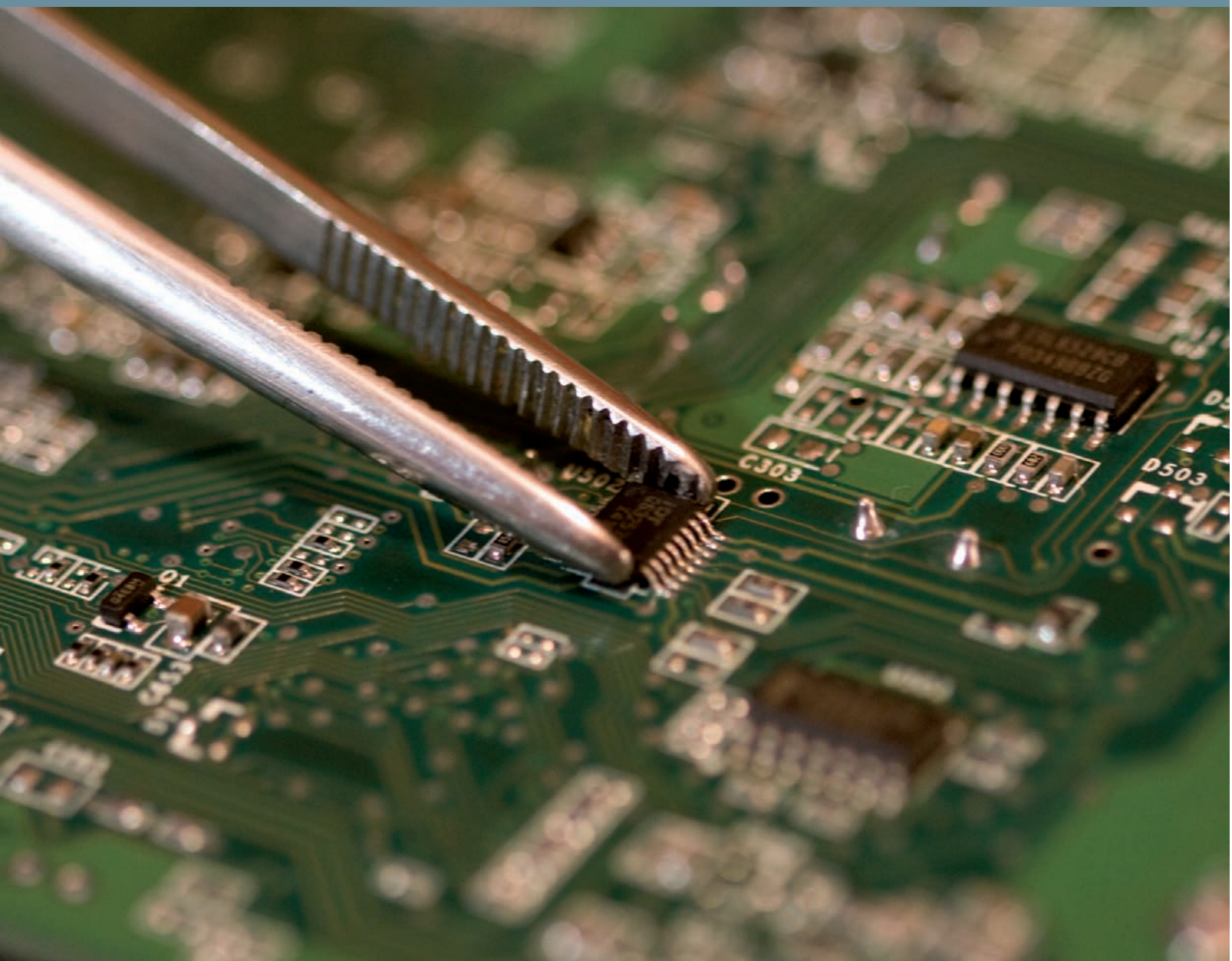


Prevención de riesgos industriales por descargas electrostáticas

JUAN MANUEL OLIVERAS SEVILLA



En la industria se conoce con la abreviatura ESD a las descargas electrostáticas siendo éstas las siglas del término anglosajón "Electrostatic Discharge", representantes del fenómeno que hace que circule una corriente eléctrica repentina y momentáneamente entre dos cuerpos de distinto potencial eléctrico. En general estas corrientes son indeseadas y causantes de posibles daños. El fenómeno tiene una importancia industrial considerable en cuanto a la seguridad y al daño a los productos manufacturados. La chispa producida en la descarga puede encender vapores inflamables. Aunque la carga sea pequeña, puede atraer partículas de polvo que se pegarán en superficies que industrialmente tienen que estar limpias. Además, el daño en la industria electrónica puede ser elevado, pues muchos circuitos y dispositivos electrónicos se destruyen accidentalmente por efectos ESD.

Los fenómenos ESD llevan asociados unos modos electrostáticos por los que se producen la carga y descarga electrostática.

Dos son los modos en los que se producen los fenómenos de carga y descarga electrostática: uno es por influencia y otro es por contacto.

Influencia

Por este concepto se entienden todos los fenómenos de carga y descarga en los que no se produce contacto físico entre los cuerpos, produciéndose a distancia fuentes y sumideros de electrones.

El fenómeno de influencia o inducción electrostática representa un gran problema para la ESD, pues puede ocurrir cuando un objeto cargado eléctricamente se pone cerca de un objeto conductor aislado de tierra, produciéndose zonas de cargas eléctricas distintas en su superficie, con zonas donde predomine la carga positiva y otras donde la predominante sea la carga negativa. Y a partir de esa situación la descarga puede ocurrir en el momento que se toque con un cuerpo derivado a tierra.

Varios son los parámetros que controlan el fenómeno de la influencia: resistencia de descarga, humedad del aire, afinidad electrónica, rugosidad de las superficies y velocidad de movimiento relativo entre las superficies.

Contacto

En este modo electrostático las cargas y descargas entre materiales se producen por contacto o frotamiento de sus superficies, fenómeno éste conocido como

efecto triboeléctrico, palabra que proviene del griego *tribein*, frotar.

Cuando ambos cuerpos se ponen en contacto, sus niveles de energía de Fermi tienden a igualarse, produciéndose un movimiento de electrones entre ambos dependiendo de la velocidad de separación de los cuerpos y de su conductividad, persistiendo en ellos una vez separados una carga residual.

La electricidad estática en su mayoría es triboelectricidad, es decir, electricidad producida por contacto, roce, frotadura o fricción. Su efecto es mayor cuanto más separados estén los cuerpos que se tocan en la llamada serie o secuencia triboeléctrica. Esta serie es una lista de materiales dispuestos en una tabla, en un orden determinado, de forma que frotando dos materiales cualesquiera de la serie triboeléctrica el que está en la posición más alta se cargará positivamente, mientras que el situado en la posición más baja se cargará negativamente. Igualmente, cuanto más separados estén los materiales en la tabla, más fuerte será la carga electrostática que adquieran. Sirva de ejemplo una secuencia triboeléctrica ordenada desde los más positivos a los más negativos:

Mayoría de carga positiva (+): piel humana, vidrio, cuarzo, mica, nailon, lana, plomo, seda, aluminio, algodón. *Carga nula:* madera, cera, metacrilato, resinas, cobre, plata, oro, gomas, poliéster, plástico de embalar, cinta aislante, PVC, silicio, teflón, silicona, ebonita. *Mayor carga negativa (-):*

Los modos electrostáticos los podemos comprender mejor si realizamos algún experimento con el electróforo ideado durante el siglo XVII por Johannes Wilcke y Alessandro Volta. Éste no es más que un disco metálico dotado de un mango aislante. Utilizaremos para nuestra experiencia uno realizado con un disco de aluminio además de distintos materiales como lana, una plaquita de PVC y un péndulo electrostático realizado con una bolita aislante recubierta con papel de aluminio, como muestra la *figura 1*.

Para experimentar con el electróforo, colocamos la placa de PVC sobre la mesa y frotamos bien su superficie con un trozo de lana. Por contacto, y según la serie triboeléctrica, la lana adquirirá una carga positiva mientras que la placa de PVC se cargará negativamente como muestra la *figura 2*.

Seguidamente, como queda reflejado en las *figuras 3 y 4* respectivamente, acercamos el electróforo a la plaquita de

PVC. Éste distribuirá su carga en sus superficies por influencia. A continuación, apoyamos el electróforo sobre el PVC, sujetándolo por el mango aislante. Con el electróforo sobre el PVC, se toca su superficie metálica con el dedo, permitiendo por contacto el paso de la carga eléctrica negativa del disco a nuestro cuerpo y a tierra. De este modo el electróforo quedará cargado positivamente.

En las anteriores condiciones acercamos el electróforo cargado positivamente hacia el péndulo electrostático, cuya bolita, por influencia, será atraída por la carga positiva del electróforo, hasta que toque el disco del electróforo cediéndole los electrones por contacto, y volviendo la bolita del péndulo a su posición inicial, como muestran las *figuras 5 y 6* respectivamente.

Tipos de materiales electrostáticos

Desde el punto de vista electrostático y según las definiciones de las normas DIN podemos clasificar a los materiales en:

Conductores electrostáticos. Son aquellos materiales con una resistencia superficial específica superior o igual a $1 \cdot 10^2 \Omega$ e inferior a $1 \cdot 10^5 \Omega$.

Disipadores electrostáticos. Se caracterizan por tener una resistencia superficial específica de valor superior o igual a $1 \cdot 10^3 \Omega$ e inferior a $1 \cdot 10^{11} \Omega$, y en los que su carga y descarga electrostática viene caracterizada por un tiempo.

Aislantes electrostáticos. Son materiales con una resistencia superficial mayor o igual a $1 \cdot 10^{11} \Omega$.

Podemos diferenciar dos tipos de tiempos: uno el ligado a descargas producidas por contacto con el potencial de tierra, y que está acotado para materiales con una resistencia superficial específica inferior a $1 \cdot 10^{10} \Omega$, y otro ligado con descargas producidas por recombinación con aire ionizado, efectuadas con materiales de resistencia superficial específica superior a $1 \cdot 10^{10} \Omega$.

Desde el punto de vista de evitar riesgos por ESD, podemos indicar que si el material tiene una resistencia superficial baja inferior a los 100Ω , existe un riesgo elevado de que se produzcan corrientes. Éste es el caso de los metales.

Si la resistencia superficial del material es mayor de $1 \cdot 10^{11} \Omega$, existe riesgo de que se generen elevadas tensiones como ocurre en los materiales plásticos. Por lo tanto, el tipo de material recomendado desde la necesidad de evitar riesgos por ESD serían aquellos cuya resistencia superficial fuese mayor de

RESUMEN

En la industria se conoce con la abreviatura ESD a las descargas electrostáticas, siendo éstas las siglas del término anglosajón *electrostatic discharge*, representantes del fenómeno que hace que circule una corriente eléctrica repentina y momentáneamente entre dos cuerpos de distinto potencial eléctrico. En general, estas corrientes son indeseadas y causantes de posibles daños. El fenómeno tiene una importancia industrial considerable en cuanto a la seguridad y al daño a los productos manufacturados.

$1 \cdot 10^5 \Omega$ y menor de $1 \cdot 10^9 \Omega$. Es decir:

$$1 \cdot 10^5 \Omega < \text{Resistencia superficial} \\ \text{óptima} < 1 \cdot 10^9 \Omega$$

Factores relacionados con fenómenos ESD

La resistencia superficial ligada a la humedad relativa del ambiente y el potencial electrostático generado dependiente también de la humedad relativa. Son factores íntimamente relacionados con los fenómenos ESD.

La resistencia superficial de los materiales depende de la humedad relativa de su entorno, apreciación que queda reflejada en el gráfico de la *figura 7*.

Se puede aumentar la conductividad superficial aumentando la humedad relativa. La máxima eficacia se consigue con una instalación de humidificación integrada en el sistema de aire acondicionado, con el objeto de que la humedad relativa tenga tiempo para aumentar.

El aire de la atmósfera se considera normalmente como una mezcla de aire seco y agua, de modo que a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de masa de aire seco se la denomina humedad absoluta, siendo la humedad relativa el cociente entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen. La humedad relativa se mide en tantos por ciento, estando normalizada, de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%. Una humedad relativa del 100% significa un entorno en el que no cabe más agua.

Si se mantiene la cantidad de agua del ambiente constante y se disminuye la temperatura, llega un momento en que se alcanza una humedad relativa del 100%. Por el contrario, si en un día de invierno nos encontramos a 0°C con un 50% de humedad relativa y pasamos a una habitación donde la temperatura es de 20°C , la humedad relativa desciende a un 15% según nomogramas higroscópicos. En estas condiciones de humedad relativa

baja, el potencial electrostático que se genere es alto como lo indica la gráfica de la *figura 8*, produciéndose fenómenos de carga electrostática con elevado voltaje y, como consecuencia, la producción de fenómenos ESD. Por tanto, los fenómenos ESD son más frecuentes en invierno, donde la humedad relativa del aire disminuye como consecuencia de un calentamiento local del aire.

En invierno, en los edificios, se produce una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. El sistema de climatización toma el aire del exterior y lo calienta, manteniéndose constante su contenido en agua, y disminuyendo la humedad relativa.

Un tratamiento superficial útil consiste en la aplicación de preparados, añadidos a detergentes, pinturas, lubricantes y otras sustancias con el objeto de aumentar la conductividad superficial y por tanto dotar a las superficies de un comportamiento antiestático. Un caso práctico consiste en el pintado y pulverizado de cintas, correas o suelos con una mezcla al 50% de agua y glicerina. Pero considerando que las capas higroscópicas conductoras creadas de esta forma al ser solubles en agua desaparecerán con el uso, hay que realizar tratamientos periódicos de mantenimiento, generalmente semanales.

Fenómenos ESD en el cuerpo humano

La mayoría de los casos de personas cargadas electrostáticamente se producen por influencia, si bien el origen puede ser producido por contacto al caminar sobre un suelo de moqueta o una alfombra, descender de un vehículo, quitar ciertos tipos de empaquetados de plástico, etc. Para su estudio podemos utilizar algún modelo desde el punto de vista electrostático:

Modelo HBM (Human Body Model)

Este modelo se utiliza para el estudio de las descargas electrostáticas producidas por el cuerpo humano, ya que represen-

tan un gran peligro para los dispositivos sensibles a las descargas electrostáticas o ESDSD (Electrostatic Discharge Sensitive Device), de modo que en zonas de trabajo con material electrónico tienen que estar controladas.

El modelo de una persona consiste en un conjunto RC en serie, como lo muestra la *figura 9*. El valor de la resistencia es de 1.500Ω aproximadamente, y el valor de la capacidad del orden de 100 pF .

Si la energía W viene expresada por:

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

para un potencial electrostático de 2.000 V adquirido por la persona tendremos

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} 100 \cdot 10^{-12} \cdot 2.000^2 = \\ = 200 \mu\text{J}$$

Una variante de este tipo es el modelo MM (Machina Model) utilizado para los HBM con 200 pF y 0Ω .

Modelo CDM (Charged Device Model)

Con este modelo se pueden abordar los problemas producidos por descargas de elementos cargados electrostáticamente, en particular en zonas pertenecientes a la industria electrónica. Un caso particular es el modelo FCDM (Field Induced Charged Device Model) utilizado en los casos problemáticos de CDM por carga en el seno de campos eléctricos.

Un chip utilizado en electrónica, como el mostrado en la *figura 10*, sufre su destrucción cuando se le aplica una energía electrostática de aproximadamente $5 \mu\text{Ws}$.

De modo que si de la expresión

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

despejamos la tensión U y nos queda:

$$U = \sqrt{(2 \cdot W / C)}$$

Aplicando el valor de energía antes indicado, y considerando que la capacidad del chip es proporcional a su número de patillas, es decir, un chip de 24 patillas tendrá una capacidad aproximada de 24 pF . De suerte que para este chip el potencial electrostático máximo que aguantará antes de su destrucción será:

$$U_{\text{chip de 24 patillas}} = \\ = \sqrt{(2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} / 24 \cdot 10^{-12})} \approx 650 \text{ V}$$

Se deduce fácilmente que cuanto mayor sea el número de patillas del chip menor será la tensión electrostática que soportará sin destruirse. Un modelo particularizado para este caso es el modelo

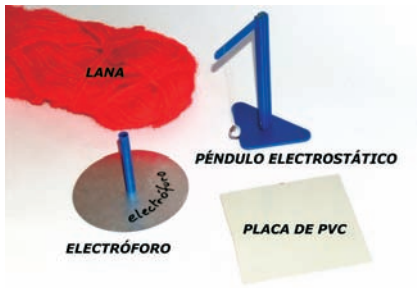


Figura 1. Elementos para experiencia electrostática.

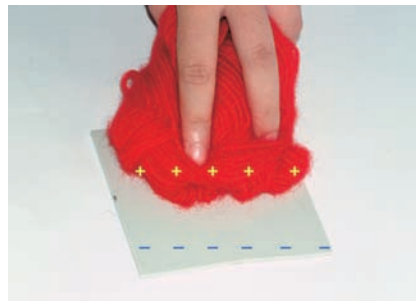


Figura 2. Frotamos enérgicamente.

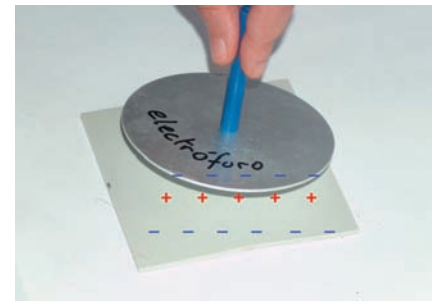


Figura 3. Acercamos el electróforo a la placa de PVC.

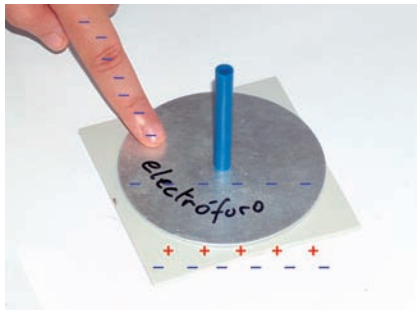


Figura 4. Tocamos la superficie con el dedo.

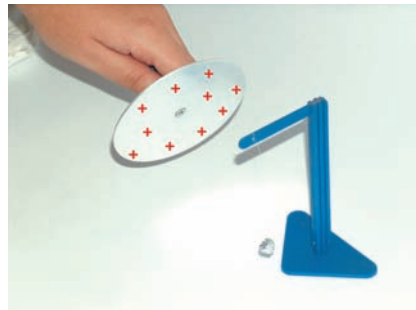


Figura 5. Acercamos el electróforo cargado al péndulo.

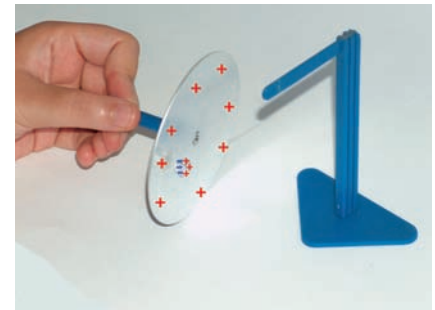


Figura 6. La bola del péndulo es atraída por el electróforo.

CCM (Charged Chip Model), muy útil para el estudio de los procesos de manipulación y montaje de los circuitos integrados, los llamados chips, en la industria electrónica.

En particular los circuitos integrados amplificadores de precisión para instrumentación pueden ser dañados por ESD, ya que unos cambios muy pequeños en los parámetros del dispositivo pueden provocar que esté fuera de las especificaciones dadas por el fabricante. Éstos son utilizados ampliamente en instrumentación médica, para amplificar

señales débiles en hospitales y centros de asistencia; en instrumentación industrial, en toma de datos, en amplificadores de señal de sensor tipo RTD y termopar, etc.

Modelo FIM (Field Induced Model)

Con este modelo podemos estudiar los fenómenos de carga en los ESDSD inmersos en un campo eléctrico, en los que predominará el fenómeno de la influencia.

En este entorno se cumple la relación:

$$\text{Potencial 1} / \text{Distancia 1} = \text{Potencial 2} / \text{Distancia 2}$$

Despejando queda

$$\text{Potencial 2} = (\text{Distancia 2} \cdot \text{Potencial 1}) / \text{Distancia 1}$$

Por lo que, si suponemos un potencial de 10.000 V aplicado entre 2 metros de separación con un chip situado en su interior con 5 milímetros de separación entre terminales, el potencial que hay entre dichos terminales, como conse-

Figura 7. Resistencia superficial en función de la humedad relativa.

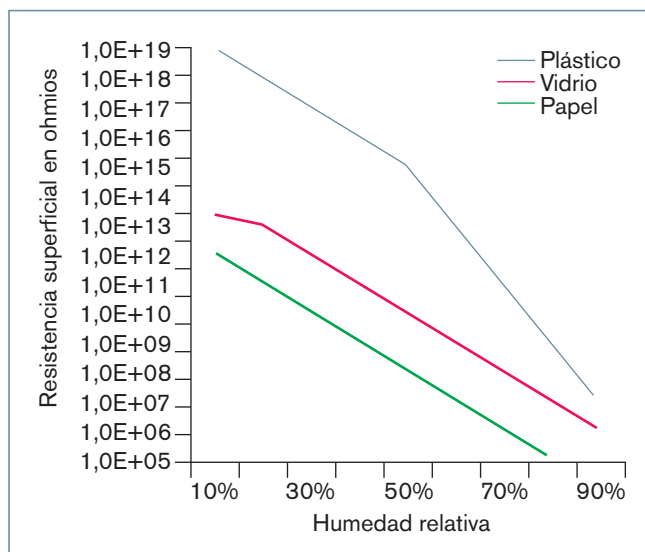
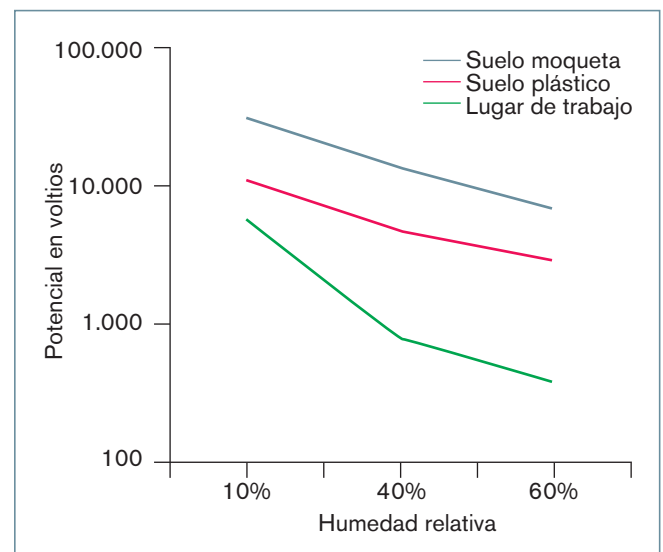


Figura 8. Potencial electrostático generado en función de la humedad relativa.



cuencia de estar dentro de dicho campo eléctrico será:

$$\text{Potencial 2} = (\text{Distancia 2} \cdot \text{Potencial 1}) / \text{Distancia 1} = 5 \cdot 10.000 / 2.000 = 25 \text{ V}$$

Elevados potenciales entre electrodos producen en un chip la destrucción térmica de sus uniones PN, o la perforación dieléctrica de las puertas en los dispositivos MOS, además de producirse en los chip de elevada densidad de integración el fundido de las metalizaciones de conexión para electrodos como consecuencia del paso de grandes cantidades de corriente de descarga electrostática.

Zonas EPA

Se conoce como zonas EPA aquellas áreas protegidas contra descargas electrostáticas (ESD Protected Area). El área de protección electrostática supone una prevención para la ESD, pudiendo ser una estación de trabajo pequeña o un área grande de fabricación. El objetivo a seguir en una EPA es el poner a tierra todos los materiales conductores además de poner a tierra a los trabajadores, evitando de esta forma la acumulación de carga al utilizar materiales conductores. Por tanto, el almacenamiento, transporte y manipulación deben realizarse empleando productos elaborados con materiales conductores.

Una buena opción son los sistemas de almacenaje fabricados en plástico conductor, que generalmente tienen un color negro gracias al aditivo conductor que poseen, el carbón black, compuesto éste que les dota de una resistividad superficial específica que favorece la deriva a tierra de las cargas electrostáticas.

En particular se deben seguir normas de puesta a tierra en aquellos trabajos que supongan un contacto con líquidos inflamables, como puedan ser el llenado de depósitos o bidones. En ellos todos los elementos susceptibles de cargarse elec-

trostáticamente y por ende de sufrir fenómenos ESD deben estar convenientemente puestos a potencial de tierra como muestran las *figuras 11* y *12* respectivamente.

En las figuras se muestran dos ejemplos de cómo debe realizarse un transvase de líquidos inflamables con el objeto de evitar que la electricidad estática pueda acumularse y descargarse instantáneamente en forma de chispa, provocando la ignición de una mezcla inflamable.

La conexión equipotencial entre diversos objetos evita la posible existencia de diferencias de potencial entre elementos conductores. La puesta a tierra se puede hacer directamente o a través de la conexión con otro elemento conectado a tierra. Las tuberías enterradas y los tanques de almacenamiento sobre el terreno se consideran puestos a tierra. Todas estas medidas son de aplicación en el transvase de líquidos inflamables. Si el suelo es conductor y los recipientes son metálicos, no se necesita un conductor especial de puesta a tierra, si bien no debe haber ningún tipo de pintura o recubrimiento aislante que corten la continuidad del camino de tierra. De lo contrario, se debe establecer las conexiones en metal a la vista y utilizar un cable de puesta a tierra conectado a una toma de tierra dispuesta para este fin.

Las pinzas de puesta a tierra han de ser robustas y deben incorporar dientes de perfil cónico para perforar o facilitar la erosión de la pintura y el óxido, siendo aptas para fijarse correctamente a extremos circulares y rectos. Al mismo tiempo, deberán estar fabricadas conforme a los criterios de los códigos de buenas prácticas para la eliminación de la electricidad estática. La pinza estará conectada con cable espiral retráctil de acero trenzado con recubrimiento aislante y longitud suficiente entre 3 y 6 metros. Los colores del cable serán tales que faciliten su visibilidad. Su peso, tamaño y configuración serán los prácticos para evitar

la presencia de cables colgando o distribuidos por el suelo del taller o planta industrial.

Las normas internacionales utilizadas para definir los EPA se pueden encontrar en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) o del American National Standards Institute (ANSI).

Daños directos, latentes y de setup por ESD

Cuando una persona siente un shock por electrostática está experimentando un potencial mínimo de 3.000 voltios.

Este "shock" es la manifestación de la ESD. Para potenciales menores de 3.000 voltios se está por debajo del umbral sensitivo del cuerpo humano. Pero aunque el hombre no los note, pueden ser un grave riesgo para ciertos dispositivos recientes de la tecnología electrónica.

Estos daños pueden tomar la forma de fallos de puesta en marcha y bloqueo del equipo. O fallos destructivos, los cuales pueden ocurrir de dos formas: directa o a largo plazo.

Los fallos directos ocurren cuando el componente dañado nunca volverá a funcionar. Este tipo de fallo se podrá detectar durante las pruebas de calidad del equipo.

El daño a largo plazo implica que el componente va a funcionar correctamente durante un tiempo, que en la mayoría de los casos comprenderá las pruebas de calidad del equipo. Esto determinará que los daños sufridos por ESD no sean detectados hasta más tarde cuando el equipo esté en manos del cliente, siendo difíciles de reparar y produciendo costes elevados. Podemos, por tanto, calificarlos de daños ESD latentes.

Los fallos de puesta en marcha y bloqueo del equipo ocurren cuando una descarga electrostática produce una pérdida de *software* o un incorrecto almacenaje de la información, sin producir una rotura total del dispositivo. Estos fallos, que podríamos calificar de setup, son conjuntamente con los daños latentes por ESD imposibles de detectar por medio de los programas normales de control de calidad del producto.

Elementos para prevenir la ESD

Para paliar los efectos electrostáticos se utilizan elementos conductores como:

1. Conjunto de cables y muñequeras ESD, como el mostrado en la *figura 13*.
2. Taloneras de puesta a tierra con o sin resistencia de 1 MΩ, que permitan,

Tabla 1. Efectos de la corriente en los humanos.

Efectos de la corriente en los humanos	Corriente alterna a 50 Hz mA	Corriente continua mA
Percepción	de 0 a 1	de 0 a 4
Sorpresa	de 1 a 4	de 4 a 15
Acción refleja	de 4 a 21	de 15 a 80
Inhibición muscular	de 21 a 100	de 80 a 160
Bloqueo de la respiración	de 40 a 100	de 160 a 300
Daño generalmente mortal	más de 100	más de 300



Figura 9. Modelo humano electrostático tocando un chip.

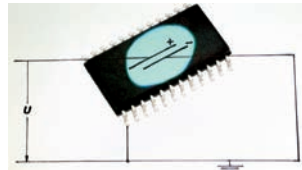


Figura 10. Modelo CCM para un chip electrónico.

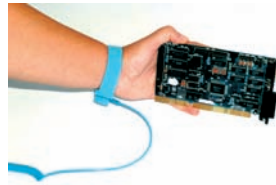


Figura 13. Empleo de una muñequera electrostática.



Figura 11. Llenado de bidón metálico sobre palet aislante.



Figura 12. Paso de bidón metálico a bidón de plástico.

junto con un pavimento electrostático, evitar que el personal se cargue y sufra o provoque calambres desagradables y peligrosos. Su fijación debe ser elástica, de forma que flexione al andar con goma de alta duración, capaz de ofrecer una completa y rápida disipación electrostática. Además, su color debe ser llamativo para que se pueda ver con facilidad si se llevan puestas.

3. Cubrecalzado de seguridad antiestática, cuya misión es la de evitar la introducción en zonas limpias de suciedad que pueda estar presente en el calzado del personal. Deben ser disipativos electrostáticos, cuando se utilice calzado y pavimento conductivos desde el punto de vista electrostático, con el objeto de mantener la puesta a tierra del personal en todo momento.

4. Esteras antiestáticas y juegos de alfombrillas para bancos y suelos conectadas debidamente a tierra.

Si una persona se pone en contacto con un voltaje alterno de 250 voltios poseyendo una muñequera ESD o cualquier otro mecanismo de puesta a tierra con una resistencia de $1\text{ M}\Omega$, la corriente que pasará a su través hacia tierra estará limitada a $250\text{ }\mu\text{A}$, pues según la ley de Ohm:

$$V = I \cdot R$$

Por lo que

$$I = V/R = 250\text{ V} / 1.000.000\text{ }\Omega = 0,00025\text{ A} = 250\text{ }\mu\text{A}$$

Éste nivel de corriente estaría dentro del nivel de simple percepción como muestra la *tabla 1*, conforme a lo expuesto en las normas MIL-STD-454.

Empero, si se trabaja con voltajes superiores a 250 voltios en alterna o 500

voltios en continua, no se aconseja utilizar técnicas de puesta a tierra de personas mediante muñequeras o elementos similares según las normas CECC (Cenelec Electronic Components Comité), pues éstas, como mucho, incluyen una resistencia de carbón de $1\text{ M}\Omega$ y de $1/4$ de vatio. Para una protección similar trabajando, por ejemplo, con un alto voltaje de 20 kV en alterna, haría falta disponer de una resistencia en serie con la toma de tierra de por lo menos $80\text{ M}\Omega$. Por tanto, para trabajos en alta tensión sería necesario por motivos de seguridad rediseñar la estación de trabajo utilizando técnicas de ionización para neutralizar las cargas electrostáticas.

Con la ionización del aire éste se hace suficientemente conductor para poder disipar las cargas electrostáticas. Los dispositivos empleados reciben el nombre de ionizadores, neutralizadores o eliminadores de carga electrostática.

La ionización es una reacción físico-química, con la que conseguimos que el aire sea lo suficientemente conductor como para poder disipar la carga electrostática.

Como la electricidad estática no se puede eliminar totalmente, la expresión más correcta para los ionizadores es "neutralizadores de estática". Estos neutralizadores producen tanto iones positivos como negativos, que neutralizarán al material cargado. Empero, no eliminarán la carga estática, pues si el material es friccionado de nuevo después de su neutralización la carga electrostática se regenerará.

La mayoría de los neutralizadores electrónicos disponibles en el mercado constan de una aguja conectada a alto voltaje alterno, dispuesta muy próxima a una cavidad conectada a tierra, de modo que

el aire entre ellos se descompone en iones tanto positivos como negativos al paso de la corriente alterna de alto voltaje.

Cuando el material a neutralizar esté cargado positivamente, atraerá los iones negativos generados por el neutralizador. Por el contrario, si el material está cargado negativamente, atraerá los iones positivos generados por el neutralizador. En ambos casos, al obtenerse la neutralización del material, éste dejará de atraer nuevos iones.

Bibliografía

Seminarios ESD. Elektrostatik Institut Berlin GmbH. Measure et élimination de l'électricité. Statique nuisible. Paris, Éditions Eyrolles.
Electrostatic Hazards in Powder Handling Chichester, Inglaterra, John Wiley & Sons.
www.eib-gmbh.de
Chemsafe-Datenbank, http://www.dechema.de

AUTOR

Juan Manuel Oliveras Sevilla

Ingeniero técnico en Electricidad con intensificación en Electrónica por la Escuela Politécnica de Cartagena. Técnico superior en prevención de riesgos laborales por ENAE. Desde 1982 trabaja como técnico en la empresa Navantia, antigua Bazán, de construcciones navales.