



EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE LOS
RIESGOS DERIVADOS DE ATMÓSFERAS
EXPLOSIVAS EN EL LUGAR DE TRABAJO
LA GUÍA TÉCNICA DEL INSHT

FUENTES DE IGNICIÓN

Sevilla, 20 de octubre de 2009

Marcos Cantalejo García
mcantalejo@mtin.es
CNNT (INSHT)



FUENTES DE IGNICIÓN

- 1. SUPERFICIES CALientes**
- 2. LLAMAS, CHISPAS Y LUMINOSIDAD**
- 3. CHISPAS DE ORIGEN MECÁNICO**
- 4. MATERIAL ELÉCTRICO**
- 5. CORRIENTES ELÉCTRICAS PARÁSITAS, PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN CATÓDICA**
- 6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA**
- 7. RAYO**
- 8. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE RADIOFRECUENCIA (RF),
de 10^4 a 3×10^{12} Hz**
- 9. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE 3×10^{11} a 3×10^{15} Hz**
- 10. RADIACIÓN IONIZANTE**
- 11. ULTRASONIDOS**
- 12. COMPRESIÓN ADIABÁTICA Y ONDAS DE CHOQUE**
- 13. REACCIONES EXOTÉRMICAS Y AUTOIGNICIÓN DE POLVOS**

1. SUPERFICIES CALIENTES:

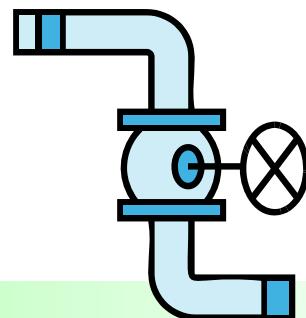
Ejemplos:

- Evidentes: radiadores, estufas, etc.
- Asociados al proceso: serpentines, embragues a fricción, frenos mecánicos, cojinetes, calentamiento de conductores eléctricos, reacciones químicas, fluidos circulando por tuberías, etc.
- No previstos: rozamientos por desgastes o falta de lubricación, etc.

Apéndice 4

Medidas preventivas:

- Para gases, vapores o nieblas → Temperatura superficial (TS) < 80% Temperatura mínima de ignición (TMI)
- Para polvos → TS < 2/3 TMI en nube ó TS < TMI en capa -75°C
- Marcado: clase de temperatura T1 a T6 (ITC-BT-29), int. magnetotérmicos, refrigeración, lubricación, limpieza del polvo depositado, etc.



2. LLAMAS, GASES Y PARTÍCULAS CALIENTES:

Ejemplos:

- Soldadura y oxicorte
- Circulación de vehículos

Medidas preventivas:

- Evitar llamas desnudas
- Uso de mallas apagallamas y para-chispas
- Establecimiento de permisos especiales de trabajo
- Uso de carretillas elevadoras con modo de protección antiexplosiva, etc.



3. CHISPAS DE ORIGEN MECÁNICO:

Ejemplos:

- Amolado, fricciones, choques, abrasiones de materiales férreos, cerámicos, herrumbre (óxido) y metales ligeros (aluminio, magnesio), metales ligeros (titánio, circonio) contra material duro

Medidas preventivas:

- Evitar las situaciones anteriores
- Uso de herramientas especiales
- Uso de materiales con recubrimientos de goma



4. MATERIAL ELÉCTRICO:

Ejemplos:

- Abrir o cerrar circuitos eléctricos
- Conexiones flojas
- Manipulación de baterías (conexión/)



Medidas preventivas:

- Aplicación del R.D. 614/2001, anexo VI
- Aplicación del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), ITC-BT 29
- Aplicación de Normas Técnicas



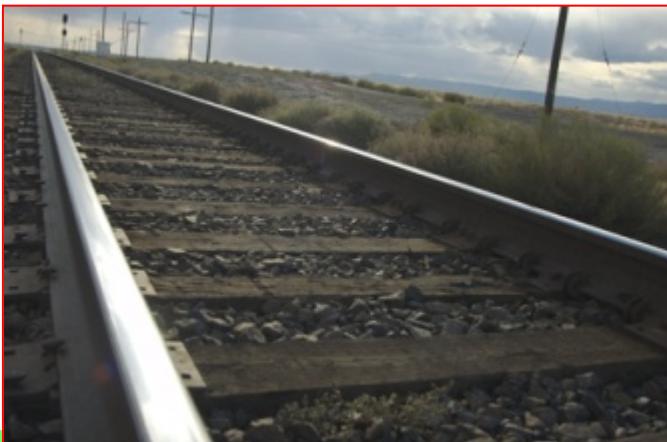
5. CORRIENTES ELÉCTRICAS PARÁSITAS, PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN CATÓDICA:

Ejemplos:

- Corrientes de retorno por raíles en proximidad de trenes eléctricos
- Cortocircuitos o puestas a tierra accidentales por fallos en instalaciones eléctricas
- Contracorrientes para corrosión catódica

Medidas preventivas:

- Uso de conexiones equipotenciales en todas las partes conductoras
- Uso de ánodos de sacrificio (Zn,



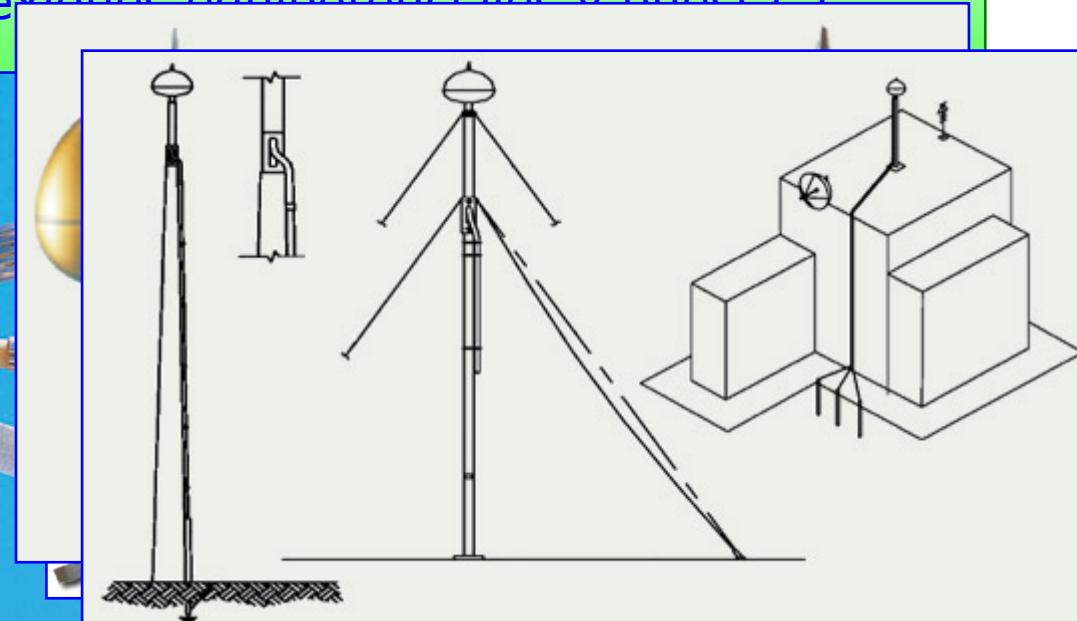
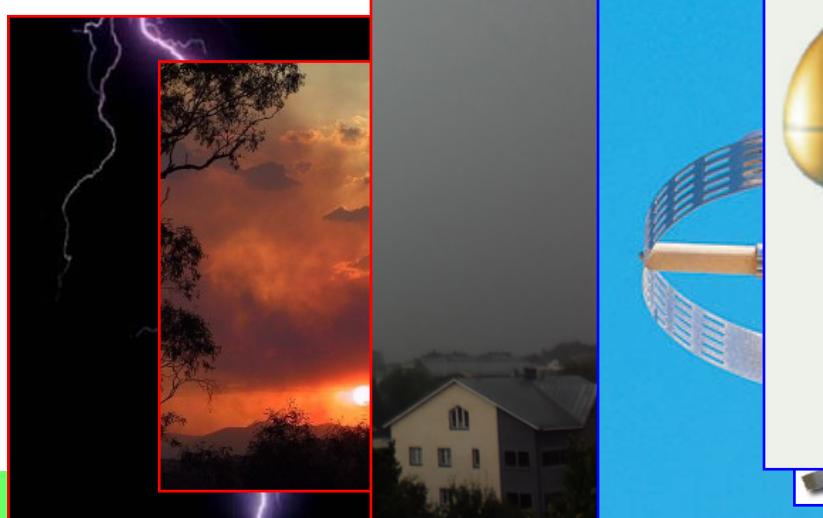
7. RAYO:

Concepto:

- Descarga de chispa eléctrica de gran potencia o ignición por alta temperatura de los elementos que conducen el rayo
- Incluso sin rayo las tormentas pueden inducir tensiones importantes en la instalación y generar chispas

Medidas preventivas:

- Uso de pararrayos y sistemas de protección contra sobretensiones
- En instalaciones de depósitos enterrados o sistemas eléctricamente conductores que están eléctricamente aislados del depósito, realizar interconexiones equipotenciales y puesta a tierra en anillo



8. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE RADIOFRECUENCIA (RF), de 10^4 a 3×10^{12} Hz:

Ejemplos:

- Emisoras de radio
- Generadores de RF médicos o industriales para calentamiento, secado, endurecimiento, soldeo, oxicorte, etc.
- Partes conductoras pueden hacer de antena y por inducción pueden causar enrojecimiento de hilos finos y chispas

Medidas preventivas:

- Distancia de seguridad por medición
- Apantallado
- Evitar conexiones y desconexiones
- Seguridad del material eléctrico (ídem. “4. Material Eléctrico”)



9. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE 3×10^{11} a 3×10^{15} Hz:

Ejemplos:

- Radiación solar concentrada (botellas, lentes, lupas, reflectores)
- Fuentes luminosas intensas
- Láser

Medidas preventivas:

- Material eléctrico protegido
- Uso de equipos con energía de radiación baja
- Radiación confinada, que no entre en contacto con atmósfera explosiva



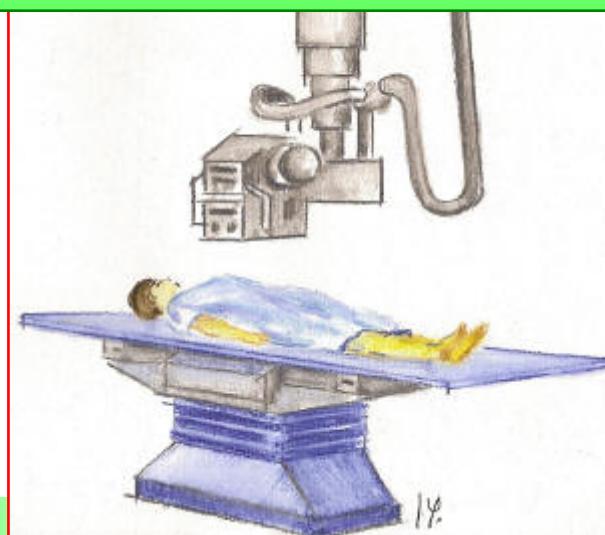
10. RADIACIÓN IONIZANTE:

Ejemplos:

- Rayos X y sustancias radiactivas (especialmente con polvos por absorción de energía, por dar lugar a reacciones químicas, por radiólisis del agua dando H_2 y O_2)

Medidas preventivas:

- Ídem. "4. Material Eléctrico"
- Ídem. Láser ("9")
- Uso de equipos con energía de radiación baja
- Radiación confinada, que no entre en contacto con atmósfera explosiva



11. ULTRASONIDOS:

Concepto:

- Ondas de alta energía absorbidas por sustancias sólidas y líquidas

Medidas preventivas:

- No permitida frecuencia > 10 MHz, excepto si se demuestra que no existe absorción por resonancia molecular
- Material eléctrico asociado → ídem “4”
- Para frecuencias ≤ 10 MHz, la densidad de potencia debe ser ≤ 1 mW/mm², excepto si se demuestra la no ignición



12. COMPRESIÓN ADIABÁTICA Y ONDAS DE CHOQUE:

Ejemplos:

- Ignición por compresión de nieblas de aceite de lubricación en compresores
- Descarga brusca de gases a alta presión en las redes de canalizaciones → se pueden producir temperaturas muy altas
- Fugas de oxígeno → pueden inflamar los lubricantes, las juntas de estanqueidad e incluso los materiales

Medidas preventivas:

- Evitar compresiones u ondas de choque capaces de provocar ignición
- Apertura lenta de correderas y válvulas (evitar "golpe de ariete")
- Evitar fugas de gases oxidantes que puedan dar lugar a ignición de grasas y del material del punto de fuga



13. REACCIONES EXOTÉRMICAS Y AUTOIGNICIÓN DE POLVOS:

Ejemplos:

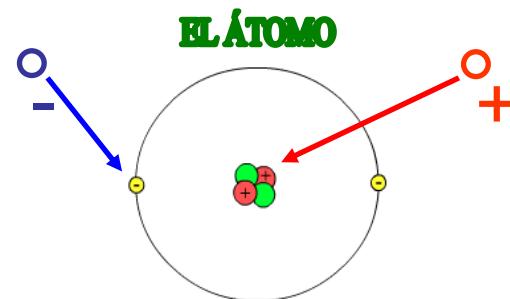
- Sustancias pirofóricas con el aire (R17)
- Metales alcalinos con el agua (R14)
- Autoignición por acumulaciones de polvo combustible
- Autocalentamiento de productos alimenticios
- Descomposición de peróxidos orgánicos (R7)
- Peróxidos inorgánicos (R8 y R9) en contacto con combustibles
- Reacciones de polimerización, H₂/aire y Pt, Cu y acetileno, etc.
(Ver RD 363/1995 Anexo 6 y Fichas Datos Seguridad, FDS)
- Sustancias susceptibles de formar atmósfera inflamable con frases R10, R11, R12, R15, R18 además de las anteriores

Medidas preventivas:

- Evitar reacciones exotérmicas y sustancias con tendencia a autoignición
- Inertización
- Estabilización con inhibidores
- Mejorar la disipación de calor
- Limitar temperatura y presión
- Almacenamiento a temperaturas más bajas
- Limitación del tiempo de permanencia
- Compatibilidad de material del equipo con los productos manipulados, etc.

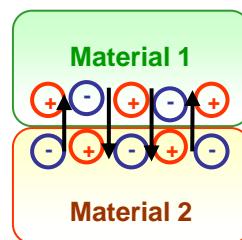
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA:

Fundamento físico: EL ÁTOMO



Material 1

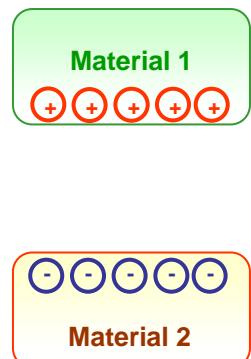
Material 2



Eléctricamente
neutros y aislados

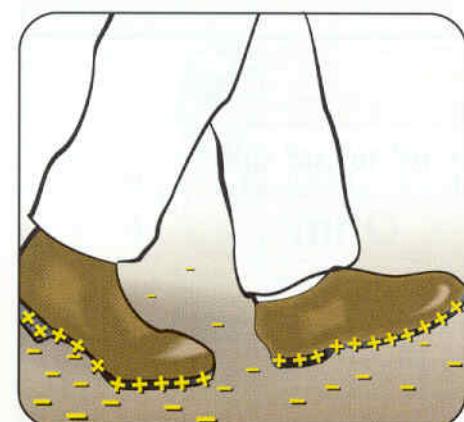
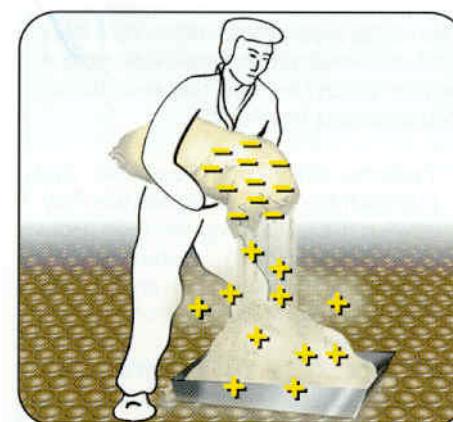
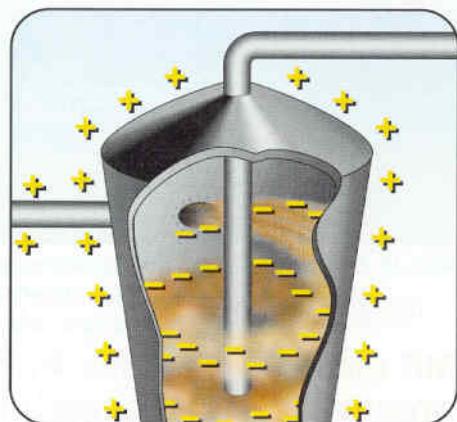
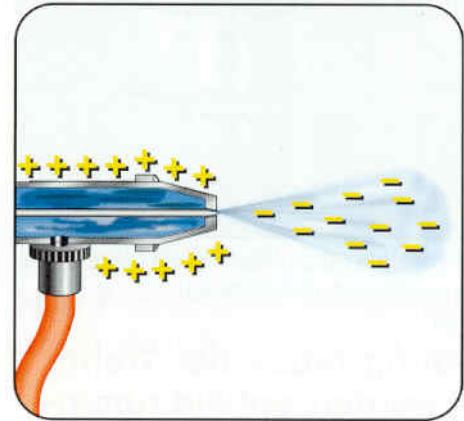
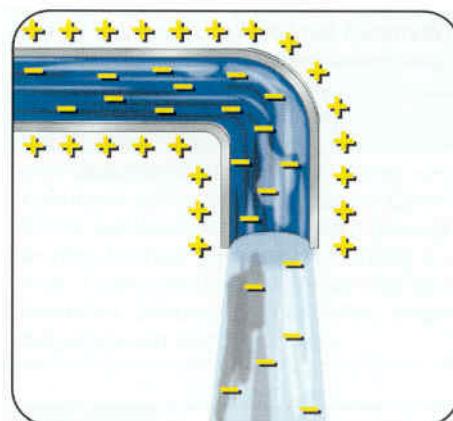
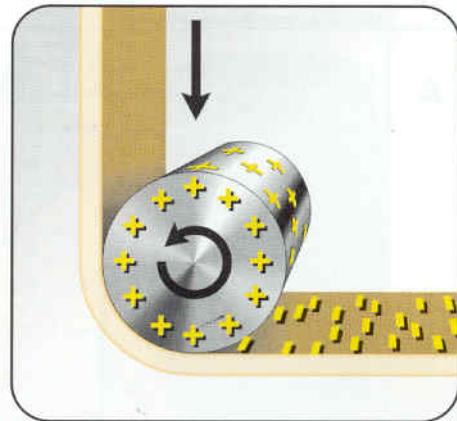
Contacto

Separación



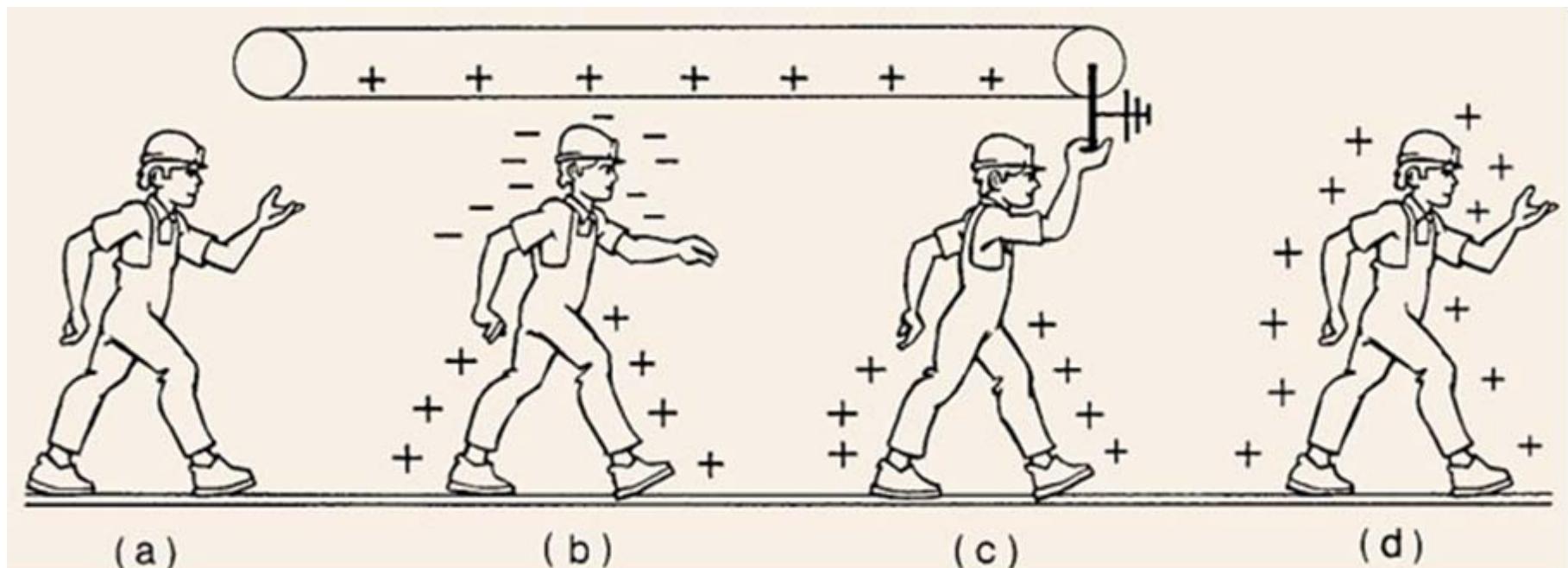
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Generación y acumulación

Contacto:



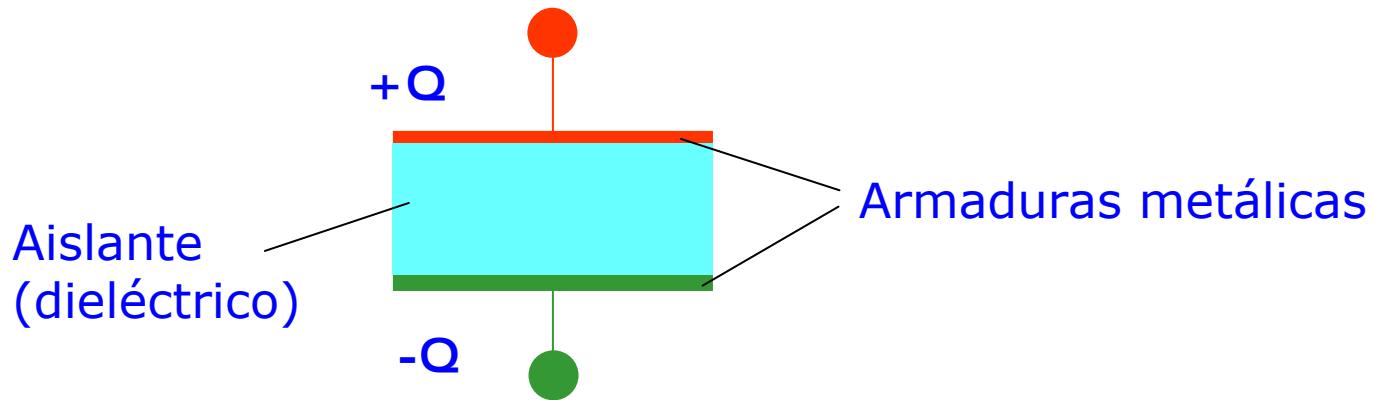
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Generación y acumulación

Inducción:



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Generación y acumulación

"El Condensador Humano":

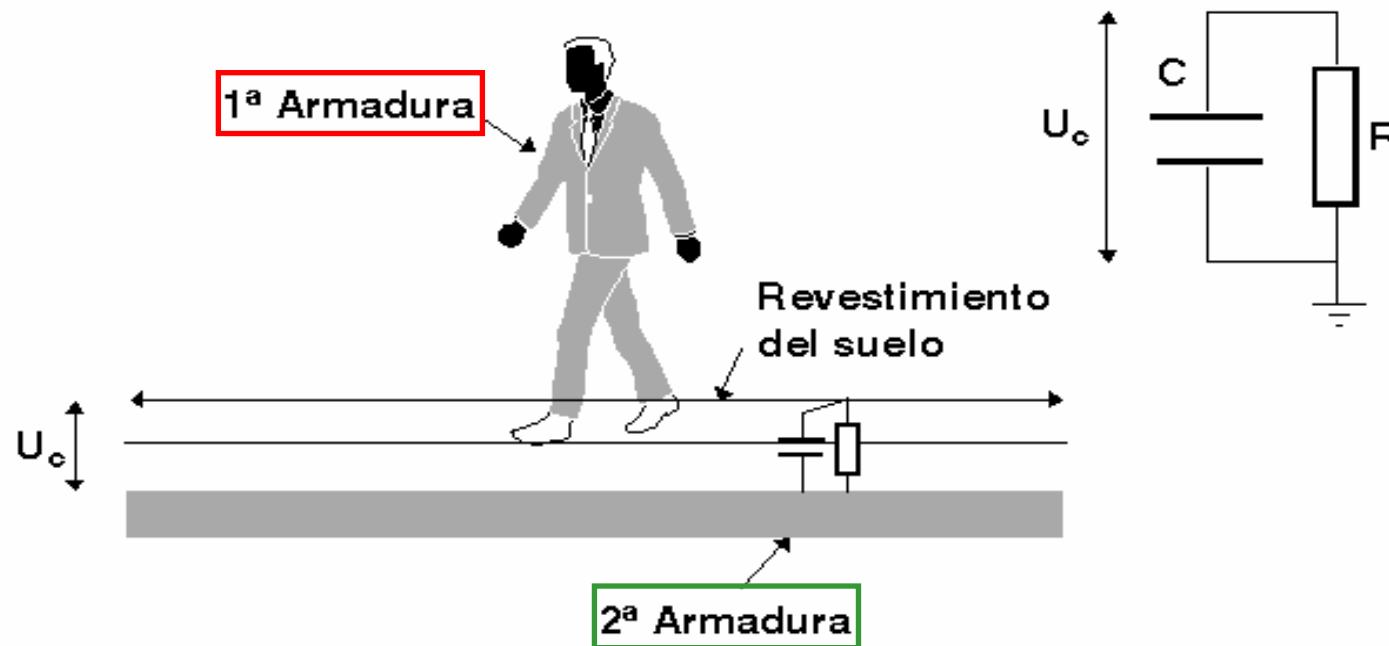


CONDENSADOR

$$Q \text{ (culombios)} = C \text{ (faradios)} \times V \text{ (voltios)}$$

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} Q^2/C = \frac{1}{2} QV$$

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Generación y acumulación



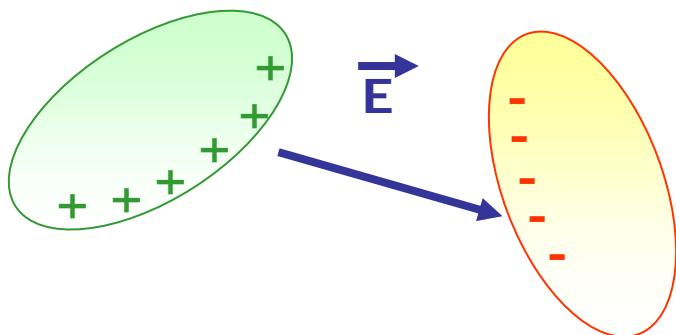
Al caminar utilizando suelas de material no conductor (goma o plástico) sobre un pavimento no conductor, se puede alcanzar un potencial del orden de 10 kV.

Como la capacidad del cuerpo humano es del orden de 100-200 pF, la energía almacenada es:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} 200 \cdot 10^{-12} (10^4)^2 = 10 \text{ mJ}$$

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Generación y acumulación

| PROCESO | POTENCIAL ACUMULADO (V) | |
|---|-------------------------|-------------|
| | H.R.=10-20% | H.R.=65-90% |
| Andar sobre moqueta | 35.000 | 1.500 |
| Manipular bolsas de plástico | 20.000 | 1.200 |
| Utilización de silla de trabajo barnizada | 18.000 | 1.500 |
| Caminar sobre suelo de PVC | 12.000 | 250 |
| Separar láminas de plástico | 800 | 600 |

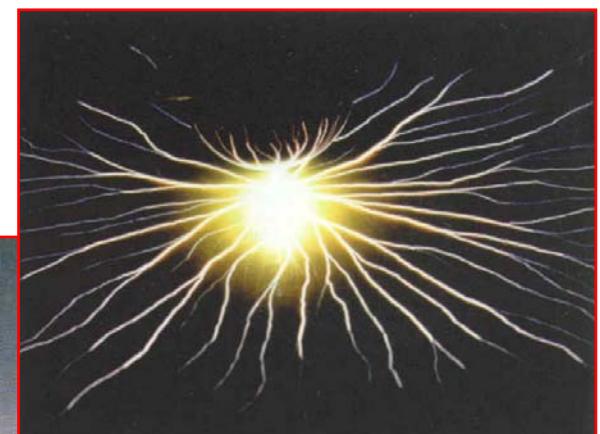
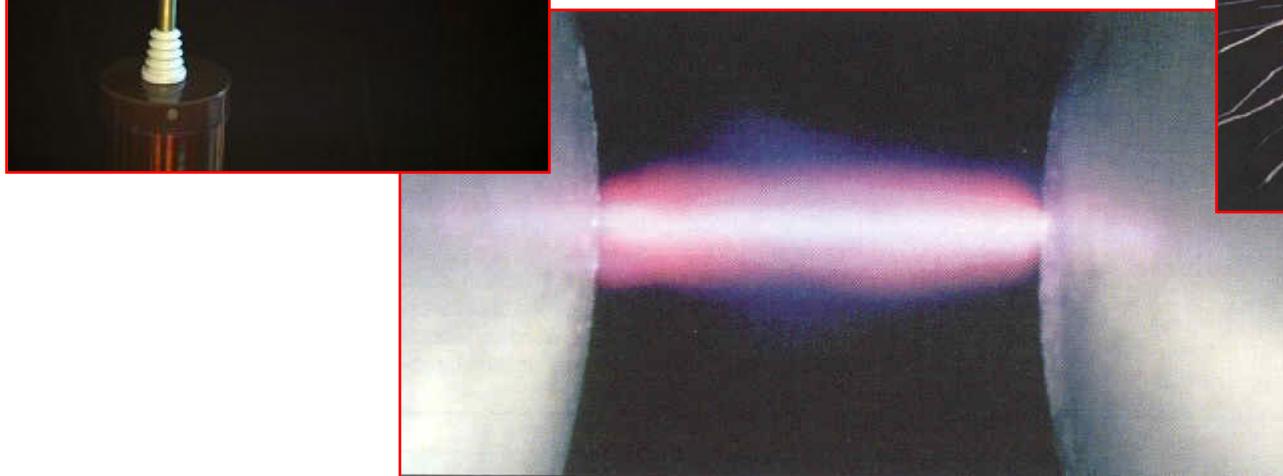


E ruptura aire $\approx 3.000 \text{ V/mm}$

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

Tipos de descargas:

- Chispa
- Brocha, cepillo o abanico
- Haz propagante
- Corona
- Cono



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

| TIPO DE DESCARGA | EFICACIA COMO FUENTE DE IGNICIÓN PARA MEZCLAS DE AIRE CON: | | |
|--------------------|--|--|--------------------------------------|
| | Hidrógeno, acetileno, etc. EMI ≤ 0,025 mJ | Disolventes orgánicos EMI > 0,025 mJ | Polvos combustibles EMI > 1 mJ |
| CHISPA | + | + | + |
| ABANICO | + | + | - (*) |
| ABANICO PROPAGANTE | + | + | + |
| CORONA | + | - | - |
| CONO | + | + | + |

(*) Puede producirse la ignición de polvos de sensibilidad elevada



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

ENERGIA MÍNIMA DE INFILAMACION

Es la energía mínima necesaria para conseguir la inflamación de la atmósfera para una determinada concentración.

CLASIFICACIÓN DE LOS GASES DEL GRUPO II

| Grupo | EMI |
|-------|------------------------------|
| II A | $EMI > 250 \mu J$ |
| II B | $250 \mu J > EMI > 96 \mu J$ |
| II C | $96 \mu J > EMI$ |

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

| Mezcla vapor /aire | EMI (mJ) | |
|--------------------|----------|--|
| Hidrógeno | 0,011 | |
| Acetileno | 0,017 | |
| Gas Ciudad | 0,030 | |
| Etileno | 0,070 | |
| Metanol | 0,140 | |
| Benceno | 0,200 | |
| Etano | 0,240 | |
| Vapor de petróleo | 0,250 | |
| Gas natural | 0,300 | |
| Acetona | 1,500 | |

IIC

IIB

IIA



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

TIPOS DE RIESGOS

MOLESTIAS

ACCIDENTES GRAVES

AFFECTACIÓN DEL PRODUCTO

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

MOLESTIAS

- Descargas entre personas
- Descargas entre personas y objetos cercanos conductores



- Posibles caídas de altura, choques, golpes, etc.
- Irritación y nerviosismo
- Muy raramente: quemaduras

| J | Sensación |
|-------------|----------------------|
| 10 | Quemadura |
| 1 | Pinchazo doloroso |
| 0,1 | Pinchazo agudo |
| 0,01 | Pinchazo |
| 0,001 | Umbral de percepción |
| 0,0001 | Imperceptible |



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

ACCIDENTES GRAVES

Condiciones:

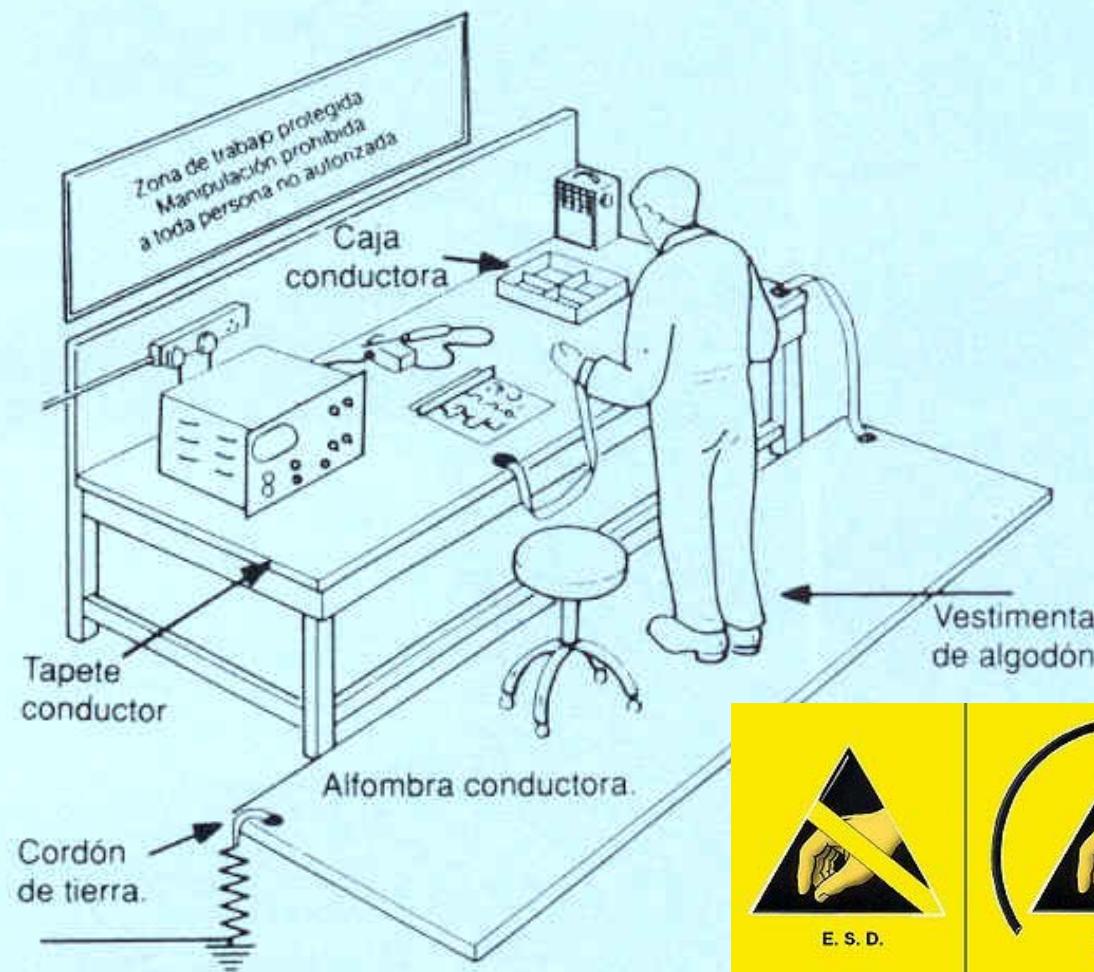
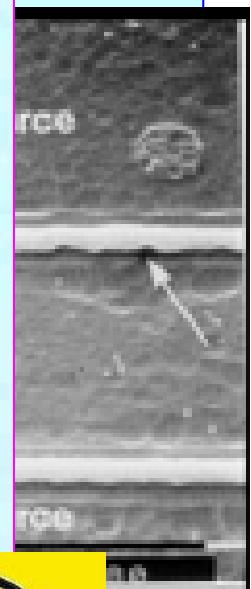
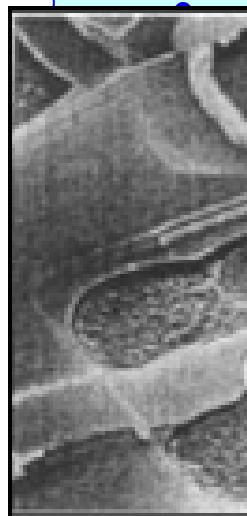
- ✓ Existe un medio efectivo de **generación** de carga electrostática
- ✓ Existe un medio de **acumulación** de cargas aisladas
- ✓ Energía del foco (descarga) \geq EMI de la atex presente

Observaciones:

- Descargas más potentes → chispas entre dos conductores aislados
- Entre dos cuerpos aislantes, la acumulación debe ser muy grande
- Descargas con personas → pueden tener lugar:
 - entre una persona en contacto con tierra y un cuerpo conductor o aislante cargado;
 - entre una persona cargada y un conductor conectado a tierra;
 - entre una persona cargada y un conductor aislado.

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Eliminación

AFECTACIÓN DEL PRODUCTO





6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

1º Evitar la formación de atex:

- Ventilación (apta sólo para gases, vapores, nieblas)
- Inertización
- Uso de tornillos helicoidales, tolvas con válvulas rotatorias o de doble compuerta en la adición de polvo combustible a recipientes con líquidos inflamables. Evitar la entrada masiva de aire

2º Limitar la generación de cargas electrostáticas:

- Limitar la velocidad de traspase de líquidos inflamables ($v \times \text{diámetro de conducción} < 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$); límite: producción
- Llenar depósitos desde el fondo
- Evitar chorros, salpicaduras y pulverizaciones



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

3º Eliminar las cargas electrostáticas acumuladas:

- Puesta a tierra y conexión equipotencial de elementos conductores antes de trasvases u otras operaciones similares
- Uso preferente de elementos metálicos con la precaución anterior
- Se pueden usar pequeños envases de plástico con precauciones en trasvases
- Aumentar la conductividad superficial de los materiales mediante elevación de la humedad relativa (60%)
- Uso de aditivos disipadores o conductores (negro de humo, grafito)
- Neutralización con ionizadores de aire en proximidad de rodillos, bobinadoras de cinta adhesiva y película, cintas transportadoras, previo a pintado de piezas, etc.



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

3º Eliminar las cargas electrostáticas acumuladas (cont.):

- Evitar el uso de sondas y utensilios metálicos puestos a tierra en mediciones y tomas de muestras
- Uso de ropa y calzado adecuados
- Instalar elementos conductores para facilitar la descarga electrostática de personas (placas metálicas puestas a tierra para pies y manos) antes de realizar operaciones en atmósferas explosivas
- Controlar los tiempos de relajación o disipación de cargas desde que finaliza un trasvase, mezclado, agitación o vertido hasta el inicio de una operación con riesgo de descarga electrostática

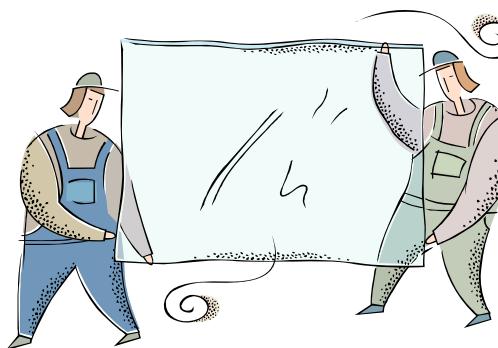


6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

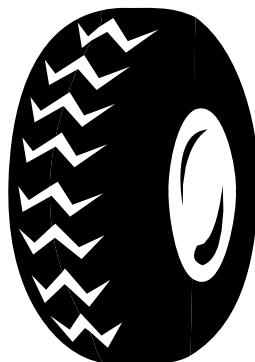
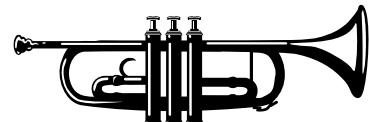
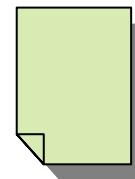
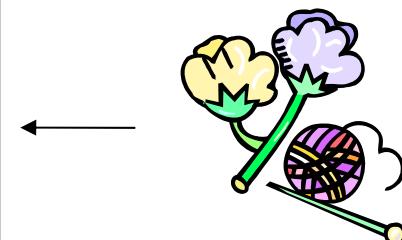
3º Eliminar las cargas electrostáticas acumuladas (cont.):

- Elección adecuada de materiales en contacto (lo más próximos posible en la serie triboeléctrica)
- Reducción de la presión de contacto entre materiales
- Control adecuado de la temperatura de contacto entre superficies

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



| SERIE TRIBOELÉCTRICA | |
|-------------------------|----------------|
| + | Vidrio |
| | Cabello humano |
| | Nylon |
| | Lana |
| | Piel |
| | Aluminio |
| | Poliéster |
| | Papel |
| | Algodón |
| | Acero |
| | Cobre |
| | Níquel |
| | Goma |
| | Acrílico |
| | Poliuretano |
| | PVC |
| - | Teflón (PTFE) |



Fuente: NTP 567



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

CONTROL DE ATMÓSFERAS INFAMABLES

- ✓ Empleo de gas inertizante (N₂, gas inflamable de la propia planta - [] >> LSE -):

No usar CO₂ o vapor de agua

A veces hay que acompañar la medida con reducción del contenido de O₂ a ~ 11%

- ✓ Ventilación forzada:

Objetivo teórico: [] < LIE

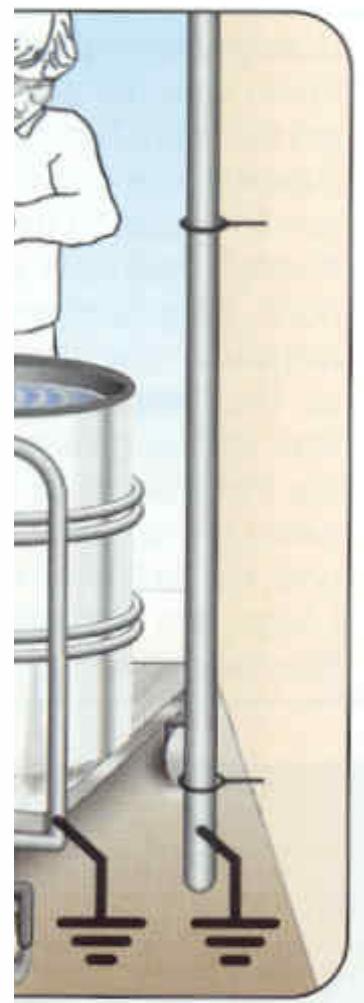
Objetivo técnico: [] < 20% LIE

Mecanismo: caudal de aire exterior suficiente para barrer uniformemente la atmósfera interior

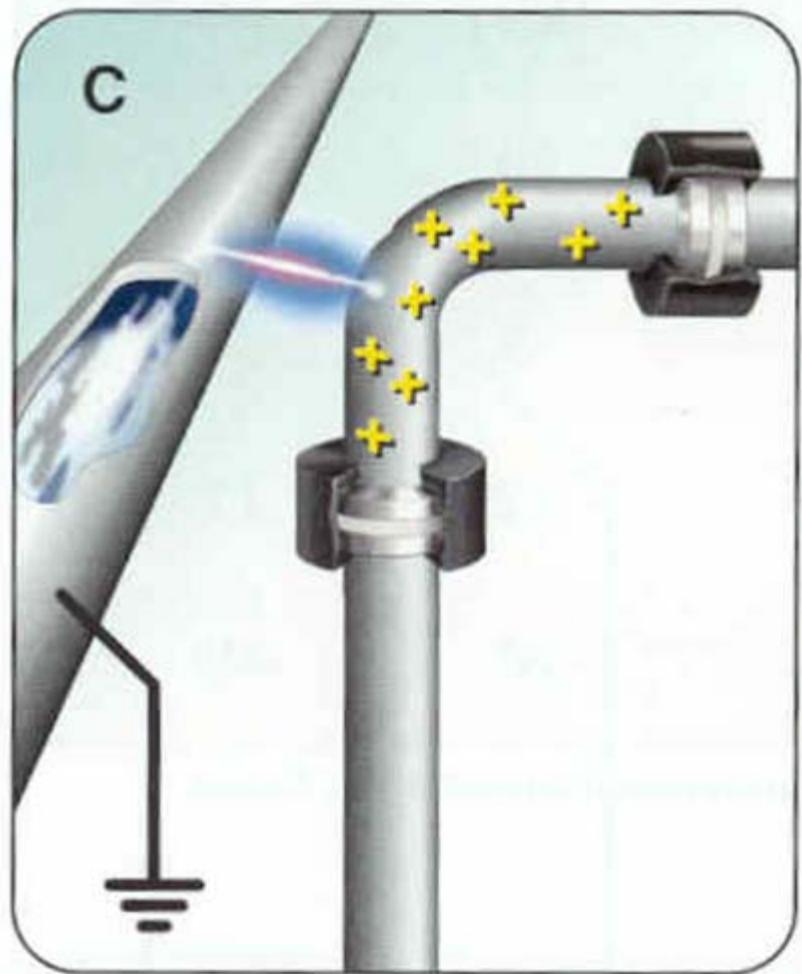
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



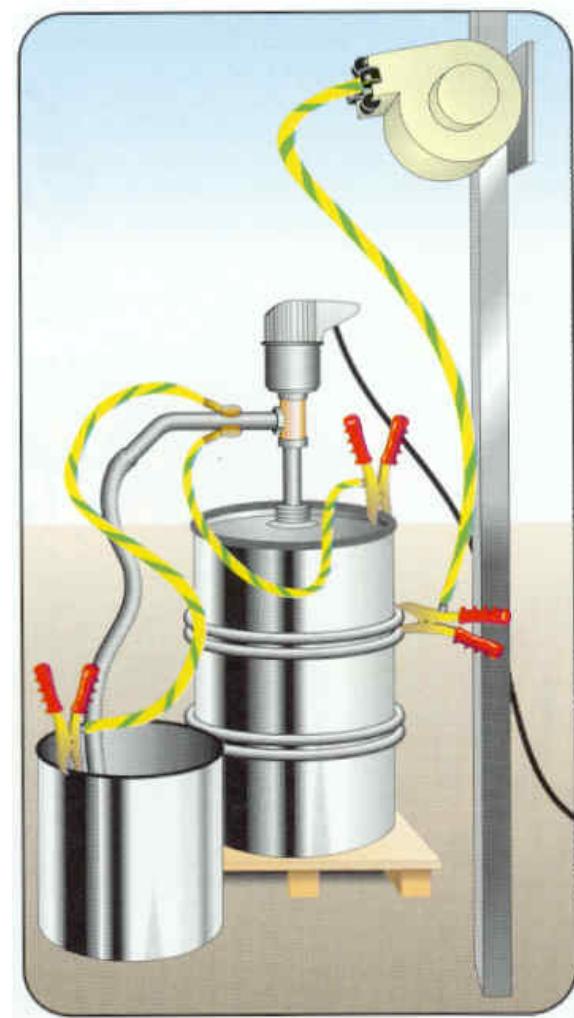
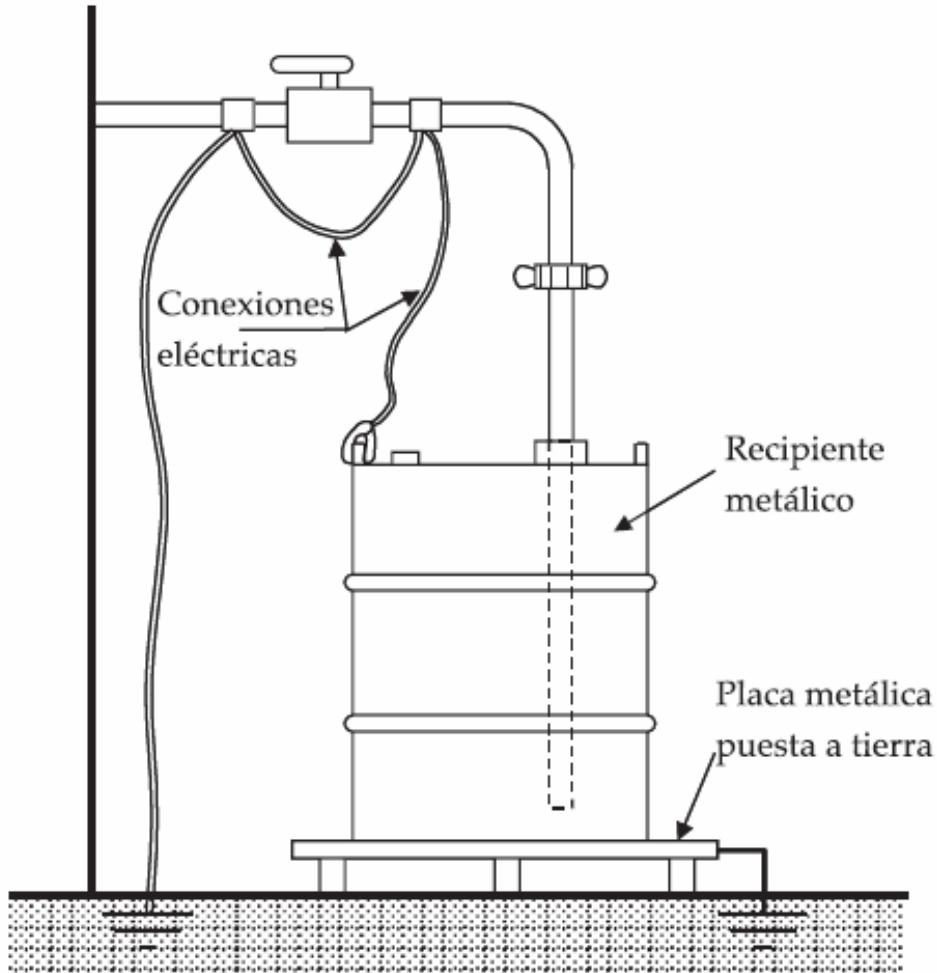
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



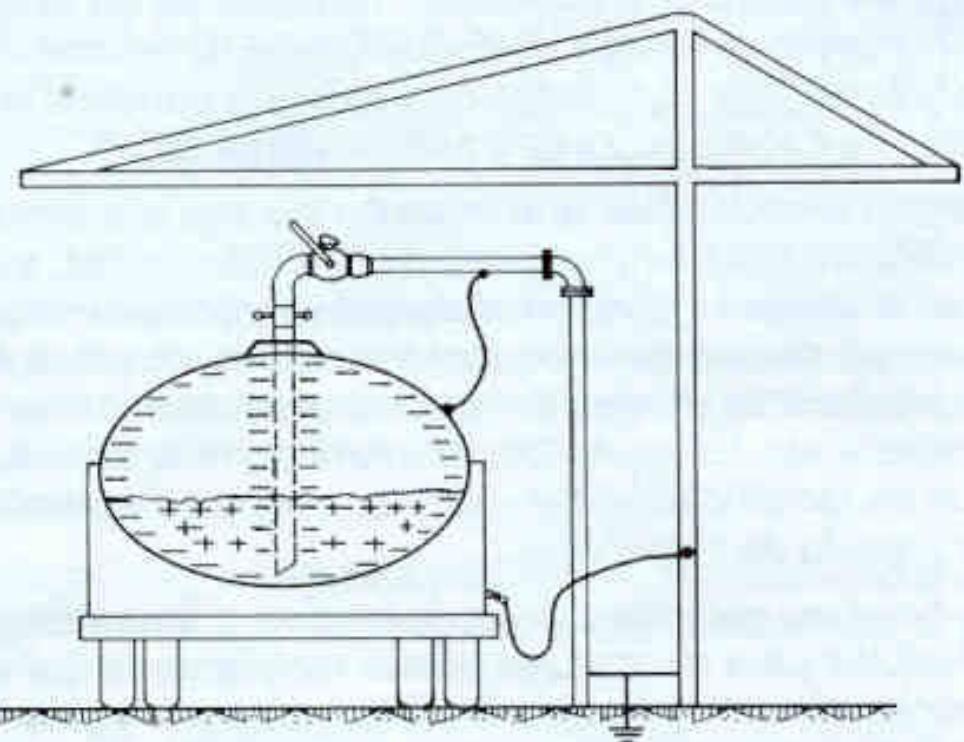
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



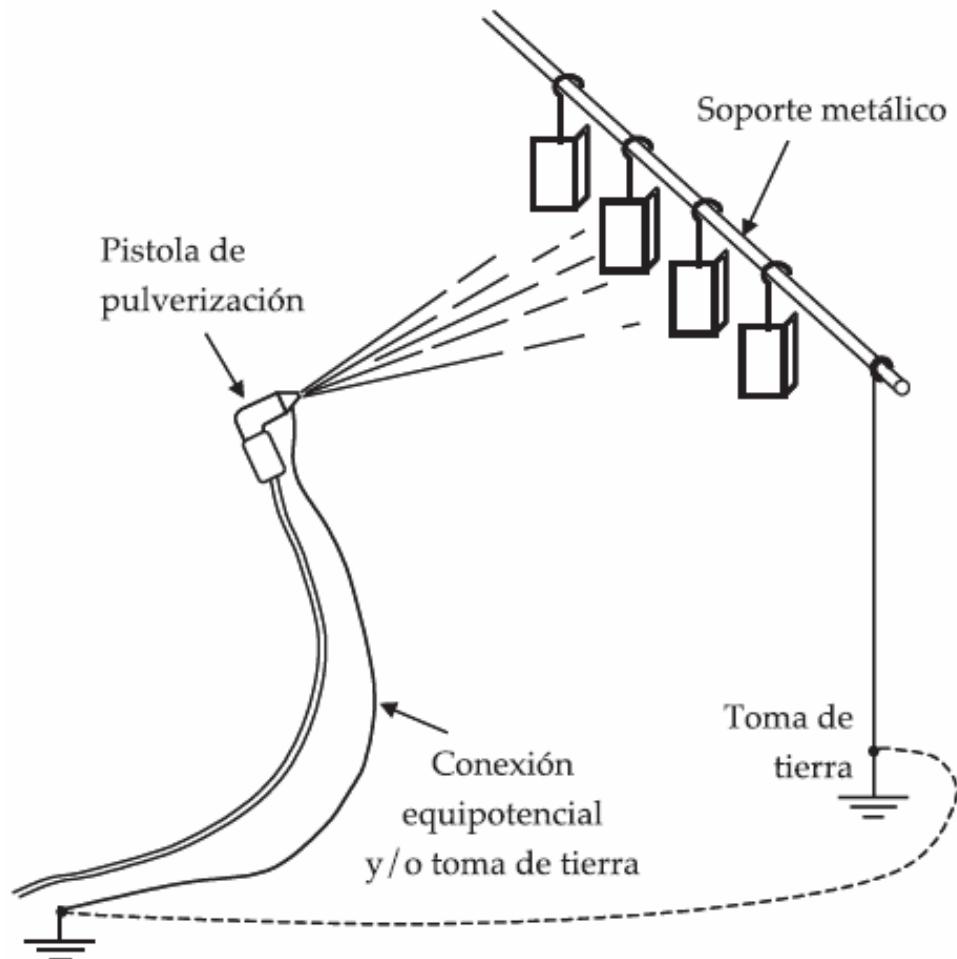
6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

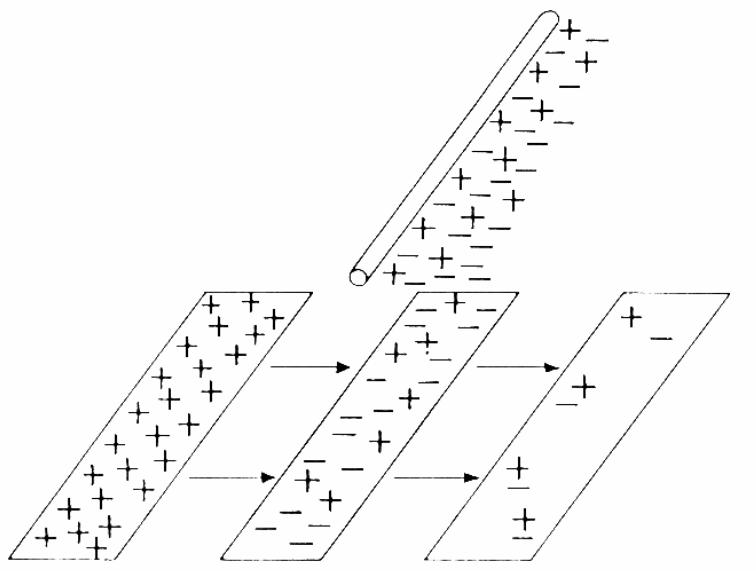


6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

Ionizadores de aire:



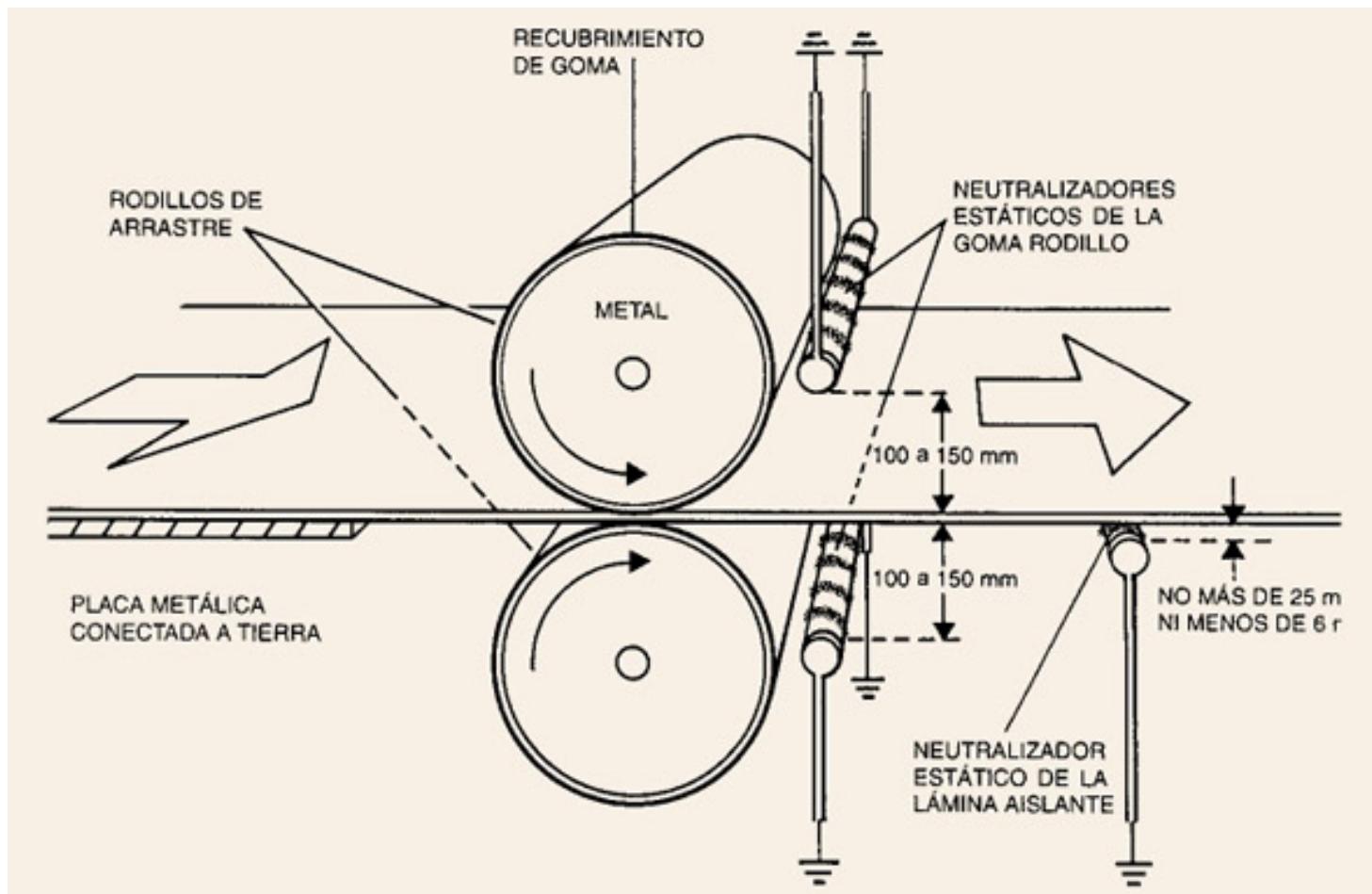
Radiaciones Ionizantes (rayos X, rayos α , β , γ)

Neutralizadores de electrodos a alta tensión

Neutralizadores de electrodos puntiagudos conectados a tierra

6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

Neutralizadores de electrodos puntiagudos conectados a tierra

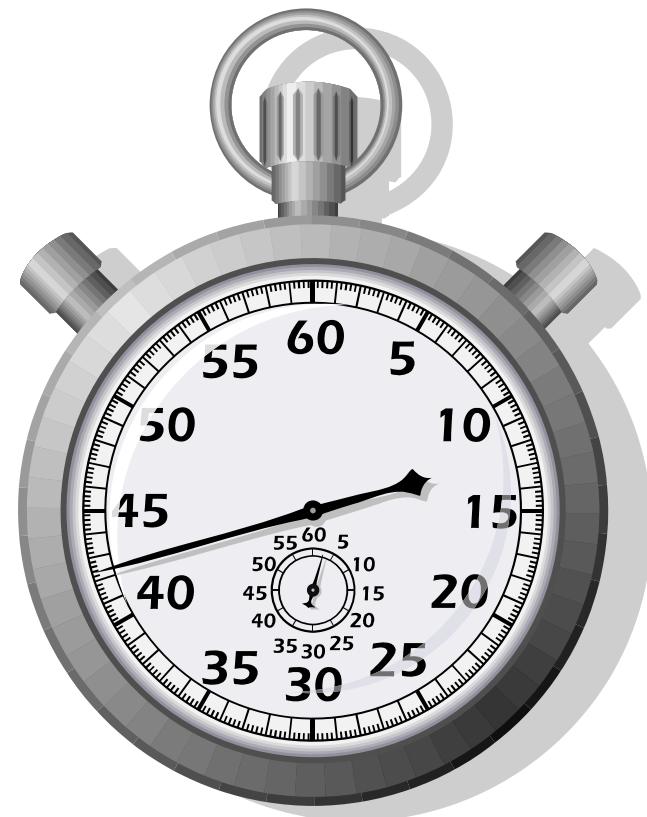


6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

Control de tiempos de relajación:

Líquidos inflamables conductores:
 $t \geq 30 \text{ s}$

Líquidos inflamables no conductores
($\rho \geq 10^{11} \Omega \cdot \text{cm.}$):
 $t \geq 1 \text{ min}$



6. ELECTRICIDAD ESTÁTICA: Medidas preventivas y de protección

| SUSTANCIAS | CONDUTIVIDAD (pS/m) | TIEMPO DE RELAJACIÓN (s) |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Parafinas | 10^{-2} – 10 | 2 – 2000 |
| Compuestos aromáticos | 10^{-1} – 50 | 0,4 – 200 |
| Gasolina | 10^{-1} – 10^2 | 0,2 – 200 |
| Gas-oil | 1 – 10^2 | 0,2 – 20 |
| Aceites lubricantes | 10^{-2} – 10^3 | 0,02 – 2000 |
| Éteres | 10^{-1} – 10^2 | 0,2 – 200 |
| Aceites con aditivos disipadores | 50 – 10^3 | 0,02 – 0,04 |
| Fuel óleos pesados | 50 – 10^5 | $2 \cdot 10^{-4}$ – 0,4 |
| Ésteres | 10^2 – 10^6 | $2 \cdot 10^{-5}$ – 0,2 |
| Crudo petrolífero | $\geq 10^3$ | $\leq 0,02$ |
| Alcoholes | 10^6 – 10^8 | $2 \cdot 10^{-7}$ – $2 \cdot 10^{-5}$ |
| Cetonas | 10^5 – 10^8 | $2 \cdot 10^{-7}$ – $2 \cdot 10^{-4}$ |
| Agua | $\geq 10^8$ | $\leq 2 \cdot 10^{-7}$ |

¡ MUCHAS GRACIAS !