Pautas acerca de la Contaminación Gaseosa y Particulada para los Centros de Datos

Informe Oficial preparado por el Comité Técnico de ASHRAE (TC) 9.9
Instalaciones de Misión Crítica, Espacios Tecnológicos y Equipos Electrónicos

Este informe oficial de ASHRAE acerca de la contaminación aerotransportada fue desarrollado por los miembros del comité TC 9.9 representando a los siguientes fabricantes de equipos de TI: AMD, Cisco, Cray, Dell, EMC, Hitachi, HP, IBM, Intel, Seagate, SGI y Sun.

Resumen Ejecutivo

El comité de ASHRAE TC 9.9 publicó recientemente las Pautas Ambientales de ASHRAE 2008 para los Equipos de Datacom que extendieron el sobre de propuesta de temperatura y humedad para entregar una mayor flexibilidad a las operaciones dentro de las dependencias de los centros de datos; específicamente en la meta para reducir el consumo energético. Los límites de temperatura recomendados van desde los 18°C (64.4°F) hasta los 27°C (80.6°F). La humedad está limitada a menos del 60% con temperaturas del punto de condensación inferiores y superiores de 5.5°C (41.9°F) y 15°C (59°F), respectivamente.

El reciente aumento en el porcentaje de fallas de hardware en los centros de datos altos en gases azufrados, resaltado por la cantidad de publicaciones recientes sobre el tema, han llevado a la necesidad de este informe oficial, el que recomienda que además de controlar la temperatura y la humedad; la contaminación gaseosa y en polvo también debería ser monitoreada y controlada. Estas medidas ambientales adicionales son muy importantes para los centros de datos ubicados cerca de las industrias y/u otras fuentes que contaminan el ambiente.

Los efectos de la contaminación aereotransportada sobre los equipos de los centros de datos se pueden desglosar en tres categorías principales: efectos químicos, mecánicos y eléctricos. Dos de las modalidades de fallas químicas comunes son la corrosión por escurrimiento de cobre sobre los paneles del circuito y la corrosión por la metalización de la plata en los componentes montados sobre una superficie miniatura. Los efectos mecánicos incluyen la contaminación del disipador de calor, interferencia de la señal óptica, una fricción aumentada, etc. Los efectos eléctricos incluyen cambios en la impedancia del circuito, la formación de arcos eléctricos, etc. Se debería notar que la disminución de los tamaños de las funciones del panel del circuito y la miniaturización de los componentes, necesaria para mejorar el desempeño del hardware, también hace que este último esté más propenso a los ataques por contaminación en el ambiente del centro de datos. Los fabricantes están en una lucha constante para mantener la confiabilidad de su hardware con la constante disminución del tamaño de sus recursos, sin incluir la cara medida adicional de solidificar todos sus equipos de TI, la mayoría de los que no están instalados en ambientes corrosivos donde podrían estar expuestos a un mayor riesgo de falla.

La mayoría de los centros de datos están bien diseñados y están en áreas con ambientes relativamente limpios, donde la contaminación es poco significativa. La mayoría de los centros de datos no deberían experimentar fallas de hardware relacionadas con la contaminación gaseosa o particulada. Este informe está enfocado a una minoría de centros de datos que podrían pertenecer a ambientes dañinos a partir del ingreso de la contaminación gaseosa y/o particulada del ambiente exterior. Rara vez se ha sabido de que la contaminación se ha generado dentro del centro de datos.

Es tarea de los gerentes de los centros de datos hacer su parte en la manutención de la confiabilidad del hardware al monitorear y controlar la contaminación gaseosa y particulada en sus centros de datos. Los centros de datos deben mantenerse limpios a ISO 14644-1 Clase 8. Este nivel de limpieza se puede alcanzar generalmente mediante un esquema de filtración apropiado tal como lo está mencionado aquí:

1. El aire de la habitación puede ser constantemente filtrado con filtros MERV 8 como lo recomienda el Estándar ANSI/ASHRAE 127-2007, Method of Testing for Rating Computer and Data Processing

Room Unitary Air Conditioners (Método de Testeo para Calificar Aires Acondicionados Unitarios del Cuarto de Procesamiento de Datos y de Computadores de ANSI/ASHRAE)

2. Un centro de datos al que le entra aire se puede filtrar por medio de filtros MERV 11 o MERV 13, como lo recomienda ASHRAE en su libro titulado Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments (Contaminación Gaseosa Particulada en los Ambientes de Datacom)

Se deben eliminar las fuentes de polvo dentro de los centros de datos. La contaminación gaseosa debería estar dentro del nivel de gravedad GIANSI/ISA-71.04-1985 modificado, el que alcanza:

1. Una tasa de reactividad del cobre inferior a 300Å/mensuales y
2. Una tasa de reactividad de la plata inferior a 300Å/mensuales.

Para los centros de datos con niveles de contaminación gaseosa más altos, se recomienda la filtración de la fase gaseosa del aire entrante y del aire en el centro de datos.

La adhesión a los requerimientos descritos aquí es importante para mantener una alta confiabilidad del equipo de TI y evitar el costo de la sustitución del hardware que no está cubierto por una garantía.

Introducción

El objetivo de este informe oficial es describir la necesidad de controlar los contaminantes aerotransportados, tanto los gaseosos como los particulados en los centros de datos para especificar sus límites aceptables recomendados.

La constante mejoría del rendimiento de los computadores es alcanzado al disminuir el tamaño de los transistores y las distancias que las señales eléctricas deben recorrer para efectuar las tareas asignadas. El efecto de red es la miniaturización de todos los componentes electrónicos y el constante aumento de la densidad de sus paquetes, los que tienen los siguientes efectos perjudiciales en la confiabilidad del hardware:

- La carga incrementada de calor por volumen de unidad exige la necesidad de un mayor flujo de aire para así mantener el hardware dentro de los límites de temperatura aceptables. El aumento del flujo de aire incrementa la exposición de los electrónicos a los efectos perjudiciales del polvo acumulado y a la mayor ingesta de contaminantes gaseosos.
- La densidad más alta del paquete no siempre permite el sellado hermético de los componentes, exponiendo así los electrónicos a los efectos perjudiciales de la humedad, del polvo y de la contaminación gaseosa.
- El espacio entre las funciones del panel del circuito impreso en diferentes voltajes aumenta la posibilidad de que el polvo y los gases produzcan una migración de iones llevando a un corto circuito electrónico.
- A medida que los recursos dentro de los componentes alcanzan el tamaño de los productos de corrosión, estos últimos se tornan más propensos a los efectos dañinos de la corrosión.

El reciente aumento en la cantidad de fallas de hardware en los centros de datos altos en gases azufrados, resaltados por el número de las recientes publicaciones sobre el tema (Reid 2007; Cullen 2004; Veale; Sahu 2007; Schueller 2007; Hillman; Xu ; Mazurkiewicz 2006), llevaron a la necesidad para este informe oficial, el que recomienda que, además del control de la humedad y de la temperatura, la contaminación gaseosa y de polvo también debería ser monitoreada y controlada. Estas medidas ambientales adicionales son necesarias para reducir las dos modalidades de falla recientes más comunes por escurrimiento de cobre sobre los paneles del circuito y la corrosión de la metalización de la plata en los componentes montados sobre una superficie en miniatura:

1. Informes recientes han reportado escurrimiento de cobre sobre paneles del circuito (Cullen 2004; Mazurkiewicz 2006; Mukadam 2006; Scheller Los dos tipos de paneles de circuito comunes que sufren de la corrosión por escurrimiento de cobre son el de inmersión de plata (ImAg) y el del preservativo de la solderabilidad orgánica (osp). Los gases con presencia de azufre y de humedad pueden corroer cualquier metal de cobre expuesto en la placa del circuito. El producto resultante de la corrosión, sulfuro de cobre, puede escurrirse sobre la placa del circuito y causar un corto circuito en los dispositivos más cercanos.
2. Algunos informes recientes han reportado la corrosión de componentes montados sobre superficies miniaturas que contienen plata (Hillman; Reid 2007). Los gases que contienen azufre, incluso en la ausencia de humedad, atacan los productos de plata que forman la corrosión de sulfuro de plata, los que siendo mayores en volumen, crean un estrés mecánico

que debilita la integridad del paquete. El paquete con su integridad socavada, expone la plata subyacente a futuros ataques corrosivos hasta que toda la plata en la sección se consuma, llevando así a una apertura eléctrica. El producto resultante de la corrosión de sulfuro de plata sobre el campo fallado del hardware es a menudo visible bajo un microscopio de bajo alcance y se distingue como agujas o nódulos, como se puede observar en la Figura 1.1.

Se debe notar que la reducción de los tamaños de los recursos del panel de circuito y la miniaturización de los componentes necesarios para mejorar el rendimiento del hardware, también hace que el hardware esté propenso a ataques de las partículas y gases corrosivos en el ambiente del centro de datos. Los fabricantes están en una constante lucha para mantener la confiabilidad de su hardware en una constante miniaturización. Por lo tanto, la necesidad de controlar los contaminantes aerotransportados del centro de datos y de especificar sus límites aceptables recomendados se está convirtiendo en algo crítico para la operación confiable continua del equipo de TI.

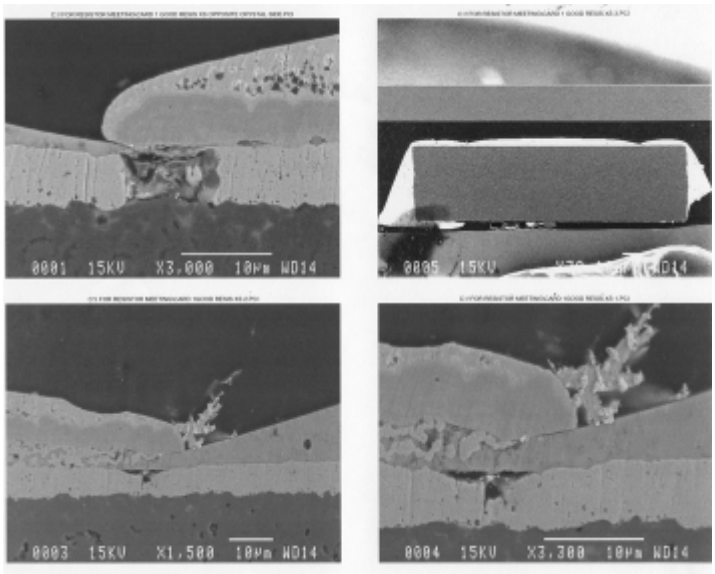

Figura 1: Ejemplo de una falla de componente debido a un ambiente alto en gases con presencia de azufre atacando la metalización de plata en el componente produciendo "flores"

Polvo Aerotransportado

Los modos de fallas debido al polvo incluyen, pero no están limitados, a lo siguiente (ASHRAE 2009a):

- Efectos Mecánicos: Estos efectos incluyen la obstrucción del flujo de aire de enfriamiento, interferencia con las piezas en movimiento, abrasión, interferencia óptica, interferencia de interconexión o deformación de las superficies (Ej., medios magnéticos) y otros efectos similares.
- Efectos químicos: El polvo asentado en las placas de circuito impresas pueden producir la corrosión de los componentes y/o el corto circuito eléctrico de los caracteres separados por poco espacio.
- Efectos Eléctricos: Estos efectos incluyen cambios de impedancia y cruces del conductor del circuito electrónico.

El polvo es ubicuo. Incluso con los mejores esfuerzos de filtración, el polvo estará presente en el centro de datos y se asentará en el hardware electrónico. Afortunadamente, el polvo es benigno. El polvo degradará el hardware electrónico sólo bajo extrañas circunstancias.

El polvo dañino en los centros de datos generalmente es alto en contenidos iónicos tal como los sales con presencia de cloro. La fuente de este polvo dañino es principalmente el polvo del ambiente

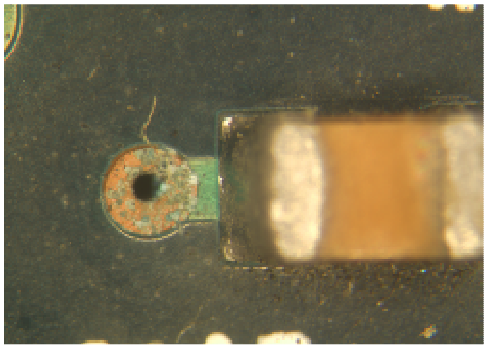

Figura 2: La corrosión de un disco con agujero debido al polvo iónico mojado alto en cloruro de magnesio.

exterior dentro de un rango de 2.5-15 µm para polvo grueso y de 0.1-2.5 µm para polvo fino (Comizzoli 1993). Las partículas de polvo grueso tienen un origen mineral y biológico, formado principalmente por la abrasión inducida por el viento y puede permanecer transportada por el aire durante varios días. Las partículas de polvo fino generalmente son el resultado de la quema de combustibles fósiles y de la actividad volcánica, y puede permanecer transportada en el aire por años. Los grandes cuerpos de agua salada también son una importante fuente de contaminación de polvo transportado en centros de datos. La sal marina puede ser llevada por 10km (6 millas) de la tierra, adentro o incluso más allá, debido a fuertes vientos presentes en las áreas costeras y a esta distancia pueden dañar los dispositivos electrónicos (Bennett 1969; Crossland 1973).

Un mecanismo mediante el cual el polvo degrada la confiabilidad de las placas de circuito impresas involucra la absorción de la humedad por el polvo asentado en el medio ambiente. La contaminación iónica en el polvo mojado degrada la resistencia del aislamiento de la superficie del panel del circuito impreso, y en el peor de los casos, lleva a un corto circuito electrónico de los dispositivos separados por poco espacio mediante la migración de iones. La Figura 2 es un ejemplo de la corrosión del cobre causada por el polvo asentado sobre un panel de circuito impreso.

La humedad relativa delicuescente, humedad relativa en la que el polvo absorbe suficiente agua para mojarse e incitar la corrosión y/o a la migración iónica, determina la capacidad de corrosión del polvo. Cuando la humedad relativa delicuescente del polvo es mayor que la humedad relativa en el centro de datos, el polvo se mantiene seco y no contribuye para la corrosión o para la migración iónica. Sin embargo, rara vez, cuando el polvo tiene una humedad relativa delicuescente menor a la humedad relativa en el centro de datos, el polvo absorberá la humedad, mojará e incitará a la corrosión y/o migración de iones, degradando la confiabilidad del hardware. Un estudio del año 1993 por Comizzoli et. al. demostró que una corriente de fuga debido al polvo de varios lugares alrededor del mundo se asentó sobre paneles de circuitos impresos, aumentados exponencialmente con humedad relativa. Este estudio nos lleva a la conclusión de que mantener la humedad relativa en un centro de datos inferior al 60% mantendrá la corriente de fuga asentada por el polvo fino en un rango menor aµ.

Raramente se puede generar también polvo dañino en un centro de datos. Los humidificadores que dependen de pequeñas gotas de agua transportadas por aire que se evaporan para aumentar la humedad en la habitación, pueden causar una contaminación por polvo dañino en el interior del lugar si el agua que alimenta el humidificador es alta en sales que tienen una humedad relativa delicuescente menor que la humedad relativa en los centros de datos. Incluso en bajas concentraciones, estas sales pueden ser una amenaza seria de corrosión y de migración iónica. Lo problemas de corrosión relacionados con el humidificador pueden ser mitigados al tratar el agua del humidificador utilizando una osmosis revertida (ASHRAE 2009a).

El polvo fibroso de papel, cartón o telas pueden contaminar el disipador térmico e interrumpir el enfriamiento del equipo. Los operadores del centro de datos deben evitar trabajar con grandes cantidades de estos materiales en del centro de datos. Por ejemplo, los nuevos equipos deben ser sacados de sus cajas fuera del centro de datos y las impresoras de gran volumen deben estar ubicadas en otro lugar.

En resumen, casi todo el polvo en benigno. Los problemas de corrosión o de migración iónica pueden surgir a partir de extrañas circunstancias, cuando el polvo asentado tiene una humedad relativa delicuescente menor que la humedad relativa en el centro de datos. Como regla general, la humedad relativa en el centro de datos debe mantenerse bajo el 60% para evitar que cualquier tipo de polvo pueda corroer el hardware.

Otra forma de contaminación particulada muy dañina para la confiabilidad del hardware son las triquitas de zinc que son las partículas conductoras electrónicas más comunes que se encuentran en los centros de datos. Las partes inferiores de las baldosas elevadas por acero están revestidas con zinc para prevenir la corrosión. Los durmientes y pedestales que soportan las baldosas también pueden estar revestidos con zinc. El zinc puede estar electrogalvanizado por inmersión en caliente. A pesar de que las triquitas de zinc crecen en ambos tipos de revestimiento, el zinc electrogalvanizado es mucho más susceptible al crecimiento de triquitas (Brusse 2004; Lahtinen 2008).

Las triquitas de zinc, que a veces pueden llegar a tener un largo de 1 a 2 mm, amenazan el equipo de TI cuando son desencajadas y aerotransportadas, lo que podría pasar cuando los paneles son distribuidos durante su extracción o cuando se tiran o remueven los cables bajo el piso. Si las triquitas de zinc son ingeridas por un equipo de TI, los circuitos con voltajes mayores de aproximadamente 25V pueden sufrir cortos circuitos eléctricos, arqueo electrónico o voltaico, perturbaciones de la señal o fallas catastróficas (Miller 2007).

Un método simple para detectar las triquitas de zinc es el uso de una linterna. Remueva una baldosa del suelo y ubíquela sobre su borde en una zona con poca luz. Ilumine con la linterna la parte inferior del panel a un ángulo de 45°. Pequeñas manchas que brillan en la luz podrían ser la evidencia de la presencia de triquitas de zinc. Para confirmar la presencia de triquitas de zinc, los especímenes deben ser recolectados utilizando adhesivos de carbón y observados bajo un microscopio electrónico de barrido (SEM). Si las triquitas de zinc están presentes, el remedio implica reemplazar los paneles contaminados y contratar profesionales para limpiar los datos.

El ISO 14644-1 se ha convertido en el estándar oficial mundial dominante para clasificar la limpieza en términos de la concentración de partículas aerotransportadas. La Tabla 1 a continuación, entrega los niveles máximos de concentración para cada clase ISO (ASHRAE 2009a).

Los centros de datos deben mantenerse limpios a ISO Clase 8 con una rigurosidad del 95% del límite de confianza superior (Ortiz 2006). Para los centros de datos sin economizadores, la limpieza del ISO clase 8 se puede lograr simplemente al especificar las siguientes formas de filtración:

1. El aire en el cuarto puede ser filtrado continuamente con filtros MERV 8, como lo recomienda ANSI/ASHRAE Estándar 127-2007, "Method Testing for Rating Computer and Data Processing room Unitary Air Conditioners" (Método de Testeo para Clasificar los Aires Acondicionados Unitarios del Cuarto de Computadores y Procesamiento de Datos).
2. El aire que entra a un centro de datos puede ser filtrado con los filtros MERV 11 o MERV 13, como lo recomienda el libro de ASHRAE titulado "Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments"(Contaminación Gaseosa y de Partículas en los Ambientes de Datacom) (ASHRAE 2009a)

Para los centros de datos con economizadores de espacio de área, la elección de los filtros para alcanzar la limpieza de ISO clase 8 depende de las condiciones específicas.

Tabla 1: *ISO 14644-1, clasificación de la limpieza del aire vs. las concentraciones máximas de partículas permitidas (partículas/m^3)*

ISO CLASE	**Cantidad Máxima de Partículas en el Aire (partículas en cada metro cúbico igual o mayor al tamaño especificado)**					
	Tamaño de la Partícula					
	> 0.1 µm	**> 0.2 µm**	**> 0.3 µm**	**> 0.5 µm**	**> 1 µm**	**> 5 µm**
Clase 1	10	2				
Clase 2	100	24	10	4		
Clase 3	1000	237	102	35	8	
Clase 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
Clase 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
Clase 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293

Clase 7				352,000	83,200	2,930
Clase 8				3,520,000	832,000	29,300
Clase 9					8,320,000	293,000
Nota: Las indefiniciones relacionadas con los procesos de mediciones requieren que los datos con no más de (3) figuras significativas sean utilizados en la determinación del nivel de clasificación.						

Contaminación Gaseosa

Los gases con presencia de azufre, tales como SO_2 y H_2S, son los gases más comunes en los centros de datos, los que causan la corrosión del hardware (Rice 1981). Un ejemplo de corrosión sobre un panel de circuito compatible con RoHS debido a la contaminación gaseosa demostrada en la Figura 3.

Los límites ambientales de la composición gaseosa han sido publicados en ANSI/ISA-71.04-1985. Estos límites sirven de guías para especificar la limpieza ambiental del centro de datos, pero que por varias razones, no son útiles para examinar la corrosión o para predecir los porcentajes de fallas en el hardware del ambiente del centro de datos. Primero, la determinación de la composición gaseosa no es una tarea trivial. En segundo lugar, generalmente no es un ejercicio fácil predecir el porcentaje de corrosión de una composición gaseosa. La sinergia entre ambos gases es una complicación adicional. Por ejemplo, se ha demostrado que el dióxido de azufre o el sulfuro de hidrógeno por sí solos no son muy corrosivos para la plata o el cobre, pero la combinación de estos gases con otros, tales como el dióxido de nitrógeno y/o el ozono, son muy corrosivos para el cobre y la plata (Volpe 1989). El porcentaje de corrosión del cobre es una fuerte función de la humedad relativa, mientras que el porcentaje de corrosión de la plata no depende de la humedad (Rice 1981).

Una manera muy conveniente y cuantitativa de determinar la corrosión gaseosa del ambiente del centro de datos es también el llamado método de "monitoreo reactivo" descrito en ANSI/ISA-71.04-1985. Este método expone una barra de cobre al ambiente durante un mes, y luego analiza el grosor y la química del producto corroído utilizando una reducción coulométrica para clasificar el ambiente en uno de los cuatro niveles de gravedad descritos en la Tabla 2. Pero el uso de la barra de cobre sola, tiene dos grandes limitaciones: Una, es que el cobre no es sensible al cloro, un contaminante corrosivo para muchos metales en particular; y la otra es que la corrosión del cobre es excesivamente sensible a la humedad relativa. La inclusión de una barra de plata ayuda a diferenciar las contribuciones de la corrosión de la contaminación gaseosa y de la humedad relativa. Pero si resulta que la humedad relativa tiene un rol dominante en el proceso de corrosión, entonces se puede disminuir la corrosión simplemente al bajar la humedad relativa en el centro de datos. Actualmente es una práctica frecuente incluir barras de plata junto con las de cobre para adquirir un mayor entendimiento de la química de los gases corrosivos en el ambiente.

Tabla 2: *Niveles de Corrosión Gaseosa por ANSI/ISA-71.04-1985*

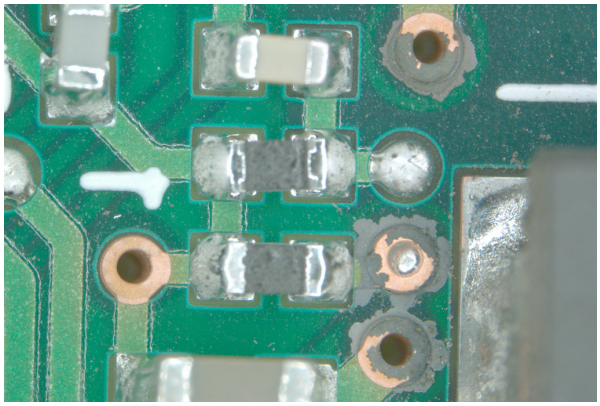

Figura 3: El ataque corrosivo del gas con presencia de azufre del cobre en un panel de circuito compatible con ROSH protegido por la terminación OSP.

Nivel de Gravedad	Nivel de Reactividad del Cobre	Descripción
G1 Suave	300Å/mensuales	Un ambiente lo suficientemente bien controlado a punto de que la corrosión no es un factor determinante en la confiabilidad del equipo.
G2 Moderado	300-1000Å/mensuales	Un ambiente en el que los efectos de corrosión se pueden medir y que pueden ser un factor en la determinación de la confiabilidad del equipo.
G3 Fuerte	1000-2000Å/mensuales	Se creará un ambiente en el que hay una alta probabilidad de un ataque corrosivo.
GX Severo	>2000Å/mensuales	Un ambiente en el que sólo se espera que sobrevivan los equipos especialmente diseñados y empacados.

Actualmente, el estándar ANSI/ISA-71.04-1985 sólo se aplica para la corrosión del cobre, pero como se explicó anteriormente, se recomienda que las barras de cobre y de plata se utilicen juntas para clasificar la corrosión del centro de datos. En otras palabras, para clasificar un centro de datos con una gravedad del nivel G1, los niveles de corrosión del cobre y la plata no deben exceder los 300Å/mensuales. Un reciente estudio acerca de la tasa de corrosión del cobre y de la plata, efectuado por IBM, de los centros de datos con fallas de hardware debido a la corrosión por escurrimiento de cobre y/o corrosión de plata, está graficado en la Figura 4. Sólo una pequeña fracción de los problemas que los centros de datos enfrentaron tenía cantidades de corrosión de cobre superiores a 100Åmensuales; y cantidades de corrosión de plata superiores a 100Å/mensuales. Se debe notar que en estos 31 sitios, el porcentaje de corrosión de la plata era típicamente igual o mayor que el nivel de corrosión del cobre. Este estudio, limitado a los centros de datos con fallas registradas de hardware, claramente indica que el porcentaje de la corrosión del cobre no es un buen indicador del potencial de las fallas del hardware. Para mejorar la predicción de fallas relacionadas con los niveles de corrosión basadas en el cobre y la plata, se necesita un estudio aleatorio de los centros de datos, con y sin fallas relacionadas a la corrosión.

El ANSI/ISA-71.04-1985 es un estándar bien establecido, ampliamente aceptado, que establece que el nivel de gravedad G1 tiene un porcentaje de corrosión de cobre inferior a 300Å/mensuales, correspondiente a un "ambiente suave lo suficientemente bien controlado al punto de que la corrosión no es un factor en la determinación de la confiabilidad del equipo"Mientras que la Figura 4 demuestra y mientras que muchos están de acuerdo en que este nivel de corrosión de cobre puede ser muy alto para una operación confiable del hardware electrónico, se necesita más trabajo para justificar la baja aceptable de los porcentajes de corrosión de cobre y de plata. Mientras tanto, un porcentaje máximo de corrosión del cobre de 300Å/ mensuales y un porcentaje máximo de corrosión de la plata de 300Å/mensuales, se debe utilizar como el límite de corrosión gaseosa aceptable para los centros de datos. Los niveles de contaminación gaseosa en un centro de datos son una función de la ubicación y de la época del año. La ubicación de interés para un monitoreo de la corrosión gaseosa es de aproximadamente 2 pulgadas (5 cm) en frente al bastidor sobre la toma de aire lateral, a una altura de marco de un cuarto y tres cuartos fuera del suelo. Idealmente, el monitoreo debería hacerse durante todo el año; pero a medida que el historial del centro de datos se va formando, el monitoreo puede estar limitado a los meses dentro de los que se sabe que hay altos niveles de contaminación gaseosa.

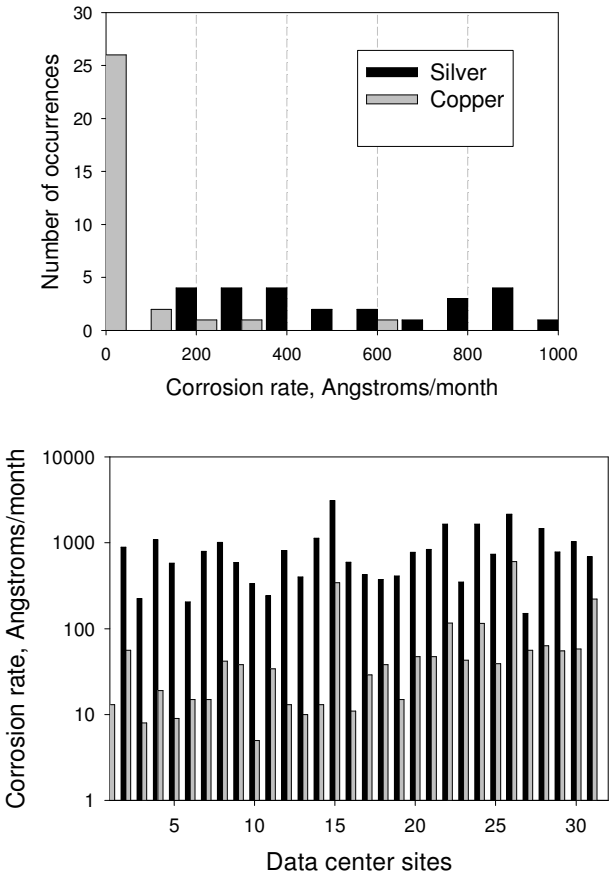

Figura 4: El equipo de TI falla en los centros de datos con casos registrados de corrosión por escurrimiento de cobre y/o plata. No indicado en la tabla superior, existen 6 casos de porcentajes de corrosión por plata superior a los 1000Å/mensuales. Se muestran 26 casos de corrosión de cobre entre 0 y 100Å/mensuales y ninguno para la plata; 2 casos para cobre y 4 para plata entre 100 y 200Å/mensuales; 2 casos para cobre y 4 para plata entre 200 y 300 Å/mensuales; y así sucesivamente. Note que, como se demuestra en la tabla superior, en estos 31 sitios con fallas de hardware conocidas debido a la corrosión, el porcentaje de la corrosión por plata era típicamente igual o mayor que el nivel de corrosión del cobre.

El método de monitoreo reactivo requiere que las barras de cobre y plata estén expuestas durante un mes para obtener una buena medida de la corrosión del ambiente. Para los centros de datos con economizadores de espacio, es necesario contar con un monitoreo en tiempo real para reaccionar rápidamente a los eventos fuera de los centros de datos, los que pueden soltar gases corrosivos que pueden discurrirse dentro de los centros de datos. Están disponibles comercialmente dos tipos de monitores reactivos en tiempo real. Uno está basado en la medición del aumento de la masa del producto corrosivo utilizando un microbalance de cristal de cuarzo. El otro determina la corrosión gaseosa al medir el porcentaje del aumento de la resistencia de las películas delgadas del metal. Los cambios en la corrosión gaseosa pueden ser detectados en tiempo real y esto puede permitir la toma de medidas preventivas, tales como impedir que el aire corrosivo exterior entre al centro de datos.

Filtración de la fase gaseosa del aire en los centros de datos.

Para los centros de datos que no caben dentro del nivel de gravedad G1 ANSI/ISA-71.04-1985 modificado para la corrosión del cobre y la plata, se les recomienda la filtración en la fase gas. El aire que

entra al centro de datos debe ser filtrado en la fase gas para prevenir que los contaminantes gaseosos entren al centro de datos. Los sopladores de la toma de aire podrían utilizarse para presurizar el centro de datos, para evitar que el aire exterior contaminado se filtre dentro del centro de datos. El aire en del centro de datos debe ser puesto de vuelta en circulación a través de los filtros de la fase gas para remover los contaminantes que se generan en el centro de datos. Con estas medidas, se recomienda que el nivel de contaminantes gaseosos esté dentro del nivel de gravedad G1 modificado ANSI/ISA-71.04.1985 para la corrosión del cobre y de la plata.

Pautas Ambientales de ASHRAE para Equipos Datacom

Para entregar una mayor flexibilidad a las operaciones de las instalaciones, particularmente con la meta de reducir el consumo de energía en los centros de datos, el comité de ASHRAE TC 9.9 ha revisitado estas especificaciones ambientales de equipos recomendados, específicamente la propuesta recomendada para las clases 1 y 2. La propuesta recomendada es la misma para estas dos clases ambientales. El resultado de este esfuerzo ha sido la expansión de la propuesta ambiental operacional recomendada. El propósito de la propuesta recomendada es entregar orientación a los operadores de los centros de datos acerca del mantenimiento de una alta confiabilidad, y a su vez, de operar sus centros de datos de la forma más rentable en cuanto a términos energéticos. El paquete de propuestas recomendadas admisibles se encuentra en el lugar donde los fabricantes de TI prueban sus equipos con el fin de verificar que estos sí funcionarán dentro de las condiciones ambientales respectivas. Los fabricantes normalmente harán una cantidad de pruebas anteriores al anuncio de un producto para verificar que el producto alcanza todos los requerimientos de funcionalidad en esta recomendación ambiental. Esta no es una declaración de confiabilidad, si no que es una sobre la funcionalidad del equipo de TI. Sin embargo, la propuesta sí **es** una declaración de confiabilidad. Para largos períodos de operación de equipos, los fabricantes de TI recomiendan que los operadores del centro de datos mantengan su ambiente dentro de la propuesta recomendada. Exceder los límites recomendados durante períodos cortos de tiempo no debería ser un problema, pero el funcionar cerca de los límites permisibles durante meses podría resultar en temas de confiabilidad aumentada. Al revisar los datos disponibles de un grupo de fabricantes de TI, la propuesta operacional recomendada expandida el 2008, es el paquete de propuestas convenido aceptable para todos los fabricantes de TI, y la operación dentro de esta propuesta no comprometerá la confiabilidad total del equipo de TI. Los datos de la propuesta recomendada anterior y del año 2008 están indicados en la Tabla 3.

Tabla 3. *El Ambiente Recomendado de ASHRAE para la Temperatura y la Humedad(ASHRAE 2009b)*

	Versión 2004	Versión 2008
Baja Temperatura Final	20°C (68 °F)	18°C (64.4 °F)
Alta temperatura final	25°C (77 °F)	27°C (80.6 °F)
Baja Humedad Final	40% de humedad relativa	Punto de condensación 5.5°C (41.9°F)
Alta Humedad Final	55% de humedad relativa	Humedad relativa del 60% y un punto de condensación de 15°C (59°F)

Los rangos se aplican en el interior de todos los equipos en el centro de datos (excepto donde los fabricantes de TI especifican otros rangos). Se necesita prestar atención para que se alcancen las condiciones interiores apropiadas para la porción superior de los bastidores del equipo de TI. La temperatura del aire de la entrada en muchos centros de datos tiende a ser más tibia en la porción superior del bastidor, especialmente si el aire tibio reducido del bastidor no tiene una ruta de salida directa hacia las unidades de manejo del aire. Este aire más tibio también afecta la humedad relativa que resulta en valores inferiores en la porción superior del bastidor.

Los detalles de las nuevas pautas están documentados en la segunda edición del libro de Pautas Térmicas (Pautas Térmicas para los Ambientes de Procesamiento de Datos, Segunda Edición, ASHRAE 2009b).

Resumen de los Límites ambientales aceptables recomendados

Los límites recomendados de la temperatura, humedad, polvo y gas están resumidos en la siguiente tabla:
Tabla 4. *Los Ambientes Recomendados de ASHRAE*

Ambiente de operación recomendado[1, 4]	
Temperatura	18°C (64.4 °F) a 27°C (80.6 °F)[4]
Baja humedad final	Punto de condensación de 5.5°C (41.9 °F
Alta humedad final	60% de humedad relativa o un punto de condensación de 15°C (59 °F)
Contaminación gaseosa	El nivel de gravedad G1 según ANSI/ISA 71.04-1985[2] el que establece que la tasa de reactividad de las barras de cobre deben ser inferiores a 300Å/mensuales (≡ 0.0039 μg/cm^2-horas de aumento de peso) [6]. Además, el porcentaje de reactividad de las barras de plata son inferiores a 300Å/mensuales diarios (≡ 0.0035 μg/cm^2-horas de aumento de peso) [7]. El monitoreo reactivo de la corrosión de los gases debe ser conducido a aproximadamente 2 pulgadas (5 cm) enfrente al bastidor sobre la entrada de aire lateral, a una altura de marco de un cuarto y de tres cuartos sobre el suelo o donde la velocidad del aire sea mayor.
Contaminación particulada	1. Los centros de datos deben alcanzar el nivel de limpieza de ISO 14644-1 clase 8. a. Para los centros de datos sin economizadores de partes exteriores, la limpieza ISO 14644-1 clase 8 se puede lograr con la siguiente filtración: i. El aire de la habitación puede ser filtrado constantemente con los filtros MERV 8. ii. El aire que entra a los centros de datos se puede filtrar por medio de filtros MERV 11 o de preferencia MERV 13. b. Para los centros de datos con economizadores exteriores, la elección de los filtros para lograr una limpieza de ISO clase 8 depende de las condiciones específicas presentes en los centros de datos. 2. La humedad relativa delicuescente de la contaminación particulada debería ser superior al 60% RH[3]. 3. Los centros de datos deben estar libres de triquitas de zinc[5].
Ambiente no-operacional recomendado[4]	
Temperatura	5°C (41 °F) a 45°C (113 °F)
Humedad relativa	8% a 80%
Alta humedad final	Punto de condensación de 27°C (80.6 °F)
Contaminación gaseosa	El nivel de gravedad G1 según ANSI/ISA 71.04-1985[2] el que establece que la tase de reactividad de las barras de cobre deben ser inferiores a 300Å/mensuales (≡ 0.0039 μg/cm^2-aumento de peso por hora) [6]. Además, el porcentaje de reactividad de las barras de cobre deben ser inferiores 300Å/mensuales (≡ 0.0035 μg/cm^2-aumento de peso por hora) [7]. El monitoreo de la corrosión gaseosa debe ser conducido a aproximadamente 2 pulgadas (5 cm) por el frente del bastidor, sobre la entrada de aire lateral, a una altura de marco de un cuarto y tres cuartos sobre el nivel del suelo. Note que debido a que la corrosión gaseosa es una función de la velocidad del aire, el hecho de medir la corrosión en una máquina inoperante, sin flujo de aire, entregará una lectura de corrosión inferior que si la máquina estuviera funcionando.
Contaminación Particulada	1. Los centros de datos deben alcanzar el nivel de limpieza de ISO 14644-1 clase 8. a. Para los centros de datos sin economizadores exteriores, el nivel de limpieza ISO 14644-1 se puede lograr con la simple elección del siguiente sistema de filtración: i. El aire de la habitación puede ser filtrado constantemente por medio de filtros MERV 8. ii. El aire que entra a los centros de datos se puede filtrar por medio de filtros MERV 11 o de preferencia MERV 13.

	b. Para los centros de datos sin economizadores exteriores, la elección de los filtros para alcanzar la limpieza ISO clase 8, depende de las condiciones específicas presentes en los centros de datos. 2. La humedad relativa delicuescente de la contaminación particulada debería ser superior al 60% RH[3]. 3. Los centros de datos deben estar libres de triquitas de zinc[5].

Notas:

1. La contaminación gaseosa es medida aproximadamente a 2 pulgadas (5 cm) por el frente del bastidor, sobre la entrada de aire lateral, a una altura de marco de un cuarto y tres cuartos sobre el nivel del suelo. Reducir la tasa de la temperatura máxima ambiental en 1°C (1.8 °F) para cada 300m (984 pies) sobre los 1800m (5906 pies). Para largos períodos de tiempo, los fabricantes de TI recomiendan que los operadores del centro de datos mantengan el grupo recomendado para la máxima confiabilidad. El paquete de propuestas admisibles es donde los fabricantes de TI prueban su equipo con el fin de verificar que sus equipos funcionarán. Esta no es una declaración de confiabilidad, si no más bien una sobre la funcionalidad del equipo de TI.
2. ANSI/ISA-71.04.1985. "Environmental conditions for process measurement and control systems: Airborne contaminants. (Condiciones Ambientales para las mediciones del proceso y sistemas de control: Contaminantes Aerotransportados") Instrumento de la Sociedad de América, Research Triangle Park, NC, 1985.
3. La humedad relativa delicuescente de la contaminación particulada es la humedad relativa en la cual el polvo absorbe suficiente agua para mojarse e incita la corrosión y/a la migración iónica.
4. La máquina debe estar dentro de un ambiente que alcanza la especificación del ambiente operacional recomendado por al menos un día antes de ser encendido.
5. Los residuos de la superficie son recolectados al azar desde 10 áreas del centro de datos, en un disco de diámetro de 1.5 cm. con una cinta conductora eléctrica pegajosa sobre un eje de metal Si la examinación de la cinta pegajosa bajo un microscopio de electrones revela que no hay presencia de triquitas de zinc, los centros de datos se consideran libres de éstas.
6. La derivación de la equivalencia entre el porcentaje del crecimiento del grosor del producto de corrosión de cobre en Å/mes y el porcentaje de peso ganado, nos hace asumir que Cu_2S y Cu_2O crecen en iguales proporciones.
7. La derivación de la equivalencia entre el porcentaje de crecimiento del grosor del producto de corrosión de la plata en Å/mes y el porcentaje de peso ganado nos hace suponer que Ag_2S es el único producto de corrosión.

Referencias

- ASHRAE Estándar 52.2-2007, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, 2007 (Método de Testeo para los Dispositivos de Limpieza del Aire y Ventilación General para la Eficiencia de la Extracción por el Tamaño de las Partículas, 2007).*
- Libro ASHRAE, Contaminación Particulada y Gaseosa en los ambientes Datacom, 2009a.
- Libro ASHRAE, Thermal Guidelines for Data Processing Environments, Second Edition, 2009b (Pautas Térmicas para los Ambientes del Procesamiento de Datos, Segunda Edición, 2009b).
- ANSI/ISA-71.04-1985, *Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants (Condiciones Ambientales para la Medición del Proceso y los Sistemas de Control: Contaminantes aerotransportados)*, ANSI/ISA-La Instrumentación, los Sistemas y la Sociedad de Automatización, 3 de Febrero de 1896.
- ANSI/ASHRAE Estándar 127-2007, Method of Testing for Rating Computer and Data Processing Room Unitary Air Conditioners (Método de Testeo para Calificar Aires Acondicionados Unitarios del Cuarto de Procesamiento de Datos y de Computadores de ANSI/ASHRAE), 2007.
- Bennett, H.E., Peck, RL., Burge, D.K., Bennet, J.M., *Formation and growth of tarnish on evaporated silver films (Formación y crecimiento del deslustre sobre las películas de plata evaporadas)*, Journal of Applied Physics (Diario de Física Aplicada), 1969, 40 (8), pp. 3351-3360.
- Brusse J., Sampson M., NASA, Triquita de zinc: La causa escondida de la falla de equipos, TI Profesional, v 6, n 6, p 43-46, Nov/Dic 2004.

- Crossland, W.A., Knight, E., Wright, C.R., *El testeo del deslustre acelerado de los contactos y conectores que emplean los contactos de aleación del cobre.*, Elect. Contactos, 1973, Proc. Holm Weminar, pub. IIT Chicago, pp. 265-282.
- Comizzoli R. B., Frankenthal R. P., Lobnig R. E., Peins G. A., Psato-Kelty L. A., Siconolfi D. J and Sinclair J. D., Bell Laboratories, *Corrosión de materiales y dispositivos electrónicos mediante partículas atmosféricas submicrométricas*, The Electrochemical Society Interface (Interface de la Sociedad Electromecánica), Feb 1993.
- Cullen D. and O'Brien G., UL Laboratories, *Implementación de la inmersión de terminaciones de superficies PCB de plata en conformidad con los Laboratorios Underwriters,* IPC Printed Circuits Expo, 2004 (Circuitos IPC impresos, 2004).
- Hillman C., Arnold J., Binfield S., Seppi J., DfR Solutions, *Silver and sulfur: Case studies, physics and possible solutions (Plata y Azufre: Estudios de Caso, Física y posibles soluciones)*
- ISO 14644-1, *Cleanrooms associated controlled environments--Part 1 (Ambientes controlados asociados con habitaciones limpias Parte-1): Classification of air cleanliness (Clasificación de la limpieza del aire),* 1999.
- Lahtinen, R. and Gustafsson T., The Driving Force Behind Whisker Growth (La Fuerza Detrás del Crecimiento de Triquitas). Metal Finishing, 2008.
- Mazurkiewicz P., HP Corp., "*Accelerated corrosion of PCBs due to high levels of reduced sulfur gases in industrial environments (Corrosión Acelerada de los PCB debido a los altos niveles de gases reducidos en azufre dentro de los ambientes industriales),"* Procedimientos del ISTFA 32, Nov 12-16, 2006, Austin TX.
- Mukadam, N. et. al, "*Planar Microvoiding in Lead-Free Second Level Interconnect Solder Joints (Microcavidades Planas en Juntas de Soldaduras de Interconexión de Segundo Nivel libres de Plomo*", Intel, SMTA Proceedings, pg 293, Chicago, 2006.
- Ortiz, S. , Servicios de Limpieza de Centros de Datos Procesador. Soc., vol. 28, Issue 14, Abril 7, 2006, pg. 4, http://www.processor.com/
- Peterson P. J., comunicaciones privadas, Junio de 2009.
- Reid M., Punch J., Ryan C., Franey J., Derkits G. E., Reents W. D. and Garfias L. F., Universidad de Limerick, The corrosion of electronic resistors, IEEE Trans on Components and Packaging Technologies,(La corrosión de los resistores eléctricos, IEEE Trans en Tecnologías y Componentes de Empaque, vol 30. Dic 2007)
- Rice D. W., Cappell R. J., Kinsolving W. and Laskowski J. J. , IBM Corporation, *La corrosión de los metales al interior*, J. Electrochem. Soc., pg.891-901, Abril 1980.
- Rice D. W., Peterson P., Rigby E. B., Phipps P. B. P., Cappell R. J. and Tremoureux, IBM Corporation, Corrosión Atmosférica del cobre y de la plata, J. Electrochem. Soc., pg.275-284, Feb 1981.
- Sahu A. K., President , National Solid Waste Association of India, *"Present Scenario of Municipal Solid Waste Dumping grounds in India,"* (Escenario actual de los basurales municipales de residuos sólidos en India) International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Chennai, India, Sept 2007.
- Schueller R., Dell Corp, "*Creep corrosion of lead-free printed circuit boards in high sulfur environments,"(La corrosión por escurrimiento de los paneles de circuitos impresos sin plomo, altos en ambientes azufrados)* SMTA Int'l Proceedings, Oct 2007.
- Singh P., Schmidt. R. R. and Prisco J., IBM Corporation ., *Contaminación Gaseosa y Particulada: El efecto sobre la confiabilidad y el monitoreo del computador.*,ASHRAE 2009.
- Singh P., IBM Corporation ,Comunicación Privada, 2009.
- Veale R., Rockwell International, *"Reliability of PCB alternate surface finishes in a harsh industrial environment (La confiabilidad de una superficie alterna PCB termina en un duro ambiente industrial)*. SMTA Int'l Proceedings, 2005.
- Volpe L., Peterson P. J., *Atmospheric sulfidation of silver in a tubular corrosion reactor (La sulfurización atmosférica de la plata dentro de un reactor de corrosión tubular)*, IBM Corp, Corrosion Science, V 29, n 10, p 1179-1196, 1989.
- Volpe L., IBM Corp., *Environmental factors in indoor corrosion of metals (Factores ambientales de la corrosión en el interior de los metales)*, IBM Informe Técnico Interno, 1989.

- Xu C., Flemming D., Demerkin K., Derkits G., Franey J., Reents W., Alcatel-Lucent, *"Resistencia a la corrosión de las terminaciones finales PWB,* APEX 2007.
- Crossland, W.A., Knight, E., Wright, C.R., *The accelerated tarnish testing of contacts and connectors employing silver alloy contacts*, Elect. Contacts, 1973, Proc. Holm Webinar, pub. IIT Chicago, pp. 265-282.

Apéndice A: Relación de μg/cm^2.hora y Å/30 días porcentajes de corrosión para el cobre y la plata

Los informes acerca de la corrosión atmosférica de los metales a menudo reportan niveles de corrosión en la medida del porcentaje de aumento de peso enμg/cm^{2}hora. ANSI/ISA Estándar 71.04-1985 reporta tasas de corrosión en base al aumento del grosor producto de corrosión en Å/mes.

La relación entre los dos porcentajes de corrosión de plata se obtiene como resultado a continuación. En este cálculo se asume que Ag_2S es el único producto de corrosión y que la densidad de Ag_2S es 7.23 g/cm^3.

$$\begin{aligned}\text{Silver specimen weight gain of } 1\mu g &\equiv \frac{2\times 107.9+32}{32}\ \mu\text{g of } Ag_2S\\ &\equiv 7.74\times 10^{-6}\ \text{g of } Ag_2S\\ &\equiv \frac{7.74\times 10^{-6}}{7.23}\ \text{cm}^3 \text{ of } Ag_2S\\ &\equiv 1.07\times 10^{-6}\ \text{cm}^3 \text{ of } Ag_2S\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1\ \mu\text{g/cm}^2\text{.hour} &\equiv 1.07\times 10^{-6}\ \text{cm/hour}\\ &\equiv 1.07\times 10^{-6}\times 10^{8}\ \text{A/hour}\\ &\equiv 107\times 24\times 30\ \text{A/30 days}\\ &\equiv 7.7\times 10^{4}\ \text{A/30 days}\end{aligned}$$

Si asumimos que el producto de corrosión de la plata es principalmente Ag_2S, entonces una tasa de crecimiento del producto de corrosión de 300Å/mensuales es equivalente a 0.0039 μg/cm^2.tasa por hora de aumento de peso.

La relación entre los dos porcentajes de corrosión de cobre se obtiene como el resultado a continuación. En este cálculo, se asume que Cu_2S es el único producto de corrosión y que la densidad de Cu_2S es de 5.6 g/cm^3.

$$\begin{aligned}\text{copper specimen weight gain of } 1\mu g &\equiv \frac{2\times 63.55+32}{32}\ \mu\text{g of } Cu_2S\\ &\equiv 5\times 10^{-6}\ \text{g of } Cu_2S\\ &\equiv \frac{5\times 10^{-6}}{5.6}\ \text{cm}^3 \text{ of } Cu_2S\\ &\equiv 0.9\times 10^{-6}\ \text{cm}^3 \text{ of } Cu_2S\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1\ \mu\text{g/cm}^2\text{.hour} &\equiv 0.9\times 10^{-6}\ \text{cm/hour}\\ &\equiv 0.9\times 10^{-6}\times 10^{8}\ \text{A/hour}\\ &\equiv 90\times 24\times 30\ \text{A/30 days}\\ &\equiv 6.4\times 10^{4}\ \text{A/30 days}\end{aligned}$$

La relación entre los dos porcentajes de corrosión de cobre se obtiene como el resultado a continuación. En este cálculo se asume que Cu_2O es el único producto de corrosión y que la densidad de Cu_2O es de 6 g/cm^3.

$$\text{copper specimen weight gain of } 1\mu g \equiv \frac{2\times 63.55+16}{16}\ \mu\text{g of } Cu_2O$$
$$\equiv 8.94\times 10^{-6}\ \text{g of } Cu_2O$$
$$\equiv \frac{8.94\times 10^{-6}}{6}\ \text{cm}^3 \text{ of } Cu_2O$$
$$\equiv 1.5\times 10^{-6}\ \text{cm}^3 \text{ of } Cu_2O$$

$$1\ \mu\text{g/cm}^2\text{.hour} \equiv 1.5\times 10^{-6}\ \text{cm/hour}$$
$$\equiv 1.5\times 10^{-6}\times 10^{8}\ \text{A/hour}$$
$$\equiv 1.5\times 10^{2}\times 24\times 30\ \text{A/30 days}$$
$$\equiv 10.8\times 10^{4}\ \text{A/30 days}$$

Si asumimos que el cobre corroe a Cu_2S y Cu_2O en iguales proporciones, podemos estimar que la relación de las dos tasas de corrosión de cobre es:

$$1\ \mu\text{g/cm}^2\text{.hour} \equiv 8.6\times 10^{4}\ \text{A/30 days}$$

Si asumimos que el producto de corrosión del cobre es de 50% Cu_2S y 50% Cu_2O, entonces el nivel de crecimiento del producto de corrosión de 300Å/mensuales es equivalente a 0.004 µg/cm^2.índice de hora de obtención de peso. Entonces el nivel de crecimiento del producto de corrosión de, 300Å/mensuales es equivalente a0.0035 µg/cm^{2}tasa por hora de aumento de peso.

Traducido previa autorización. Todos los derechos reservados. © (2009) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Traducido y Distribuido por (IBM Corp.). ASHRAE no asume responsabilidad alguna en la precisión de la traducción. Para obtener la edición en Inglés, contáctese con ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 EUA www.ashrae.org