NTP-567. Protección frente a cargas electrostáticas.

UNE-EN 1149-1:2007. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 1: Método de ensayo para la medición de la resistividad de la superficie.

UNE-EN 1149-2:1998. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 2: Método de ensayo para medir la resistencia eléctrica a través de un material (resistencia vertical).

UNE-EN 1149-3:2004. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la carga.

UNE-EN 1149-5:2018. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y diseño.

UNE-EN ISO 16350:2014. Guantes de protección. Propiedades electrostáticas.

UNE-EN ISO 20345:2012. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad.

UNE-EN ISO 20346:2014. Equipo de protección personal. Calzado de protección.

UNE-EN ISO 20347:2013. Equipo de protección personal. Calzado de trabajo.

EDS-protective clothing for electronics industry – A new European research project ESTAT-Garments. 6th Dresden Textile Conference, June 19-20, 2002.