

**SIMCOION**<sup>TM</sup>

An ITW Company

Líderes mundiales en **control de estática**

M E D I C A L

# Aire ionizado

**Teoría y práctica para  
la manufactura en la industria de  
ciencias vivas y dispositivos médicos**

*Control de contaminación de partículas y estática mediante la tecnología de ionización*



# Panorama general

Cualquier persona que haya caminado sobre una alfombra y luego haya tocado la perilla de una puerta ha sentido los efectos de la electricidad estática. Es posible que el golpe que la persona recibió en el cuerpo a través de la perilla de la puerta haya sido de unos 5,000 voltios, con capacidad de derretir las vías conductivas de muchos microcomponentes, como los de su teléfono inteligente.

La carga estática puede interferir con el manejo de materiales y componentes en las herramientas automatizadas y provocar fricción estática y atascamiento. La pérdida de producción, el retrabajo de producto o la devolución de productos a causa de la contaminación por electrostática y sus efectos en la calidad van más allá de los costos de reelaboración y pérdida de rentabilidad e implican el rechazo del producto contaminado por parte del cliente o del mercado.

En el caso de los dispositivos electrónicos médicos, la descarga electrostática (ESD) puede dañar fácilmente los componentes electrónicos sensibles de varias formas. Además, la carga electrostática (ESC) atrae partículas suspendidas en el aire a las superficies del producto, como catéteres y jeringas.

La electricidad estática afecta la productividad y la calidad del producto, lo que reduce la rentabilidad. A lo largo del ciclo que comienza con el componente y finaliza con el producto terminado, la posibilidad de que ocurran daños a causa de las descargas electrostáticas (ESD), la atracción de partículas por estática (ESA) o problemas de manejo del producto siempre está presente. El costo de estos problemas aumenta a medida que un producto avanza a través de su ciclo de fabricación. Para los productos médicos electrónicos, como los marcapasos y los equipos de diagnóstico, el daño de los componentes que no se detecte durante las pruebas de producción podría causar fallas en el campo, donde la confiabilidad y la seguridad del paciente son factores mucho más cruciales.

La carga electrostática puede reducirse considerablemente, mitigarse y controlarse para resolver los problemas de contaminación por partículas de sus productos y los efectos de la ESD en los componentes electrónicos médicos. El objetivo de este folleto es explicar la forma en que puede lograrse este control.

El control de la electrostática y partículas para la fabricación en la industria de las ciencias para la vida ofrece un panorama general sobre la electricidad estática: qué es, la forma y el motivo por el que constituye un problema, las medidas que pueden tomarse para contrarrestar sus efectos y, por último, un análisis del motivo por el cual la ionización del aire debe incluirse en cualquier programa eficaz para el control de la carga estática, la ESD y la contaminación por partículas en el lugar de trabajo.



# Electrostática

## Problemas a causa de la carga estática

- Contaminación a causa de la atracción electrostática (ESA) y unión de partículas a las superficies cargadas
- Destrucción de dispositivos sensibles a causa de una descarga electrostática (ESD)
- Bloqueo e inestabilidad de los equipos a causa de interferencia electrostática
- Problemas de flujo o fabricación de productos a causa de la carga estática

La electrostática es un fenómeno conocido, pero a menudo malinterpretado que se relaciona con la carga eléctrica estacionaria. Las leyes de la naturaleza intentan mantener un equilibrio entre la carga positiva y negativa, y lo ideal sería que los objetos se mantuvieran neutrales, es decir, sin carga neta. La carga estática ocurre cuando las moléculas en la superficie de un objeto se cargan o se polarizan. La carga puede ser tanto negativa como positiva, lo cual depende de si los átomos que componen la superficie cargada tienen un exceso o una deficiencia de electrones.

Los materiales que se caracterizan por su capacidad de permitir el movimiento de una carga eléctrica se conocen comúnmente como materiales conductores o disipadores de electrostática. Por otro lado, los materiales aislantes o no conductores no permiten el movimiento de una carga eléctrica. El agua corriente y la mayoría de los metales son excelentes conductores de electricidad, mientras que la mayoría de los tipos de hule, plástico, Delrin, Teflon™ y vidrio son ejemplos de materiales no conductores. Cualquier tipo de material puede cargarse con electrostática. Las maneras más comunes de generar electrostática son la carga por inducción y por efecto triboeléctrico.

## Carga por inducción

La carga inductiva ocurre cuando un objeto cargado crea un campo electrostático estacionario. Es difícil cargar materiales no conductores por inducción. Sin embargo, cuando se conecta a tierra un objeto conductor en el campo, se genera una carga estática de polaridad opuesta a la del campo sin que se haya tocado el objeto cargado originalmente.

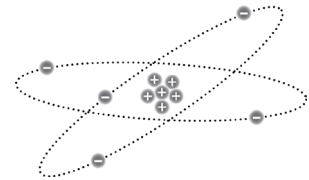
El campo electrostático del objeto original atrae (o induce) una carga de polaridad opuesta a la superficie del nuevo objeto colocado dentro del campo. Si a ese objeto se lo aísla de tierra y se lo retira del campo, este conservará una carga electrostática.

## Carga por fricción o efecto triboeléctrico

La fricción es el principal medio para generar electrostática. Siempre que se separan dos superficies en contacto, una de las superficies pierde electrones y se genera en ella una carga positiva, mientras que la otra superficie gana los mismos electrones y se genera en ella una carga negativa. La carga total de los dos materiales sigue siendo la misma e incluso podría ser cero. Sin embargo, después de la separación, cada superficie conserva su carga positiva o negativa, salvo que la superficie sea conductora y se proporcione una conexión a tierra.

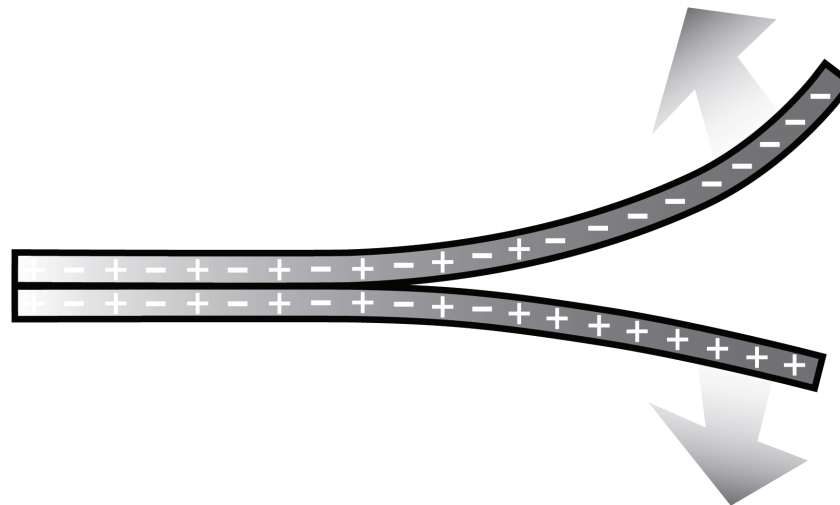
Cualquier material (sólido, gaseoso o líquido), sea conductor o no conductor, puede cargarse por efecto triboeléctrico. La magnitud y la polaridad de la carga dependen de las características de los dos materiales y están afectadas por varios factores. Los factores incluyen la condición de la superficie, el tamaño del área que se frota o separa, la presión entre las superficies y la velocidad de separación o frotamiento. En general, las superficies más lisas, las superficies más grandes y la mayor velocidad o presión entre las superficies generan mayores niveles de carga electrostática.

*La carga por efecto triboeléctrico ocurre cuando los electrones salen de su órbita a causa de frotamiento u otras fuerzas físicas y se mueven de la superficie de un material a la de otro.*



### Carga por efecto triboeléctrico

*Siempre que se separan dos superficies en contacto, una de las superficies pierde electrones y se genera en ella una carga positiva. La otra superficie gana electrones y adquiere una carga negativa.*





## Secuencia de efecto triboeléctrico

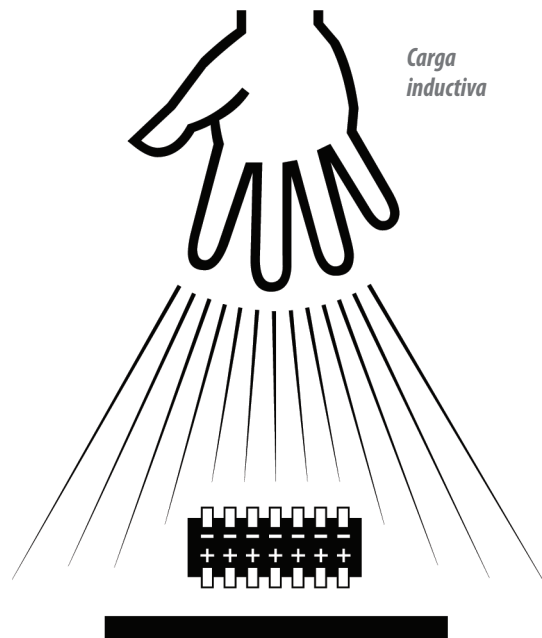
Positivo

- Aire
- Manos humanas
- Agua
- Vidrio
- Mica
- Cabello humano
- Nylon
- Lana
- Plomo
- Aluminio
- Papel
- Algodón
- Acero
- Madera
- Hule duro
- Níquel y cobre
- Latón y plata
- Oro y platino
- Rayón acetato
- Poliéster
- Poliuretano
- Polietileno
- PVC (vinilo)
- Silicio
- Teflon™

Negativo

La secuencia de efecto triboeléctrico, que se detalla en el cuadro a la izquierda, es una clasificación de materiales ordenados según la probabilidad de que se carguen positiva o negativamente. Si dos materiales se frotan entre sí, aquel que figura primero en la lista tenderá a cargarse positivamente, mientras que el que figura después tenderá a tomar una carga negativa. Cuanto mejor sea el material aislante, más fácil será que se cargue por fricción. Los materiales no conductores, como el Plexiglas™ o el Teflon™, se cargan fácilmente y pueden generar cantidades grandes de carga estática, a veces, de más de 25,000V.

Un material aislante puede cargarse por efecto triboeléctrico debido al contacto y a la separación con un material conductor, incluso si dicho material conductor está conectado a tierra. El material conductor, si está aislado de tierra, puede cargarse por la separación del material no conductor.



*La carga inductiva ocurre cuando un objeto cargado crea un campo electrostático estacionario. Si coloca un objeto conductor dentro del campo, tomará una carga estática sin haber tocado el objeto cargado original.*

## ¿Por qué la carga estática es un problema?

Cualquier cosa, sea lo que sea, incluido el movimiento de personas, las partes móviles de una máquina y el flujo de líquidos, puede generar una carga estática. Si la electricidad estática está presente en todos lados, ¿por qué es un problema tan grande?

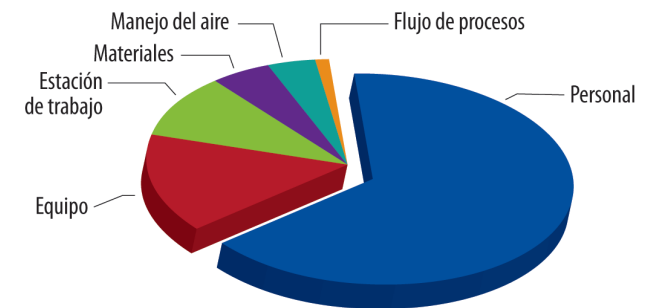
Cuando se acumula una carga estática en un producto sensible, una superficie de trabajo, un equipo o una persona, el resultado puede ser destructivo. Se contaminarán los productos, los procesos podrían degradarse, y podría ocurrir una larga lista de otros problemas, en ocasiones, misteriosos.

### Contaminación por partículas

Un cuarto limpio no es completamente lo que su nombre implica. Un cuarto limpio es un área de trabajo en el que se eliminan las partículas y las moléculas de aire ionizadas del aire a medida que ingresa al cuarto a través de sistemas de filtrado de aire de alta eficiencia. Sin embargo, en un cuarto limpio también hay personas, máquinas y varios tipos de equipos de procesamiento, cada uno de los cuales contribuye a la contaminación del ambiente.

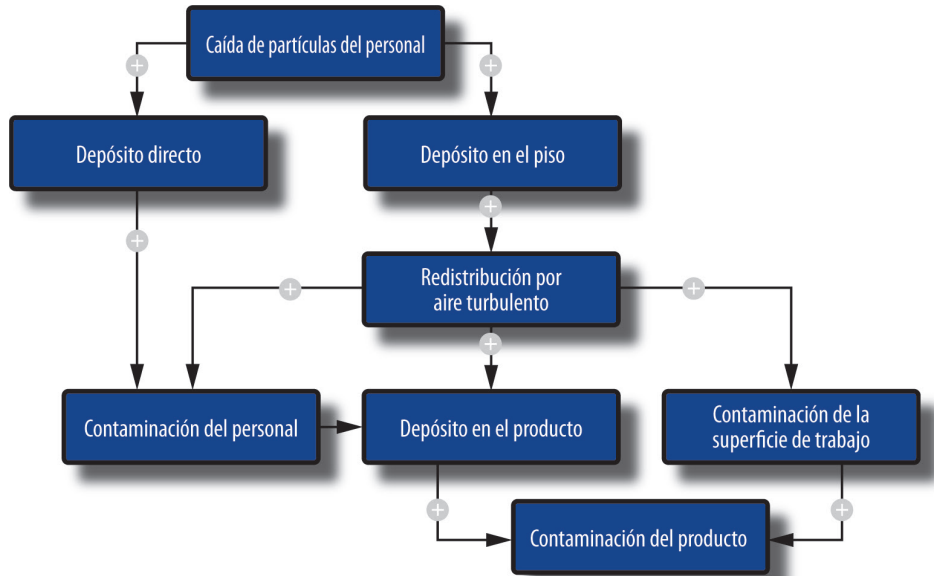
Los materiales que suelen usarse en cuartos limpios de la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos —plásticos, guantes, cerámica, vidrio y silicona— son buenos aislantes y se cargan fácilmente. Los iones de aire presentes en el aire suelen filtrarse de manera similar a las partículas pequeñas en los sistemas de filtrado de aire de los cuartos limpios, proceso mediante el cual pierden sus cualidades disipadoras de la electricidad estática. Por lo tanto, los cuartos limpios modernos propician altos niveles de carga estática que permanecen en los objetos durante mucho tiempo. Debido a la naturaleza inherente de los cuartos limpios y a la necesidad de que los productos estén lo más limpios posible, resulta difícil aplicar medidas antiestáticas, ya que la mayoría de los tratamientos superficiales y muchos materiales disipadores de la electricidad estática no son de grado médico ni compatibles con productos médicos.

Porcentaje de distribución de fuentes de contaminación en un cuarto limpio



Fuente: *Managing Particulates in Cell Therapy: Guidance for best practice, Cytotherapy, 2016, Clark et al.*

En la mayoría de las operaciones de los cuartos limpios, la principal fuente de contaminación es el personal. El personal que ingresa del exterior al cuarto limpio introduce una enorme cantidad de partículas en el proceso de fabricación. Además de la considerable variedad de partículas que los seres humanos generan en forma natural (entre otras, la caída de piel y cabello), la ropa de calle trae fibras que se transfieren a los overoles y las batas que se usan en el cuarto limpio. Las muestras de partículas del piso lo ilustran drásticamente. En el siguiente diagrama, se ilustra el modelo básico para esta vía de contaminación en la fabricación.



A fines de la década de 1980 y principios de la década de 1990, importantes investigadores de semiconductores realizaron investigaciones considerables en relación con el fenómeno de la atracción de partículas a superficies cargadas. Si bien a primera vista no parecería que esto estuviera relacionado con las aplicaciones de la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos, los datos y los principios pueden aplicarse a cualquier entorno limpio.

En la reunión técnica del Instituto de Ciencias Ambientales (Institute of Environmental Sciences, IES) llevada a cabo en 1991, Roger Welker de IBM, San José, llegó a la conclusión de que “el uso de iones de aire permite reducir considerablemente las tasas de contaminación de las superficies en comparación con condiciones de prueba idénticas sin iones de aire”. En el cuarto limpio en la que se realizaron las pruebas, el recuento de partículas en el aire de fondo era bastante bajo, de solo 2.0 partículas de 0.5 µm y de mayor tamaño por pie cúbico.

En un informe publicado por Masanori Inoue (“Depósito de aerosol sobre oblea” [Aerosol Deposition on Wafer], Inoue, et al., 1988) y presentado en la reunión técnica del IES en 1988, Inoue demostró que **la carga electrostática en un cuarto limpio es el factor más importante que causa la contaminación de las superficies** con partículas de aproximadamente 0.3 micrones. Además, con sus condiciones de prueba, observó que **la carga electrostática era un factor 1000 veces más importante que la difusión o la gravedad como causa del depósito de partículas en las superficies.**

Un estudio de D.W. Cooper, “Depósito de partículas de aerosol submicrónicas durante la fabricación de circuitos integrados: experimentos” (Deposition of Submicron Aerosol Particles During Integrated Circuit Manufacturing: Experiments) (Cooper et al., 1988), respalda la observación de Inoue.

Cooper revisó experimentos en los que las obleas tendían a cargarse en un cuarto limpio de operaciones y determinó que los efectos electrostáticos pueden ser el mecanismo predominante de depósito de partículas con un diámetro de 0.1 a 1.0 micrones.

En otro informe de Michael Yost, “Atracción electrostática y control de partículas” (Electrostatic Attraction and Particle Control) (Yost et al., 1986), se exploran los aspectos físicos de la atracción. Las fuerzas electrostáticas que mantienen una partícula adherida a una superficie cargada son muy intensas cuando se las compara con la gravedad o con fuerzas aerodinámicas como un chorro de aire. Los resultados demuestran claramente que **la carga estática encontrada en el cuarto limpio hace que las superficies se contaminen y que sea difícil limpiarlas.** En un informe relacionado con equipos de Long, Peterman y Levit (Long et al., 2006), se demostró que al eliminar la carga estática de las superficies, mejoró considerablemente la eficacia de la limpieza de esas superficies.

## Atracción electrostática (ESA)

Si se carga la superficie de un producto crucial, tal como suele ocurrir durante el proceso de producción, y si no se elimina la carga, la superficie atrae las partículas suspendidas en el aire del cuarto limpio. Independientemente del sistema de filtrado, el personal, las máquinas y los procesos pueden introducir partículas en el aire. La ESA que afecta a estas partículas es sorprendentemente intensa. Una vez que las partículas se adhieren a una superficie cargada, es muy difícil eliminar la contaminación. El flujo de aire en el cuarto limpio no tendrá suficiente fuerza para eliminarla. La contaminación de esta naturaleza es el principal factor que contribuye con la contaminación y el rechazo de los productos en la fabricación de productos para la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos.



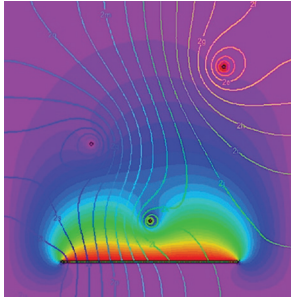
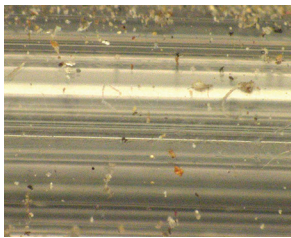
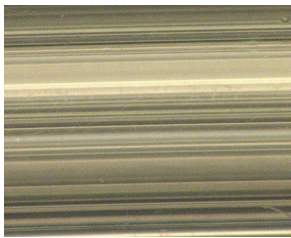


Diagrama de atracción electrostática (ESA) entre superficie cargada y partícula cargada.



Fotografía de un catéter cargado después de la exposición cerca de una superficie con contaminación por partículas en un cuarto limpio.



Fotografía de un catéter no cargado expuesto cerca de una superficie del cuarto limpio durante cinco minutos.

Las partículas suspendidas en el aire se cargan a través de las constantes colisiones con otras partículas y objetos en el cuarto limpio. En cada colisión, se intercambian electrones, lo que crea partículas con cargas electrostáticas positivas o negativas. Cuanto más grande es la partícula, mayores son el intercambio de electrones y la carga.

En el gráfico de la izquierda, se ilustra la estructura del campo electrostático que crea la fuerza de atracción entre las partículas cargadas y la superficie cargada de un producto. Las partículas pueden moverse a altas velocidades y adherirse con energías de enlace elevadas, motivo por el cual resulta difícil eliminarlas. De hecho, las partículas que se encuentran en el extremo inferior del rango de tamaño visual no suelen poder eliminarse sin primero eliminar las fuerzas electrostáticas que las unen.

Las fotografías de la izquierda muestran un material de catéter común expuesto a un ambiente de cuarto limpio normal. En la fotografía de arriba, se muestra un catéter que tiene una carga típica, mientras que en la fotografía de abajo, se muestra un catéter en el mismo ambiente, pero con ionización en el cuarto limpio.

## Descarga electrostática (ESD)

Gracias a las décadas de trabajo en las industrias de electrónica de alta tecnología, es sabido que la ESD provoca fallas en los dispositivos electrónicos durante los procesos de producción, prueba y empaque. En el caso de los productos de dispositivos médicos con componentes electrónicos cruciales, los daños que ocurren a causa de las fuerzas electrostáticas durante la fabricación pueden introducir errores de metrología y errores latentes por los que los dispositivos fallan una vez que el cliente los usa. Debido a que son muchos los productos nuevos que usan componentes electrónicos sensibles con sensores activos, la posibilidad de que ocurran fallas latentes es cada vez mayor. A medida que se reducen cada vez más las dimensiones críticas y las tolerancias de los componentes y los circuitos, estos se tornan menos tolerantes a la ESD. En circuitos diseñados para funcionar con voltajes cada vez más bajos, niveles ínfimos de carga pueden provocar daños en un dispositivo o pueden destruirlo.

### Niveles de carga típicos que se encuentran en el cuarto limpio

Muchos objetos comunes del cuarto limpio pueden contener niveles altamente destructivos de carga electrostática.

Catéteres	5-25 kV
Jeringas	2-15 kV
Bobinas de películas	10-30 kV
Mangueras	3-15 kV
Protectores de herramientas	4-18 kV

Cuando se analizan los dispositivos con fallas bajo un microscopio de barrido electrónico (SEM), se pueden observar los efectos catastróficos de la ESD. Los cortocircuitos a causa de fallas por óxido y líneas metálicas vaporizadas son solo dos de los efectos observados.

En estudios recientes, se ha demostrado que la descarga estática puede ocasionar problemas incluso más graves que el de la disminución del rendimiento general. La degradación del dispositivo a causa de la descarga estática podría no detectarse en la prueba de los componentes. Si un dispositivo falla más adelante en un conjunto, se generan costos adicionales de reelaboración o reemplazo.

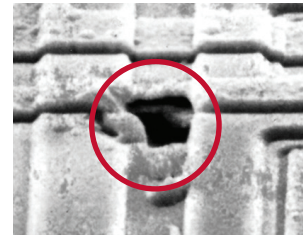
Pero cuando un dispositivo falla en el campo, el costo de reparación o reemplazo puede ser 100 veces mayor que si se lo hubiera detectado durante la fabricación. Según los cálculos de la industria, por cada defecto relacionado con la ESD que se encuentra durante la fabricación, ocurren entre dos y cinco fallas adicionales en el campo. La ESD no solo cuesta millones de dólares en tiempo de inactividad y pérdida de productos, sino que reduce la valiosa confianza del usuario. En el peor de los casos, la falla de un dispositivo crucial en una aplicación médica podría ser fatal.

## Manejo de materiales

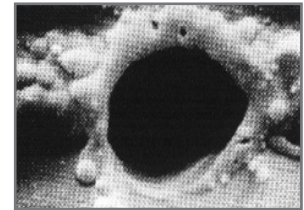
La carga estática ocasiona dificultades en el manejo de innumerables materiales y puede crear problemas en las herramientas de alimentación para el ensamblaje del producto y herramientas con bobina que fabrican productos médicos en láminas. Los componentes con carga electrostática en los alimentadores de cubeta pueden generar problemas de fricción estática a medida que las piezas se mueven a los puntos de ensamblaje en las herramientas.

Los materiales delgados que se procesan en láminas o en bobinas y que se mueven sobre superficies pueden crear altos niveles de carga electrostática. Por ejemplo, el filamento plástico que se utiliza en los productos quirúrgicos es susceptible a lo que suele conocerse como "adherencia estática". A modo de ejemplo, las herramientas de ensamblaje de productos médicos que tienen alimentadores de cubeta también son susceptibles al atascamiento a causa de la acumulación de cargas electrostáticas.

Además, las cargas electrostáticas extremadamente altas que suelen asociarse con las herramientas de procesamiento con bobina generan niveles proporcionalmente altos de contaminación por atracción del área circundante. Donde haya bobinas de láminas muy cerca del piso debajo de las herramientas, la contaminación visible del piso podría adherirse a las láminas.



200 veces de aumento



5000 veces de aumento

### Daños a causa de la ESD

Una sola descarga electrostática puede provocar daños graves en los dispositivos electrónicos médicos sensibles durante el proceso de fabricación. El círculo rojo en la fotografía de arriba muestra el sitio del daño por ESD en un semiconductor. En la segunda fotografía, se brinda una vista detallada del puente metálico que se ha formado entre las dos líneas metálicas a causa de la descarga electrostática.

Fotografías del SEM cortesía de 3M.



## Vestidores

Los vestidores son el principal punto de ingreso de la contaminación en los cuartos limpios. El personal trae la contaminación del exterior al cuarto limpio, que luego se distribuye por toda la instalación de producción y se deposita en el producto expuesto. La transferencia ocurre a través de la atracción estática entre la ropa de calle y las batas u overoles cuando las prendas contaminadas están cerca de las batas. A través de un sistema adecuado de ionización en el área de los vestidores, se pueden eliminar más de 1 millón de partículas de 0.5 µm y de mayor tamaño, partículas que se evita que ingresen al entorno de fabricación.



**SIN IONIZACIÓN**  
ATRACCIÓN DE PARTÍCULAS



**CON IONIZACIÓN**  
LAS PARTÍCULAS CAEN AL PISO



## Métodos de control de la electrostática

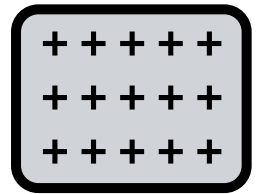
Eliminar por completo la electrostática de los entornos de producción suele suponer un reto, pero si se utilizan adecuadamente los equipos y procedimientos de corrección, se podrán controlar la mayoría de los problemas de electrostática. A lo largo de los años, se han probado varios enfoques para el control de la carga estática.

Un factor importante que debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el método adecuado es si el material cargado es conductor o aislante. La electrostática puede controlarse fácilmente en un material conductor si el objeto puede conectarse a tierra. La conexión a tierra simplemente proporciona una trayectoria para que la carga pueda migrar a tierra o desde esta. Cuando un conductor se conecta a tierra, todas sus cargas se neutralizan y permanece en potencial de tierra. Sin embargo, como en los materiales aislantes la carga no migra, la conexión a tierra no funciona. Cuando se conecta a tierra un aislante, no se elimina la carga ni se afecta la capacidad que tiene de cargarse, tal como se muestra en las ilustraciones a la derecha.

Siempre que el personal siga una rutina estricta, se lo puede conectar a tierra mediante el uso de trajes, batas, guantes y correas de muñeca o taloneras disipadoras de electricidad estática. Las estaciones de trabajo pueden protegerse con alfombras y pisos conductores, y con tableros de mesa disipadores de electricidad estática. Los materiales y los dispositivos pueden transportarse en bolsas, recipientes y cajas de protección hechos con materiales conductores o disipadores de la electricidad estática. No siempre se pueden utilizar estos procedimientos "pasivos", que están sujetos a errores humanos. Muchos de los objetos que se usan en producción están compuestos por materiales como el Teflon™, el cuarzo o el Lexan™. Estos materiales son buenos aislantes para los cuales no existen sustitutos "antiestáticos".

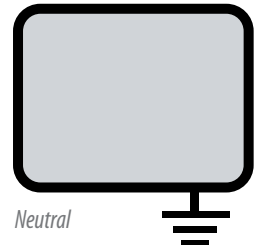
Los materiales antiestáticos o disipadores suelen contener aditivos que migran a la superficie del material y atraen una capa delgada de agua. Esta capa delgada de agua hace que la superficie del material se torne conductora, lo que permite que una carga estática pase de la superficie a la tierra. Si se pierde la capa de agua, se pierden las propiedades antiestáticas, y

*Conductor aislado*



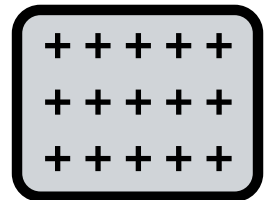
*Con carga positiva*

*Conductor conectado a tierra*



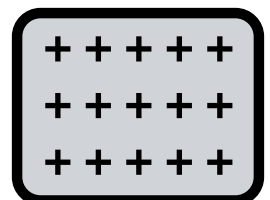
*Neutral*

*Aislante*



*Con carga positiva*

*Aislante conectado a tierra*



*Aún con carga positiva*

el material se comporta como un aislante. Otros materiales disipadores de electricidad estática se fabrican mezclando partículas conductoras, como el carbón, con materiales no conductores. No obstante, estos materiales suelen desintegrarse y ocasionan problemas de contaminación.

Muchos de estos métodos tienen limitaciones cuando se los aplica a las operaciones de una instalación típica de cuarto limpio. El proceso de fabricación suele requerir muchísimo movimiento de personas y productos entre estaciones de trabajo, por lo que el uso de correas de muñeca no resulta práctico. La mayoría de los materiales antiestáticos o disipadores tienen aditivos que conllevan la contaminación del cuarto limpio y del producto.

## Ionización del aire: Aire conductor

La ionización del aire se utiliza cada vez más para controlar o neutralizar la carga estática que se encuentra en entornos cruciales de cuarto limpio. Los ionizadores hacen que el aire tenga una conductividad suficiente como para disipar la carga estática tanto en aislantes como en conductores aislados.

### Iones de aire y el proceso de ionización

Los iones de aire son moléculas de aire que han perdido o adquirido un electrón. Los iones están presentes en el aire normal, pero se eliminan cuando se somete al aire a procesos de filtrado y acondicionamiento. Se generan por emisión radioactiva o a través de un fenómeno llamado “descarga de corona”, en el que se aplica un alto voltaje a una punta afilada.

Todos los sistemas de ionización del aire liberan iones positivos y negativos en la atmósfera. Cuando el aire ionizado entra en contacto con una superficie cargada, dicha superficie atrae iones de la polaridad opuesta. Como resultado, se neutraliza la electricidad estática que se ha acumulado en los productos, los equipos y las superficies.

En general, el aire tiene una alta capacidad aislante, con una resistividad que supera los 10<sup>15</sup> ohmios/metro. Mediante el incremento de la cantidad de iones en el aire, se puede reducir la resistividad del aire a 10<sup>11</sup> ohmios/metro, con lo que se aumenta la conductividad del aire. El aire conductor puede neutralizar la carga estática en toda superficie con la que entre en contacto. El campo de una superficie cargada atrae iones de la polaridad opuesta hasta que se neutraliza la carga de la superficie.



### ¿Cómo funciona la ionización del aire?

*Todos los sistemas de ionización del aire liberan iones positivos y negativos en la atmósfera. Cuando el aire ionizado entra en contacto con una superficie cargada, la superficie atrae iones de la polaridad opuesta. Como resultado, se neutraliza la electricidad estática que se ha acumulado en los productos y los equipos.*

### Continuo de resistividad

*Mediante la ionización, la resistividad del aire ambiente se reduce en cuatro órdenes de magnitud, con lo que el aire tiene una mayor conductividad.*







# Ionización bipolar

Se requieren iones de ambas polaridades porque en el área de trabajo se crean tanto cargas positivas como negativas. Son muchas las formas en las que se crea y suministra ionización bipolar del aire, y es posible que no exista un método "ideal" de ionización para todas las situaciones. La decisión sobre cuál es el método más adecuado para una aplicación específica depende del ambiente, del problema que deba solucionarse y de la naturaleza del trabajo que se lleva a cabo en el área. Los iones se mueven por campo y por el flujo de aire, y la eficacia de un sistema depende de varias condiciones ambientales.

A lo largo de los años, se han desarrollado varios sistemas para generar iones. Un factor principal que distingue a los sistemas es si utilizan alto voltaje de corriente AC, DC, DC pulsado, nuclear o rayos X para crear iones. Estos cinco tipos de sistema varían en cuanto a la eficiencia. En ocasiones, es necesario resolver problemas con la recombinación de iones y zonas calientes (áreas con desequilibrio de iones) antes de que un sistema funcione correctamente.

A continuación, se describen brevemente las diferencias en las tecnologías de ionización y algunos ejemplos de dónde se ha usado cada tecnología.

## Corriente alterna (AC)

Se aplica alto voltaje a una serie de puntos de emisión colocados cerca, que alterna entre polaridad negativa y positiva, a la frecuencia de línea (50/60 Hz). La tecnología de AC se utiliza en rejillas, sopladores de aire ionizado, pistolas y barras. Debido a la variación cíclica rápida y la recombinación de iones resultante, los sistemas de AC deben tener altos niveles de flujo de aire para que los iones sean arrastrados de los puntos de emisión.

## DC constante

Con este método, se proporcionan puntos de emisión independientes para cada polaridad. Se aplica alto voltaje positivo en forma continua a la mitad de los puntos de emisión, mientras que se aplica alto voltaje negativo en forma continua a la otra mitad. La corriente DC constante se utiliza en sistemas de cuarto, cabinas de flujo laminar, sopladores de aire ionizado y pistolas ionizadoras. La corriente DC constante funciona con un flujo de aire tanto bajo como alto, siempre que los puntos de emisión se coloquen lo suficientemente alejados entre sí como para reducir la recombinación de iones, sin crear zonas calientes.

### Tipos de ionización del aire

- Corriente alterna (AC)
- DC permanente
- DC pulsado
- Nuclear
- Rayos X

## DC pulsado

Se alterna la activación y la desactivación de los puntos de emisión positivos y negativos, lo que crea nubes de iones positivos y negativos. El DC pulsado puede usarse en cuartos no controlados o asépticos, así como en cuartos limpios y cabinas de flujo laminar. No se le suele utilizar en ventiladores de aire ionizado ni pistolas ionizadoras.

La ventaja de este sistema es su flexibilidad y versatilidad, ya que la duración del ciclo puede ajustarse a las condiciones específicas del flujo de aire. Por ejemplo, en áreas de flujo de aire reducido, se podría necesitar más tiempo para superar la recombinación de iones y permitir que los iones lleguen al área de trabajo. En ciertos tipos de ambientes, se podría necesitar una mayor proporción de una polaridad con respecto a la otra. El DC pulsado permite dejar activada cualquiera de las polaridades durante el tiempo que sea necesario. En algunos sistemas, se pueden configurar tiempos de desactivación en los que ninguna de las polaridades está activada, lo que permite una dispersión más eficaz de los iones.

## Nuclear

Los ionizadores nucleares, diseñados para usarse en barras, pistolas y sopladores ionizadores, suelen contener polonio 210 como fuente radioactiva. La desintegración radioactiva del polonio emite partículas alfa que ionizan el aire.

Los ionizadores nucleares están disponibles solo por arrendamiento, ya que las regulaciones federales prohíben la venta directa de dispositivos radioactivos.

## Rayos X

Los ionizadores por rayos X o fotones, diseñados para usarse dentro de equipos de producción, usan rayos X blandos (4.9-9 keV) para ionizar el aire. A medida que los rayos X pasan por el aire en el interior de una herramienta de producción, ionizan el aire a lo largo de un trayecto de alrededor de un metro. No se requiere flujo de aire para dispersar los iones por el ionizador del equipo. Se debe cumplir con las regulaciones federales que exigen el uso de blindaje y dispositivos de enclavamiento eléctrico cuando se aplican estos tipos de ionizadores cuando su potencia es mayor de 5 keV.

### Ionización de dc pulsado

Los sistemas de DC pulsado usan puntos de emisión positivos y negativos cuya activación y desactivación se alterna para crear nubes de iones positivos y negativos. La duración del ciclo y la polaridad pueden ajustarse para proporcionar el equilibrio requerido y el nivel de control estático que se necesita en un ambiente específico.



Emisor de techo

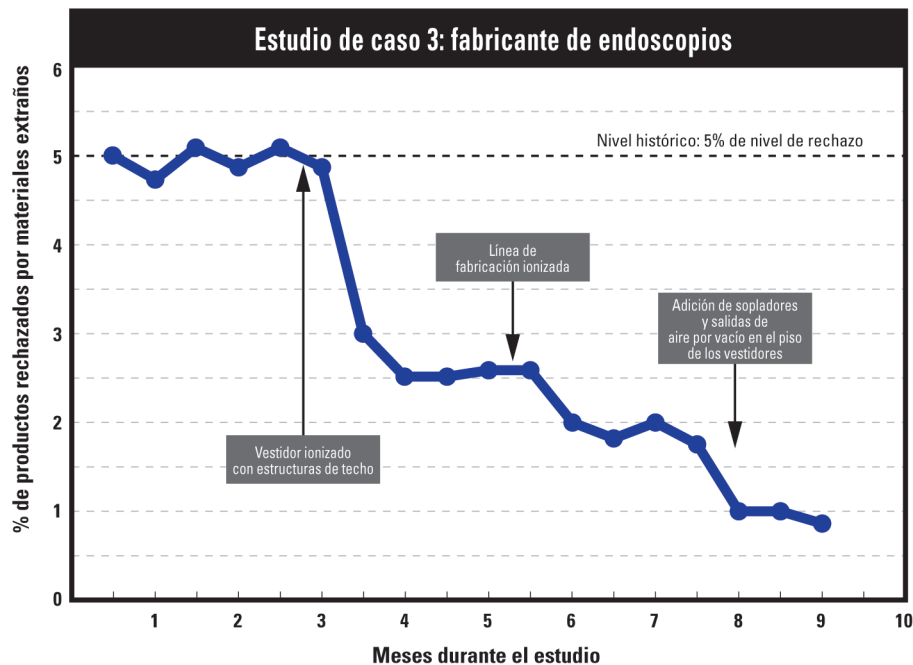


Los sistemas de DC pulsado crean nubes de iones positivos y negativos



## Mejora en rendimiento

En el siguiente gráfico, se muestra una reducción típica en las tasas de rendimiento de uno de los fabricantes más importantes de dispositivos médicos cuando se implementa la ionización en forma gradual. Este fabricante había estado rechazando aproximadamente un 5% de su producto. Una vez que se ionizó el vestidor, este valor se redujo prácticamente a la mitad. Cuando se incorporó la ionización en el área de producción y se realizaron otras mejoras (con el fin de eliminar la contaminación del ambiente), la tasa de rechazo se redujo a menos del 1%.



## Ingeniería de aplicaciones

Resolver con éxito la carga estática puede ser un problema bastante complejo para el que se requieren varias soluciones. A la hora de elegir un sistema de ionización del aire, se deben tener en cuenta varios factores importantes.

### Flujo de aire

Algunos dispositivos de ionización requieren flujo de aire para funcionar correctamente, mientras que otros no. Si se opta por utilizar ionizadores que requieren flujo de aire, estos deben depender del flujo de aire disponible o se deben incluir ventiladores en su diseño. Se debe determinar si el uso de ventiladores para la distribución de iones de aire es compatible con el ambiente de trabajo. Los ionizadores de gas comprimido requerirán una fuente de gas (en general, aire o nitrógeno) y un sistema de filtrado que sea compatible con su área de uso.

### Distribución y control de potencia

Los ionizadores autónomos requieren una potencia de 120 VCA, y se deben tomar las medidas necesarias para suministrar esta potencia a cada ionizador. Los sistemas más grandes distribuyen la potencia desde un controlador central a través de un cableado de bajo o alto voltaje. Los requisitos de control varían con la aplicación. En situaciones menos críticas, se pueden aplicar los ajustes de control de la fábrica o un solo ajuste para un área entera a través de un controlador central. En aplicaciones críticas, o en áreas que carecen de condiciones uniformes, se puede lograr un control preciso tanto del equilibrio como del nivel de iones creando zonas pequeñas y ajustando cada punto de emisión. Los sensores de realimentación brindan monitoreo y control en aplicaciones críticas, como aquellas de la industria de las unidades de disco.

### Materiales del punto emisor

Para la amplia variedad de aplicaciones de los ionizadores, es importante que haya disponible una variedad de materiales para el punto emisor. A la hora de seleccionar los materiales del punto emisor, siempre se debe tener en cuenta la sensibilidad del ambiente de fabricación. Para las aplicaciones generales de la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos, se suelen recomendar el titanio o el tungsteno como materiales de los puntos de emisión.

### Ingeniería

*Resolver con eficacia la carga estática puede ser un problema complejo para el que se requieren varias soluciones. A la hora de elegir un sistema de ionización del aire, se deben analizar varios aspectos importantes.*

- Características del flujo de aire
- Distribución de potencia
- Materiales de los puntos de emisión
- Consideraciones para la instalación
- Confiabilidad y mantenimiento
- Pruebas y evaluación
- Servicio y garantía
- Costo del sistema

## Consideraciones para la instalación

Los métodos utilizados para el montaje y el cableado del dispositivo de ionización son aspectos importantes que deben tenerse en cuenta, ya que deben ser compatibles con todos los códigos de seguridad y los requisitos de la instalación. Si la instalación se realiza en un cuarto limpio de operaciones, dicha instalación no debe interferir con la producción en curso ni poner en riesgo la integridad del ambiente.

## Confiabilidad y mantenimiento

Todos los dispositivos de ionización requieren un mantenimiento periódico. En general, el mantenimiento consta de un simple procedimiento de limpieza de los puntos emisores, que debe realizarse cada tres a doce meses. La frecuencia del mantenimiento depende del material de la punta del punto emisor, su forma, los parámetros de operación y, lo más importante, la concentración de contaminantes moleculares en suspensión (AMC) en el aire. Tanto los usuarios finales como el personal del fabricante pueden realizar este mantenimiento. La confiabilidad y la estabilidad a largo plazo son esenciales para los equipos que se utilizan en forma constante.

Uno de los elementos clave de los sistemas de calidad en las aplicaciones de la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos es la capacidad del personal de confirmar que el sistema funciona en forma continua. Por lo tanto, contar con un método confiable para verificar que el sistema esté funcionando dentro de parámetros normales es fundamental. En algunos casos, la realimentación en un sistema de monitoreo de la instalación (FMS) también resulta beneficioso.

## Pruebas y evaluación

A menudo, un sistema de evaluación en el área de trabajo en sí es la única forma de determinar los niveles de rendimiento requeridos, así como de establecer las especificaciones. Es fundamental elegir un fabricante que brinde ayuda a la hora de elaborar especificaciones significativas para una aplicación en particular.

## Servicio y garantía

Los fabricantes deben brindar ayuda para las especificaciones de la ionización del aire, la instalación local de un sistema de evaluación, la certificación del rendimiento y la calibración tras la finalización de la instalación, y el servicio y el mantenimiento de seguimiento, si se requiere.

La mayoría de los equipos de ionización están cubiertos por una garantía de fábrica. Se debe determinar la duración de la garantía, lo que cubre y cuáles son los requisitos para que esta esté vigente.

## Costo

El usuario deberá calcular el costo total de propiedad a la hora de comparar sistemas de ionización. El costo total de propiedad incluye los costos del equipo, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento. Además, es importante analizar el valor del hecho de no instalar un sistema de ionización del aire. A menudo, el costo de la pérdida de productos a causa de problemas relacionados con la electrostática es muchas veces mayor que el costo del sistema en sí. En el caso de los dispositivos médicos, la contaminación puede ocasionar el rechazo de los productos, quejas del cliente, devoluciones de productos e incluso la posterior pérdida de mercado.

## Estándares

Tanto la ESD Association (ESDA) como el Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST) han elaborado estándares sobre ionización en los que se especifica una metodología para comparar los sistemas de ionización del aire. Con un monitor de placa cargada (CPM), se puede medir con precisión el tiempo requerido para reducir una carga de 1000V al 10% de su valor inicial.

## Estándares de ionización

Tanto ESDA como IEST cuentan con estándares para el rendimiento de la ionización del aire. Estos estándares, ANSI/ESD STM3.1, ANSI/ESD SP3.3, ANSI/ESD SP3.4 e IEST RP-CC-022, especifican una metodología para comparar diferentes sistemas o el mismo sistema con el paso del tiempo. El instrumento clave que se utiliza se conoce como un monitor de placa de carga (CPM). El CPM tiene una placa conductora aislada que puede cargarse con un voltaje conocido. Luego, mide el tiempo que el ionizador necesita para reducir la carga al 10% de su valor inicial. En general, para medir el tiempo de descarga, se carga la placa a 1000 voltios y se determina el tiempo que se necesitará para que el voltaje disminuya a 100 voltios. En aire normal con una humedad relativa del 60%, la tasa de disminución es de aproximadamente 12 horas. En general, un sistema de ionización puede obtener los mismos resultados con una cabina laminar en <15 segundos, <60 segundos en un cuarto limpio y <300 segundos en un cuarto abierto con aire acondicionado mínimo. En el caso de la ionización de aire en el punto de uso, con sopladores se pueden obtener los mismos resultados en <10 segundos y con las pistolas ionizadoras en solo uno o dos segundos.

La ionización es un requisito para el control de la carga estática en cualquier programa eficaz de control de la electrostática. La ESDA promulga el programa de control de electricidad estática ANSI/ESD S20.20, que define el rendimiento de los ionizadores que se requiere para proteger los dispositivos sensibles a la ESD según el modelo de cuerpo humano de 100V y los dispositivos sensibles a la ESD según el modelo de dispositivo cargado de 125V. La ionización del aire es esencial para alcanzar los niveles recomendados en estos estándares. La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) ha reconocido al estándar ANSI/ESD S20.20 como un estándar de la industria que los fabricantes de dispositivos médicos deben tener en cuenta.

### Estándares

*Tanto ESDA como IEST han elaborado estándares sobre ionización en los que se especifica una metodología para comparar los sistemas de ionización del aire. Con un monitor de placa cargada (CPM), se puede medir con precisión el tiempo requerido para reducir una carga de 1000V al 10% de su valor inicial.*



Monitor de placa de carga

## Conclusión

El riesgo de daños a causa de la carga estática aumenta con la sofisticación tecnológica y la miniaturización de los productos y de los procesos. El mercado de las ciencias para la vida está atravesando una sofisticación progresiva en términos de los dispositivos de metrología y la tecnología médica disponibles. Este avance está acercando a la fabricación de la industria de las ciencias vivas y dispositivos médicos a los problemas que hace décadas se enfrentaba en la fabricación de semiconductores. Las investigaciones científicas han demostrado que la falla de los dispositivos electrónicos suele ser el resultado directo de la descarga electrostática. Con la ionización del aire en combinación con la "concientización sobre la electrostática", la capacitación del personal y técnicas adecuadas de conexión a tierra, se pueden obtener resultados extraordinarios en la reducción de pérdidas a causa de la ESD y la contaminación de los productos. En el cuarto limpio, así como en otras áreas de producción cruciales, la ionización del aire podría ser el factor más importante para eliminar los problemas de ESD y contaminación por partículas que se relacionan con la carga estática. Desde las operaciones de moldeo de productos hasta el ensamblaje y el empaque de los productos, el control de la electrostática mediante la ionización del aire puede traducirse en ahorro de costos, mayor producción y productos de mejor calidad. Son cada vez más las instalaciones de fabricación de alta tecnología en las que una producción exitosa resulta imposible sin la ionización del aire.



# Referencias

ANSI/ESD S20.20-2014 "Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies, and Equipment," ESD Association, Rome, New York. [www.esda.org](http://www.esda.org)

ESD TR11-01 "Electrostatic Guidelines and Considerations for Cleanrooms and Clean Manufacturing," ESD Association, Rome, New York. [www.esda.org](http://www.esda.org)

ISO 14644 Series Cleanroom Standards. Institute for Environmental Standards & Testing, Schaumburg, Illinois, [www.iest.org](http://www.iest.org)

IEST RP-CC003.4 "Garment System Considerations for Cleanrooms & Other Controlled Environments" Institute for Environmental Standards & Testing, Schaumburg, Illinois, [www.iest.org](http://www.iest.org)

IEST RP-CC022 "Electrostatic Charge in Cleanrooms and Other Controlled Environments" Institute for Environmental Standards & Testing, Schaumburg, Illinois, [www.iest.org](http://www.iest.org)

IEST-RP-CC023 "Microorganisms in Cleanroom" Institute for Environmental Standards & Testing, Schaumburg, Illinois, [www.iest.org](http://www.iest.org)

Cooper, D.W., Miller, R.J., Wu, J.J., "Deposition of Submicron Aerosol Particles During Integrated Circuit Manufacturing," Experiments, 9th ICCCS Proceedings, 1998.

Fuqua, Norman, "ESD Control in the Manufacturing Environment," IIT Research Institute for the DOD Reliability Analysis Center, 1986.

Guliano, Jerry/Julie, Inc., "Discharging the Static Threat," Computer/Electronic Service News, January 1988.

Inoue, M., Sakata, S., Chirifu, S., Yoshida, T. Okada, T., "Aerosol Deposition on Wafers," IES Proceedings, 34th Technical Meeting, 1988.

Liu, B.Y.H., and Ahn, K. H., "Particle Deposition on Semiconductor Wafers," Aerosol Sci. Tecnología 6; 215-224 (1987).

Long, C.W., Peterman, J., and Levit, L., "Implementing a Static Control Program to Increase the Efficiency of Wet Cleaning Tools," MICRO, January/February 2006.

Steinman, Arnold, "Clean Room Ionization for ESD Control," Electrical Overstress Exposition, 1984.

Taylor, David H., "A Review of the Benefits of Air Ionization in the Cleanroom," Spring 1990 NONEC Conference, April 1990.

Welker, R., "Effectiveness of Isolated Panels and Air Ionization on Cleanroom Performance in a Direct Access Storage Assembly Line." Presented at the IES 37th Technical meeting, 1991.

Yost, M, Steinman, A., "Electrostatic Attraction and Particle Control," Microcontamination, June 1986.

Liu, B.Y.H., and Ahn, K. H., "Particle Deposition on Semiconductor Wafers," Aerosol Sci. Tecnología 6; 215-224 (1987).

Long, C.W., Peterman, J., and Levit, L., "Implementing a Static Control Program to Increase the Efficiency of Wet Cleaning Tools," MICRO, January/February 2006.

Montoya, J.A., Levit, L., and Englisch, A., "A Study of the Mechanisms of ESD Damage for Reticles," Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, 394-405 (2000).

Stalker, Richard D., "NFPA 77 Static Electricity, 1988 Edition," National Fire Protection Association.

Steinman, Arnold, "Clean Room Ionization for ESD Control," Electrical Overstress Exposition, 1984.

Steinman, Arnold, "Semiconductor Trends Affecting Air Ionization," Proceedings of Taiwan ESD Symposium, Taiwan ESD Association, Hsinchu, Taiwan, 2004.

Taylor, David H., "A Review of the Benefits of Air Ionization in the Cleanroom," Spring 1990 NONEC Conference, April 1990.

Technical Staff of KeyTek Instrument Corporation, "Electrostatic Discharge Protection Handbook," Wilmington, MA, 1986.

Welker, R., "Effectiveness of Isolated Panels and Air Ionization on Cleanroom Performance in a Direct Access Storage Assembly Line." Presented at the IES 37th Technical meeting, 1991.

Yost, M, Steinman, A., "Electrostatic Attraction and Particle Control," Microcontamination, June 1986.







An ITW Company

## **Simco-Ion**

*Technology Group*

1141 Harbor Bay Parkway, Ste 201  
Alameda, CA USA 94502

Tel: +1 (510) 217-0600

Toll Free: +1 (800) 367-2452

Fax: +1 (510) 217-0484

Servicios de ventas: 510.217.0460

Soporte técnico: 510.217.0470

[ioninfo@simco-ion.com](mailto:ioninfo@simco-ion.com)

[salsservices@simco-ion.com](mailto:salsservices@simco-ion.com)

[techsupport@simco-ion.com](mailto:techsupport@simco-ion.com)

[www.simco-ion/technology](http://www.simco-ion/technology)

