



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL DETERIORO POR EFECTOS
AMBIENTALES EN EQUIPO ELECTRÓNICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

P R E S E N T A:

IRLIB BELÉN BLANCAS RÍOS

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO ORTIZ PRADO



CD. UNIVERSITARIA

2008

*A mi madre
por darme todo su amor, comprensión y apoyo
durante toda mi vida*

AGRADECIMIENTOS

A mi familia integrada por Hilda Ríos Juárez, Irma Juárez Medina, Israel Blancas Ríos, Hilda Michelle Blancas Moreno y Ender Israel Blancas Moreno por todo el apoyo, amor y paciencia que me han brindado en todas las etapas de mi vida.

A la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM) por las facilidades proporcionadas en sus instalaciones y equipo.

Al Dr. Armando Ortiz Prado por brindarme la oportunidad de formar parte de su proyecto, por su asesoría y apoyo para hacer posible la realización de mi tesis.

Al Ing. Francisco Sánchez Pérez por sus asesorías, su apoyo, sus consejos y sobre todo su amistad.

Al Dr. Germán Álvarez Lozano por su colaboración decisiva en la obtención de imágenes mediante microscopía electrónica de barrido.

Al M.I. Ignacio Cueva Güitrón por sus comentarios y aportación para el desarrollo de mi tesis.

Al Dr. Jesús Manuel Dorador González por haberme dado la oportunidad de formar parte del grupo de Ingeniería Mecatrónica.

Al Dr. Vicente Borja Ramírez por el estímulo que me ha proporcionado.

Al M.I. Héctor Mejía Ramírez al Ing. Víctor Manuel Vázquez Huarota por su amistad y asesoría durante mi trayectoria escolar.

A mis compañeros Álvaro Contreras García, Oscar Medina, José Antonio Gómez Ramírez por darme su amistad.

Al Ing. Luis Humberto Soriano Sánchez por su amistad, consejos y confianza que me ha brindado desde el inicio de mi carrera. Al Fis. Juan Velásquez Torres por sus enseñanzas, sus consejos y amistad proporcionada durante mis estudios. Al Ing. Francisco José Castillo Cortés que de igual manera me ha brindado consejos y amistad en mi trayectoria escolar.

A todos los profesores que fueron partícipes en mi formación durante mi estancia dentro de la Facultad.

A Mario Alberto Flores Solares por ser mi motivo para esforzarme día a día y tratar de dar lo mejor de mí misma y así lograr mis metas.

A mis amigos Rodrigo Córdova, Servando Martínez, Omar Aguirre, Alberto Sánchez, Sergio Castañeda, Emmanuel Cruz, por su amistad sincera e incentiva durante nuestra convivencia escolar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA CORROSIÓN

| | |
|--|----------|
| <i>1.1.- Definición de Corrosión.....</i> | <i>1</i> |
| <i>1.2.- Causas de la Corrosión.....</i> | <i>1</i> |
| <i>1.3.- La Corrosión Atmosférica.....</i> | <i>2</i> |
| <i>1.4.- Tipos de Atmósferas.....</i> | <i>3</i> |
| <i>1.4.1.- Atmósfera Industrial</i> | |
| <i>1.4.2.- Atmósfera Marina</i> | |
| <i>1.4.3.- Atmósfera Urbana</i> | |
| <i>1.4.4.- Atmósfera Rural</i> | |
| <i>1.5.- Factores que Influyen en la Resistencia a la Corrosión.....</i> | <i>5</i> |
| <i>1.6.- Corrosión en Equipo Electrónico.....</i> | <i>5</i> |

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS Y FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO POR CORROSIÓN EN EQUIPO ELECTRÓNICO EN MÉXICO

| | |
|---|-----------|
| <i>2.1.- Características Climatológicas en la República Mexicana.....</i> | <i>7</i> |
| <i>2.2.- La República Mexicana y su Corrosividad Atmosférica.....</i> | <i>8</i> |
| <i>2.3.- Clasificación de Ambientes según el Grado de Corrosividad.....</i> | <i>9</i> |
| <i>2.3.1.- Categorías de Corrosividad Atmosférica</i> | |
| <i>2.3.2.- Tipos de Ambientes</i> | |
| <i>2.4.- Factores que Intervienen en el Proceso de Corrosión Atmosférica.....</i> | <i>11</i> |
| <i>2.4.1.- Temperatura</i> | |
| <i>2.4.2.- Humedad Relativa</i> | |
| <i>2.4.3.- Dirección de los Vientos</i> | |
| <i>2.4.4.- Gases</i> | |

| | |
|--|----|
| 2.5.- Características Climatológicas en Zonas Geográficas en las cuales se han Realizado Estudios en Equipo Electrónico..... | 12 |
| 2.5.1.- Área Metropolitana de la Ciudad de México | |
| 2.5.2.- Morelos (Cocoyoc – Oaxtepec, Cuernavaca) | |
| 2.5.3.- Guadalajara (Jalisco) | |
| 2.5.4.- Nayarit (Bahía de Banderas) | |
| 2.5.5.- Veracruz (Coatzacoalcos) | |
| 2.5.6.- Tamaulipas (Tampico) | |
| 2.5.7.- Tabasco (Villahermosa) | |
| 2.5.8.- Guanajuato (Celaya) | |
| 2.5.9.- Morelia (Michoacán) | |
| 2.5.10.- Querétaro (Querétaro) | |

CAPÍTULO 3

TARJETAS IMPRESAS (PCB), MICROCIRCUITOS (IC) Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS (SAMD)

| | |
|--|----|
| 3.1.- Tarjetas Impresas | 17 |
| 3.1.1.- Elementos de Interconexión | |
| 3.1.2.- Tarjeta Controladora de Teléfono | |
| 3.2.- Microcircuitos | 18 |
| 3.3.- Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos | 19 |
| 3.3.1.- Estructura de una Unidad de Disco Duro | |
| 3.4.- Principales Fallas en Equipo y Dispositivos Electrónicos..... | 21 |
| 3.4.1.- Falla Electrónica | |
| 3.4.2.- Falla Mecánica | |
| 3.4.3.- Falla Lógica | |
| 3.4.4.- Falla por Corrosión | |
| 3.5.- Factores que Conllevan al Deterioro en Dispositivos Electrónicos | 22 |
| 3.5.1.- Desgaste | |
| 3.5.2.- Temperatura | |
| 3.5.3.- Hermeticidad | |

CAPÍTULO 4

DETERIORO DE TARJETAS CONTROLADORAS DE TELÉFONO EN MÉXICO

| | |
|--|----|
| 4.1.- Pruebas de Corrosión a Circuitos Electrónicos..... | 24 |
| 4.2.- Metodología Para la Determinación del Deterioro de Componentes Electrónicos..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 4.3.- Requerimientos Específicos de Ensayo..... | 25 |
| 4.4.- Procedimiento Para la Elaboración de los Mapas de Deterioro de Tarjetas Impresas de Teléfono | 26 |
| 4.5.- Análisis del Equipo Telefónico | 27 |
| 4.5.1.- Análisis de las Muestras Provenientes de Tampico | |
| 4.5.2.- Análisis de las Muestras Provenientes del Área Metropolitana de la Cd. De México | |
| 4.5.3.- Análisis de las Muestras Provenientes de la Región de Oaxtepec-Cocoyoc | |
| 4.5.4.- Análisis de las Muestras Provenientes de Coatzacoalcos | |
| 4.5.5.- Análisis de las Muestras Provenientes de Bahía de Banderas, Puerto Vallarta | |
| 4.5.6.- Análisis de las Muestras Provenientes de Cuernavaca, Morelos | |
| 4.5.7.- Tarjetas Provenientes de Celaya | |
| 4.5.8.- Tarjetas Provenientes de Morelia | |
| 4.5.9.- Tarjetas Provenientes de Querétaro | |
| 4.6.- Comentarios de los Resultados Obtenidos en los Estudios Realizados a Tarjetas Controladoras de Teléfono | 33 |

CAPÍTULO 5

DETERIORO DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS (SAMD) EN MÉXICO

| | |
|---|----|
| 5.1.- Pruebas de Corrosión a SAMD | 35 |
| 5.2.- Metodología para la Determinación del Deterioro en SAMD | 35 |
| 5.3.- Requerimientos Específicos de Ensayo | 36 |
| 5.4.- Inspección de SAMD | 37 |
| 5.4.1.- Inspección de SAMD, Ciudad de México | |
| 5.4.2.- Inspección de SAMD, Guadalajara | |
| 5.4.3.- Inspección de SAMD, Tabasco | |
| 5.5.- Análisis de SAMD | 40 |
| 5.5.1.- Análisis de SAMD, Ciudad de México | |
| 5.5.2.- Análisis de SAMD, Guadalajara | |
| 5.5.3.- Análisis de SAMD, Tabasco | |
| 5.6.- Etapas del Ensayo en SAMD | 42 |
| 5.6.1.- Etapas del Ensayo, Ciudad de México | |
| 5.6.2.- Etapas del Ensayo, Guadalajara | |
| 5.6.3.- Ensayo de Tabasco | |
| 5.7.- Comentarios de los Resultados Obtenidos en los Estudios Realizados a SAMD | 70 |

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

La razón principal por la que se iniciaron estudios en equipo electrónico es la problemática que se presenta debido a las fallas ocasionadas por los efectos de la corrosión atmosférica, con el fin de corroborar la existencia de corrosión en tarjetas de equipos telefónicos de uso residencial y en Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMD).

Algunos problemas que se presentan en el mal funcionamiento de un teléfono es la falta de una buena recepción de señal, así como también se puede dar la pérdida en la marcación de números.

En el caso de los SAMD los problemas que se presentan son la pérdida de información, la dificultad para la instalación del disco duro al sistema de la computadora y el alentamiento de la máquina en operación.

En todos los equipos electrónicos estudiados se tienen diversos fenómenos, como son la formación de depósitos en las superficies de contacto, crecimientos dendríticos y la fluencia de productos corrosivos a través de la porosidad de los recubrimientos. Estos fenómenos dan lugar a la interrupción en la continuidad de la señal, la generación de un corto circuito entre los conductores, en sí todo lo que afecta el funcionamiento óptimo de los dispositivos.

Los contaminantes presentes en la atmósfera también son importantes para el deterioro que se origina en los dispositivos electrónicos propiciando la corrosión, debido a que en el medio ambiente se pueden encontrar agentes corrosivos como lo son el Cloro y el Azufre, además de otros gases y partículas suspendidas en el aire que intervienen en el proceso de corrosión atmosférica.

La acción conjunta de los factores de contaminación y los meteorológicos determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, y cuando actúan simultáneamente, aumentan sus efectos. También es importante mencionar otros factores como las condiciones

de exposición, la composición del metal y las propiedades del óxido formado, que combinados entre sí influyen en los procesos de corrosión.

La característica atmosférica más importante que se relaciona directamente con el proceso de corrosión es la humedad, que es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico.

En diversas ocasiones los equipos electrónicos dejan de funcionar correctamente por causas aparentemente mecánicas o bien eléctricas, pero según las estadísticas y los estudios implementados a éstos, la raíz del problema es el deterioro por corrosión.

El trabajo que aquí se presenta versa con tarjetas electrónicas de equipo telefónico y Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMd), los cuales provienen de diversas partes de la República Mexicana, realizando una recapitulación de las investigaciones y pruebas realizadas en éstos para comprobar que a lo largo del tiempo su funcionamiento decae debido al deterioro por corrosión atmosférica que presentan los elementos electrónicos que los componen.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA CORROSIÓN

Uno de los principales inconvenientes que se presentan en el buen funcionamiento del equipo electrónico es la corrosión, la cual es como el cáncer de los metales y aleaciones, provocando como resultado fallas catastróficas, que en la mayoría de las veces son insospechadas.

A continuación se presentan algunos conceptos de importancia en el estudio del deterioro por corrosión en equipo y dispositivos electrónicos.

1.1.- Definición de Corrosión.

La corrosión es la interacción entre un metal con el medio que lo rodea provocando de ésta manera deterioro tanto en sus propiedades físicas como químicas.

En el libro *Corrosión y Protección* [Cerrud, S., 2003], se hace mención de que existen diferentes maneras para definir el fenómeno de la corrosión, así como también existen diferentes clasificaciones de los procesos corrosivos, definiendo a la corrosión como:

- a) Destrucción de un material por reacción con su medio ambiente.
- b) Destrucción de materiales por otros medios que los directamente mecánicos.
- c) Metalurgia extractiva inversa.

1.2.- Causas de la Corrosión.

El mecanismo de la corrosión es de naturaleza electroquímica en donde la característica fundamental de éste fenómeno es que solo ocurre en presencia de un electrolito, el cual es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (casi invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de

corrosión depende sobre todo del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

Como ya se mencionó, el mecanismo de corrosión es electroquímico y su característica principal es la presencia de reacciones anódicas y catódicas, con un electrolito de resistencia óhmica reducida.

1.3.- Corrosión Atmosférica.

La composición básica de los componentes atmosféricos es prácticamente constante, algunos constituyentes pueden variar en pequeñas cantidades afectando las propiedades corrosivas del medio. Por lo tanto, la rapidez de corrosión va a variar según la atmósfera en la que se encuentren dichos elementos.

Los elementos corrosivos que se encuentran usualmente en la atmósfera son:

- Oxígeno.
- Agua.
- Dióxido de Carbono.
- Dióxido de Nitrógeno.
- Dióxido de Azufre.
- Ozono.
- Partículas suspendidas.

La proporción de oxígeno se mantiene prácticamente constante en todas las atmósferas. El oxígeno es un elemento que tiende a combinarse rápidamente con las estructuras metálicas, propiciando un fenómeno corrosivo en dichas estructuras.

La humedad (H₂O) se encuentra desde bajas cantidades en zonas áridas o desérticas hasta elevadas como por ejemplo en los trópicos. De acuerdo con algunos autores se requiere una humedad relativa de 80% para que se presenten fenómenos corrosivos, sin embargo, en el libro *Atmospheric Corrosion* [Leygraf, C., 2000], indica que en humedad por encima de 20% se pueden presentar fenómenos corrosivos.

El dióxido de carbono (CO₂) si bien no se encuentra presente en grandes cantidades puede variar según las condiciones climáticas y las regiones, sin embargo su presencia favorece la agresividad del ambiente.

El dióxido de nitrógeno (NO₂) en la atmósfera proviene, en su mayor parte de la oxidación del óxido de nitrógeno (NO) emitido por fuentes móviles. Además interviene en diversas reacciones químicas en la atmósfera que dan lugar a ozono troposférico (O₃) y partículas en suspensión menores a 2.5 micras.

Las centrales termoeléctricas, las refinerías y las fábricas de papel contribuyen con el 85% del dióxido de azufre (SO₂) en la atmósfera.

El ozono, cuya fuente fundamental es el tráfico y las emisiones industriales, se acumula más en las zonas de los alrededores de la Ciudad que están en las localidades costeras.

En cuanto a las partículas suspendidas, son generadas por los vehículos, las industrias y los basureros.

1.4.- Tipos de Atmósferas.

De acuerdo a los contaminantes que se encuentran en el aire en las diversas regiones del país, las atmósferas pueden ser clasificadas en: industrial, marina, urbana y rural.

1.4.1.- Atmósfera Industrial.

Esta atmósfera es sin duda la más crítica. Se caracteriza por la presencia de pequeñas partículas de basura, hollín y compuestos de sulfuro que emanan de la combustión, como por ejemplo: dióxido de azufre.

1.4.2.- Atmósfera Marina.

La corrosión en ambientes marinos se atribuye primariamente a la presencia de cloruros en el aire.

En zonas cercanas a la costa así como en el océano abierto, la mayor o menor presencia de elementos corrosivos provenientes del agua dependen directamente del viento.

Otros elementos corrosivos son las sales, las cuales no son la causa directa del deterioro del metal, su naturaleza higroscópica les otorga la posibilidad de favorecer la presencia como electrolíticos.

El agua dulce que puede provenir de lagos, ríos, pozos y manantiales variará su capacidad corrosiva dependiendo específicamente de donde esté localizado el cauce. Con esto se hace referencia a ciertos factores predominantes a tener en cuenta, como son la acidez y los vientos. Además de la acidez debida a los desechos industriales (si es que los hay), debe de considerarse que tanto la descomposición animal como la vegetal incrementan la acidez del agua.

1.4.3.- Atmósfera Urbana.

Este tipo de atmósfera se caracteriza por la existencia de un alto índice de contaminación, tanto de partículas como por gases nocivos para la salud. Sus principales contaminantes provienen de la combustión de materiales fósiles fundamentalmente producidas por fuentes móviles. Los contaminantes más usuales son óxidos de nitrógeno y de azufre.

1.4.4.- Atmósfera Rural.

Ésta es la menos corrosiva de la clasificación realizada, ya que no cuenta con una contaminación significativa de agentes corrosivos tales como dióxido de azufre y cloruros. El efecto corrosivo depende principalmente de los efectos discutidos anteriormente, como por ejemplo, la temperatura, la humedad relativa en el aire y el movimiento del mismo (viento).

1.5.- Factores que Influyen en la Resistencia a la Corrosión.

En general no existe un material universalmente resistente a todos los ambientes. La resistencia de un material en un ambiente determinado está definida por factores termodinámicos, electroquímicos, fisicoquímicos y metalúrgicos (*Figura 1.1.*).

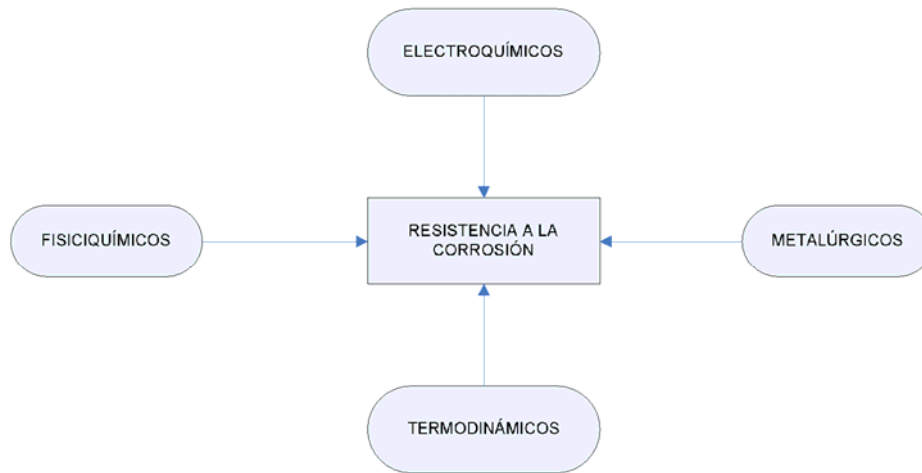


Figura 1.1. Diferentes Factores que Determinan la Resistencia a la Corrosión.
[Cerrud, S., 2003]

El tiempo requerido para lograr un estado estable de corrosión puede tomar varios años o hasta décadas.

1.6.- Corrosión en Equipo Electrónico.

La corrosión en el equipo electrónico puede ocurrir durante la manufactura, el almacenaje, el transporte o durante el servicio. Los principales agentes promotores del deterioro son humedad, cloruros, H₂S, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco y partículas suspendidas.

El deterioro del equipo electrónico puede ser causado por la corrosión, dando lugar a la falla del equipo o a una disminución en su capacidad. Con la finalidad de facilitar el

análisis del deterioro del equipo electrónico, se considera conveniente agrupar éste en tres categorías:

- Tarjetas Impresas (PCB).
- Microcircuitos (IC).
- Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMd).

Actualmente se han desarrollado diversos estudios en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM), perteneciente al departamento de Ingeniería Mecánica, en donde se ha evaluado el deterioro existente en las tres categorías en las cuales se ha clasificado el equipo electrónico, de algunas regiones del país considerando todos aquellos aspectos que intervienen en el proceso de corrosión atmosférica, es por consecuencia que en éste trabajo se presenta una recopilación de los estudios realizados, así como los resultados de ensayos en otras regiones del país.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS Y FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO POR CORROSIÓN EN EQUIPO ELECTRÓNICO EN MÉXICO

La diversidad de climas existentes en la República Mexicana tiene gran importancia cuando se habla de corrosividad atmosférica debido a que se tienen diversos parámetros, los cuales son factores fundamentales para el proceso de corrosión.

2.1.- Características Climatológicas en la República Mexicana.

Para definir los grupos climáticos se siguieron los parámetros generales establecidos por *La Clasificación Climática de Köppen* [García,E.,1988] (Tabla 2.1.), la cual cataloga éstos en función de temperatura, lluvia y cociente de Precipitación/Temperatura (P/T).

Tabla 2.1. Grupos Climáticos. [García, E., 1988]

| Clima actual y % de superficie que ocupa | Grupo climático | Temperatura media anual | Temperatura Mes más frío | Precipitación y/d P/T |
|---|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Cálidos (27.23%) | Cálidos Húmedos | 22°C | > 18°C | Lluvias todo el año |
| | Cálidos Subhúmedos | 22°C | > 18°C | Lluvias de verano P/T > 55 para tipo 2 |
| Semicálidos 9% | Semicálidos | 18°C>T>22°C | 18°C | Igual de climas cálidos |
| Templados (6.4%) | Templados | 12°C>T>18°C | -3>T<18°C | Diferencia entre tipo 1 y tipo 2 por P/T |
| Semifrío | Semifrío | 5°C >T>18°C | -3>T>18°C | Su límite no se establece por P/T sino conforme a las fórmulas r y r señaladas en el texto |
| Secos (2.3%) | Secos | Igual de cálidos y templados | | |
| Áridos (22%) | Áridos | Igual de cálidos y templados | | |

Estos tipos climáticos son los que presentan mayor superficie del territorio. En el primer caso, los secos ocupan 33% y en el segundo 22% (*Figura 2.1.*).



Figura 2.1. Clima en México. [UNEP/WHO, 1992]

2.2.- La República Mexicana y su Corrosividad Atmosférica.

Para la determinación de la corrosividad atmosférica en México es necesario considerar que el clima presenta notables variaciones debido a que va desde el desértico hasta el tropical húmedo.

La determinación del tipo de clima es función de la cantidad de energía solar recibida, temperatura (máxima, mínima), humedad, precipitación, intensidad y dirección de los vientos.

En México se considera la notable extensión de sus litorales (11,122km de acuerdo al INEGI) [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003], ya que la mayor parte de la población se concentra en el altiplano, en la costa existen ciudades importantes, en varias de

las cuales se combinan los efectos de la alta concentración de sales, típica de la costa, con la de contaminantes característicos de una intensa actividad industrial, lo cual da como consecuencia elevados grados de corrosividad atmosférica.

2.3.- Clasificación de Ambientes según el Grado de Corrosividad.

Para la clasificación de ambientes según el grado de corrosividad, la norma de consulta es la ISO 9223 enfocada a la corrosión de metales y aleaciones. Cabe mencionar que para la mejor comprensión de ésta hay que tener en cuenta las siguientes definiciones:

Tiempo de Humectación.- Periodo durante el cual una superficie metálica se encuentra cubierta por películas líquidas de electrolito que son capaces de causar corrosión atmosférica.

Categoría de Polución.- Rango numérico basado en medidas cuantitativas de sustancias específicas químicamente activas, gases corrosivos o partículas en suspensión en el aire (natural o resultante de la actividad humana) que son diferentes de los componentes normales del aire.

Símbolos y Abreviaturas.

τ : Tiempo de humectación.

P: Categoría de polución por componentes de azufre basada en los niveles de SO₂ existentes en la atmósfera.

S: Categoría de polución basada en los niveles de Cl⁻ existentes en la atmósfera.

C: Categoría de corrosividad atmosférica.

2.3.1.- Categorías de Corrosividad Atmosférica.

La categoría de corrosividad atmosférica, teniendo en cuenta la acción combinada de la polución y la humedad, se pueden ver reflejadas en la tabla siguiente (*Tabla 2.2.*).

Tabla 2.2. *Categorías de Corrosividad.* [Norma ISO 9223, 1994]

| | | Tipos de ambiente por categoría de polución P y S | | | |
|---|----------------------------------|--|---|--|---|
| | | Rural | Industrial | Marino | Industrial Marino |
| | | P: P ₀ , P ₁ S: S ₀ , S ₁ | P: P ₂ , P ₃ S: S ₁ , S ₂ , S ₃ | P: P ₀ , P ₁ , P ₂ , P ₃ S: S ₂ , S ₃ | P: P ₂ , P ₃ S: S ₃ |
| Tipos de ambiente por tiempo de humedad | Húmedo $\tau: \tau_4, \tau_5$ | C ₂ , C ₃ , C ₄ | C ₄ , C ₅ | C ₄ , C ₅ | C ₅ |
| | Seco $\tau: \tau_2, \tau_3$ | C ₁ , C ₂ | C ₂ , C ₃ , C ₄ | | |

2.3.2.- Tipos de Ambientes.

En base a la *Tabla 2.2.* quedan definidos seis tipos de ambientes diferenciados con sus correspondientes categorías de corrosividad atmosférica tal como se observa en la tabla que a continuación se presenta (*Tabla 2.3.*).

Tabla 2.3. *Tipos de Ambientes y sus Categorías de Corrosividad.* [Norma ISO 9223, 1994]

| Ambientes | | Categorías | Nivel | Grado de |
|-------------|----------------------------|--|-------------------------|--------------|
| Designación | Definición | corrosividad ISO 9223 | corrosividad CEI 815 | corrosividad |
| RS | Ambiente rural seco | C ₁ , C ₂ | 1 | Bajo |
| RH | Ambiente rural húmedo | C ₂ , C ₃ , C ₄ | 2 | Medio |
| IS | Ambiente industrial seco | C ₂ , C ₃ , C ₄ | 2 | Medio |
| IH | Ambiente industrial húmedo | C ₄ , C ₅ | 3 | Severo |
| M | Ambiente marino | C ₄ , C ₅ | 3 | Severo |
| IM | Ambiente industrial-marino | C ₅ | 4 | Muy severo |

2.4.- Factores que Intervienen en el Proceso de Corrosión Atmosférica.

Los parámetros climáticos que tienen una mayor influencia en la corrosión atmosférica son: temperatura, humedad relativa, dirección de los vientos y gases.

2.4.1.- Temperatura.

La temperatura puede afectar directa o indirectamente al proceso de corrosión. Al aumentar la temperatura, se incrementa la velocidad de las reacciones electroquímicas, pero, al mismo tiempo, se acelera la evaporación de la humedad depositada sobre el metal, disminuye la concentración de oxígeno y de otros gases disueltos en ella e incluso pueden producirse cambios en las propiedades protectoras de las capas de productos de corrosión.

2.4.2.- Humedad Relativa.

La humedad relativa es la capacidad del aire para absorber agua; siendo la relación entre la cantidad de agua que contiene el aire y la que puede contener antes de saturarse.

Se considera que una masa de aire está saturada cuando la humedad relativa es del 100%. En ese momento, el agua que ya no puede contener el aire comienza a condensarse en las partículas de polvo y otros sólidos que se encuentran en el ambiente, formando nubes y gotas de agua que cuando son lo suficientemente grandes se precipitan en forma de lluvia. Esta capacidad depende de la temperatura.

2.4.3.- Dirección de los Vientos.

Los movimientos del aire se deben a las diferencias de presión causadas por las variaciones de la temperatura.

Los principales vientos que influyen en nuestro país son: alisios, contralisios, monzónicos y ciclones tropicales.

Alisios.- Proviene del noreste y penetran hasta chocar con la Sierra Madre Oriental (a los 100° longitud oeste del meridiano de Greenwich), provocando abundantes lluvias.

Contralisios.- Son vientos que provienen del suroeste, en sentido opuesto a los alisios. Se desplazan a una altura superior a los 3000 m y sólo descienden en la parte norte del país, en las zonas esteparias y desérticas.

Monzónicos.- Son vientos cálidos que vienen del mar hacia tierra. Debido a que se encuentran cargados de humedad producen abundantes lluvias. Los vientos monzónicos se presentan principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, durante la temporada de verano.

Ciclones Tropicales (vientos irregulares).- Se forman en las regiones tropicales durante las estaciones de verano y otoño. La fuerza de estos vientos, que incluso llegan a alcanzar velocidades de 300 km/h, provoca destrucción en las regiones costeras, pero llevan lluvia a zonas esteparias donde normalmente no hay precipitaciones.

2.4.4.- Gases.

A la fecha se han identificado aproximadamente 2000 distintas especies químicas como gases atmosféricos o como constituyentes de las partículas que se encuentran en suspensión. Afortunadamente solo algunas de las especies gaseosas que existen comúnmente en la atmósfera tienen efecto desde el punto de vista corrosivo, en particular ocho gases son los de mayor influencia (CO₂, O₃, NH₃, NO₂, H₂S, SO₂, HCl, ácidos orgánicos).

2.5.- Características Climatológicas en Zonas Geográficas en las cuales se han Realizado Estudios en Equipo Electrónico.

Para el desarrollo de este estudio se han evaluado diversos especímenes provenientes de distintas regiones de la República Mexicana con la finalidad de determinar los principales factores que se involucran en el deterioro de los mismos.

2.5.1.- Área Metropolitana de la Ciudad de México.

Ubicación: 19°23' latitud norte, 99°10' longitud oeste.

Características Climatológicas: Dada la extensión territorial de la zona metropolitana de la Ciudad de México se asocian diversos microclimas los cuales van del seco o árido al templado subhúmedo con lluvia en verano. Cuenta con una temperatura promedio 16.5°C y con precipitaciones que van de 570 a 1100 mm, 2200 a 2400 m SNM. Su humedad relativa es variable de acuerdo a las estaciones del año.

Tipo de Atmósfera: De acuerdo a las zonas y considerando las fuentes emisoras, éste concepto también varia, pero en general se puede definir como Urbano.

Contaminantes Presentes: Se trata de una de las ciudades más contaminadas del planeta, en general las concentraciones de NO_x, CO₂, y SO₂ son las más representativas para la corrosión, así como partículas suspendidas.

2.5.2.- Morelos (Cocoyoc – Oaxtepec, Cuernavaca).

Ubicación:

Cocoyoc – Oaxtepec: 18°54' latitud norte, 98°58' longitud oeste.

Cuernavaca: 18°55' latitud norte, 99°44' longitud oeste.

Características Climatológicas: En la zona de Cocoyoc – Oaxtepec el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Cuenta con una temperatura promedio anual 21.9°C y con precipitación de 900 mm a 1385 mm SNM. En el caso de Cuernavaca se presentan dos microclimas, templado subhúmedo con lluvias en verano, parte norte y semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Su temperatura es de 20.7°C y su precipitación de 1146 mm a 1529 mm SNM.

Tipo de Atmósfera:

Cocoyoc – Oaxtepec: Rural.

Cuernavaca: Urbano.

Contaminantes Presentes: Propio de las prácticas agrícolas características de la región y de la presencia de contaminantes característicos de las fuentes móviles.

2.5.3.- Guadalajara (Jalisco).

Ubicación: 20°37' latitud norte, 105°14' longitud oeste.

Características Climatológicas: Caliente subhúmedo con lluvias en verano. Su temperatura media anual es de 26°C y la precipitación pluvial de 1430 mm a 2000 mm SNM.

Tipo de Atmósfera: Urbano.

Contaminantes Presentes: monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y óxidos de azufre.

2.5.4.- Nayarit (Bahía de Banderas).

Ubicación: Al norte 21°03', al sur 20°44' de latitud norte; al este 104°58' y al oeste 105°32' de longitud oeste.

Características Climatológicas: Clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media.

Tipo de Atmósfera: Marino.

Contaminantes Presentes: Contaminantes característicos de la costa (cloruros), adicional a lo cuales se considera la presencia de productos de la actividad agrícola.

2.5.5.- Veracruz (Coatzacoalcos).

Ubicación: 18°09' latitud norte, 94°25' longitud oeste.

Características Climatológicas: Caliente húmedo con lluvias en verano, las cuales son muy próximas al caliente húmedo con lluvias todo el año. Tiene 25.4 °C de temperatura media anual y precipitación de 2780 mm a 1400 mm SNM.

Tipo de Atmósfera: Marino – Industrial.

Contaminantes Presentes: Las condiciones de salinidad en combinación con la elevada humedad relativa y las emisiones producto de la industria petroquímica ahí instalada transforman a este punto en uno de los de mayor índice de corrosividad atmosférica en el país.

2.5.6.- Tamaulipas (Tampico).

Ubicación: 22°16' latitud norte, 97°47' longitud oeste.

Características Climatológicas: Caliente subhúmedo con lluvias en verano. Cuenta con una temperatura de 24.2 °C y 989 mm de precipitación anual a 12 m SNM.

Tipo de Atmósfera: Marino – Industrial.

Contaminantes Presentes: Se caracteriza por la presencia de los contaminantes típicos de una atmósfera marina, a la cual se debe adicionar los contaminantes generados por la actividad de la industria pesada en la zona.

2.5.7.- Tabasco (Villahermosa).

Ubicación: Al norte 18°39', al sur 17°15' de latitud norte; al este 91°00', al oeste 94°07' de longitud oeste.

Características Climatológicas:

Se distinguen tres subtipos de clima

- Cálido muy húmedo, con una temperatura media anual de 26.3° C.
- Cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26.3° C
- Cálido húmedo, con una temperatura media anual de 27.3° C.

La variación de temperaturas promedio anuales, tiene una amplitud de apenas 1.5° C. Las grandes masas de aire caliente y húmedo provenientes del Golfo de México provocan fuertes precipitaciones que van de los 1,500 mm en la costa, hasta los 4,000 mm en la sierra.

Tipo de Atmósfera: Marino – Industrial.

Contaminantes Presentes: Se tiene la presencia de cloruros así como SO₂.

2.5.8.- Guanajuato (Celaya).

Ubicación: 101° 48' 55'' longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 20° 31' 24'' latitud norte.

Características Climatológicas: La temperatura máxima es de 25.5° C, la mínima es de 16° C y la media anual de 20.85° C. Su clima oscila entre semiseco y semicálido con una precipitación pluvial promedio de 575.3 mm anuales.

Tipo de Atmósfera: Rural – Industrial.

Contaminantes Presentes: Se encuentran partículas suspendidas totales ocasionados por la industria y los automóviles, óxidos de nitrógeno, ozono, componentes amoniacaes y además se tiene la presencia de cloro en una muy baja proporción.

2.5.9.- Morelia (Michoacán).

Ubicación: 19° 42' 10'' latitud norte y 101° 11' 32'' longitud oeste.

Características Climatológicas: En el municipio de Morelia existen dos tipos distintos de clima: semicálido subhúmedo y templado subhúmedo, ambos con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 17.6° C y la precipitación es 773.5 mm anuales.

Tipo de Atmósfera: Rural – Industrial.

Contaminantes Presentes: Partículas suspendidas totales a causa de la actividad industrial y vehicular, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y cloruros.

2.5.10.- Querétaro (Querétaro).

Ubicación: Sus coordenadas extremas son entre los 20° 31' a 20° 56' de latitud norte y entre los 100° 9' a 100° 36' de longitud oeste.

Características Climatológicas: El clima es semiseco caracterizado por un verano cálido. La temperatura anual es 18° C, su temperatura máxima es de 36° C y la mínima de -3° C.

Tipo de Atmósfera: Rural – Industrial.

Contaminantes Presentes: Se tienen partículas suspendidas ocasionadas por la actividad vehicular, óxidos de nitrógeno, cloruros, ozono y componentes amoniacaes.

La UDIATEM ha realizado investigaciones a dispositivos provenientes de las zonas antes mencionadas y en el siguiente capítulo se hablará de las características principales del deterioro que presenta el equipo electrónico que ha estado en servicio en las regiones antes descritas.

CAPÍTULO 3

TARJETAS IMPRESAS (PCB), MICROCIRCUITOS (IC) Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS (SAMD)

Actualmente, el desarrollo del área de la electrónica ha crecido de una manera significativa, lo cual beneficia a la sociedad debido a que se tiene un mayor número de herramientas, las cuales ayudan en la vida cotidiana. Tal es el caso del equipo electrónico utilizado en oficinas, hogar, educación, entre otros, llámense teléfonos, computadoras, celulares e inclusive videojuegos.

En éste capítulo, se da a conocer la importancia de los elementos que constituyen a las categorías en que se ha dividido el equipo electrónico.

3.1.- Tarjetas Impresas.

En electrónica, una tarjeta impresa o bien circuito impreso (PCB: Printed Circuit Board), es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados desde hojas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor (*Figura 3.1.*). Las partes metálicas de éstas, tales como el patrón conductor, están protegidas habitualmente contra los efectos ambientales con un recubrimiento orgánico o mediante tratamientos de pasivación. Otras partes metálicas de un circuito impreso, tales como contactos, conectores e interruptores, están expuestas al medio sin protección alguna, y por lo tanto son altamente propensas a los efectos de la corrosión atmosférica.

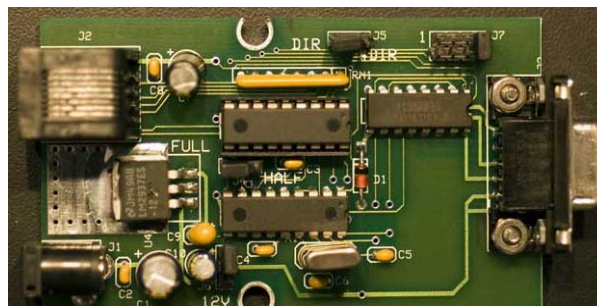


Figura 3.1. Tarjeta Impresa (PCB).

3.1.1.- Elementos de Interconexión.

Además de los conectores se debe de considerar que en la electrónica es muy común el empleo de uniones soldadas. Tanto éstas como los conectores, por sus dimensiones, pueden soportar mayor daño que los elementos constitutivos de los circuitos integrados.

3.1.2.- Tarjeta Controladora de Teléfono.

La tarjeta de un teléfono consiste de un circuito impreso típico al que están ensamblados diversos componentes como lo son microcircuitos, resistencias, inductancias y capacitancias, la cual en función con éstos, es la que recibe y manda información para obtener una llamada telefónica.

En éstos dispositivos se encuentran presentes una serie de metales y aleaciones (Cu, Al, latón, etc.) así como diversos recubrimientos (Sn, Au, Ni, Ag) lo que es característico de los equipos electrónicos.

3.2.- Microcircuitos.

Un microcircuito es un circuito electrónico constituido por componentes miniaturizados mejor conocido como IC (Integrated Circuit), microchip o chip. (*Figura 3.2*).

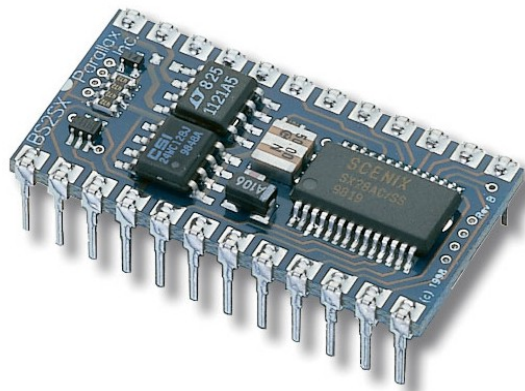


Figura 3.2.- Circuito Electrónico Constituido por Componentes Miniaturizados.

En los microcircuitos los conectores usualmente son de cobre el cual se recubre con una aleación Sn-Pb para facilitar su soldadura, además, en éstos, se utiliza una gran variedad de materiales metálicos. Sus pistas conductoras son de aluminio o cobre. Los conductores pueden ser revestidos con oro, estaño, paladio o plata.

Los microcircuitos que operan en altos niveles de potencia se corroen con menor frecuencia que los que trabajan a bajos niveles. La razón es que la temperatura en la superficie del microcircuito es más alta y por lo tanto la humedad relativa en la superficie disminuye.

3.3.- Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos.

El disco duro (*Figura 3.3.*) es un medio para almacenar información no removible y de alta capacidad, que trabaja mediante principios magnéticos, razón por la que son utilizados en las computadoras como dispositivos en donde se graba el sistema operativo, los programas de aplicaciones y los archivos que se generan durante el trabajo cotidiano, además de actuar como memoria temporal durante procesos complejos en ambientes de trabajo avanzados e inclusive como almacén de datos obtenidos de Internet, CD-ROM o de cualquier otra fuente externa.



Figura 3.3. Disco Duro Interno.

3.3.1.- Estructura de una Unidad de Disco Duro.

Se componen básicamente de la caja del sistema y su tarjeta controladora. Sus componentes son:

- Unidad de Discos (plato).
- Material de Soporte Magnético.
- Cabezal de Lectura/Escritura.
- Motor de Accionamiento de Eje o de Rotación de la Unidad.
- Motor de Impulsos o de Posicionamiento de los Cabezales.
- Tarjeta Controladora.
- Pistas, Sectores, Cilindro.

En la *Figura 3.4.* se pueden apreciar algunos de los componentes antes citados.

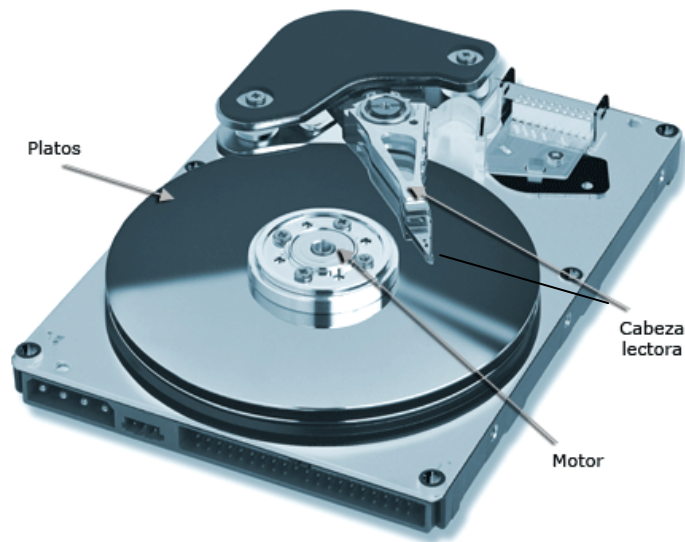


Figura 3.4. Componentes de un Disco Duro.

Uno de los componentes que se han analizado en la UDIATEM, es la cabeza de lectura/escritura. Dicho cabezal no llega a tocar la superficie del plato, *Figura 3.5.*, ya que debido a su gran velocidad de giro se genera un colchón de aire sobre el que flota a una distancia de micras, esperando en teoría que se reduzca el desgaste del disco.

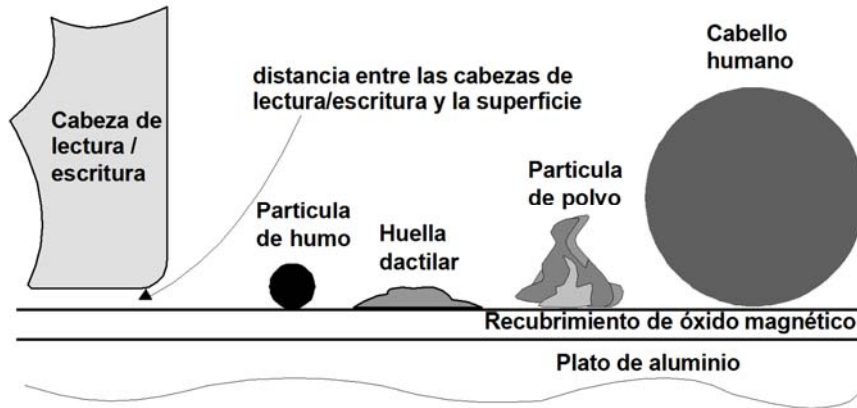


Figura 3.5. Comparación del Tamaño del Cabezal de Lectura/Escritura.

3.4. Principales Fallas en Equipo y Dispositivos Electrónicos.

El equipo y dispositivos electrónicos en general, se pueden degradar por una variedad de efectos eléctricos, magnéticos, mecánicos y químicos. Entre las causas más importantes de la degradación química está la corrosión atmosférica.

La corrosión de componentes de dispositivos electrónicos puede producir un amplio espectro de consecuencias que van desde ruido en la señal, incremento en la resistencia del circuito, corrientes en cortocircuito, entre otras situaciones que se pueden traducir en fallas intermitentes, hasta la incapacidad total del equipo para seguir operando.

Generalizando se pueden presentar cuatro tipos distintos de falla: electrónica, mecánica, lógica y por corrosión.

3.4.1.- Falla Electrónica.

Este tipo de falla se da cuando se presentan problemas en la tarjeta controladora del disco duro, haciendo que la computadora sufra una sobrecarga eléctrica que ocasione la disgregación de la tarjeta haciéndola indetectable para el sistema.

3.4.2.- Falla Mecánica.

La falla mecánica en un disco duro es más problemática, debido a que se pierde la información contenida dentro del sistema. Esta falla se puede manifestar en las cabezas de lectura/escritura, en el motor de giro del plato o bien por la posible colisión entre el plato y la cabeza de lectura/ escritura. Las procedencias de estos casos son por el movimiento de la computadora (vibraciones), electricidad estática y sobrecarga eléctrica.

3.4.3.- Falla Lógica.

Los errores lógicos pueden ir desde la invalidación de un archivo hasta el daño o la pérdida total de éste. Esta falla no es consecuencia de algún problema físico sino el tipo de información que contiene que es generada por algún problema técnico del software.

3.4.4.- Falla por Corrosión.

Durante el avance de la tecnología de los SAMD se ha optado por la miniaturización de los componentes electrónicos así como la reducción de la separación de las líneas conductoras (pistas) que ahora es de aproximadamente $0.5 \mu\text{m}$.

Una forma de contaminación para los SAMD es cuando no se garantiza hermeticidad, dejando pasar la humedad y las partículas en suspensión, formando de esta manera las condiciones potenciales para la generación de corrosión.

3.5.- Factores que Conllevan al Deterioro en Dispositivos Electrónicos.

3.5.1.- Desgaste.

Este factor se puede dar cuando el equipo electrónico tiene un uso continuo por demasiado tiempo, de tal manera, que sus componentes van presentando la degradación de

materiales o bien van perdiendo parte del recubrimiento, además de presentarse depósito de partículas de polvo.

3.5.2.- Temperatura.

En los componentes del equipo electrónico, la temperatura juega un papel muy importante, ya que si el dispositivo se llega a sobrecalentar los microcircuitos pueden dejar de funcionar ya que su rango para la temperatura va desde una temperatura ambiente de aproximadamente 25° C hasta unos 300° C.

3.5.3.- Hermeticidad.

La hermeticidad, desde un punto de vista electrónico, se utiliza para refrenar la humedad sin escapes visibles en los dispositivos eléctricos que se encuentran en los equipos electrónicos, aunque no se garantiza al 100%.

Una vez visto este capítulo, indicando los componentes fundamentales del equipo electrónico, se procede al estudio del deterioro de tarjetas controladoras de teléfono y de SAMD.

CAPÍTULO 4

DETERIORO DE TARJETAS CONTROLADORAS DE TELÉFONO EN MÉXICO

El motivo original por el que se realizó un estudio al equipo telefónico se debe a la problemática que éste presenta debido a las fallas reportadas en campo, cuyo origen se debe a procesos de corrosión. Es por consecuencia que las tarjetas impresas de éstos pueden ser utilizadas como referencia para el estudio del deterioro que presenta el equipo electrónico por efecto de la corrosión atmosférica.

4.1.- Pruebas de Corrosión a Circuitos Electrónicos.

A lo largo del tiempo, se ha demostrado que ninguna prueba de laboratorio ha podido simular los efectos de los diversos ambientes naturales encontrados en el mundo por la complejidad que presentan. Sin embargo, se han realizado diversos ensayos obteniendo avances en esta dirección, con la finalidad de determinar, de manera rápida y económica, los posibles efectos del medio ambiente sobre los materiales utilizados en la manufactura de componentes electrónicos.

Los ambientes que han sido simulados para realizar pruebas de corrosión aceleradas a circuitos electrónicos incluyen gases contaminantes de manera individual o combinación de éstos, de ésta manera se generan ciclos de temperatura y humedad de modo que las pruebas sean apegadas a un ambiente real, de tal forma que los procedimientos utilizados en pruebas con mezcla de gases están siendo cotidianamente utilizados en este tipo de estudios.

4.2.- Metodología para la Determinación del Deterioro de Componentes Electrónicos.

A continuación se presenta un diagrama de flujo (*Figura 4.1.*) propuesto por la UDIATEM, en donde se muestra la metodología a seguir para la inspección de los circuitos impresos para determinar los daños sufridos por los efectos de la corrosión atmosférica.

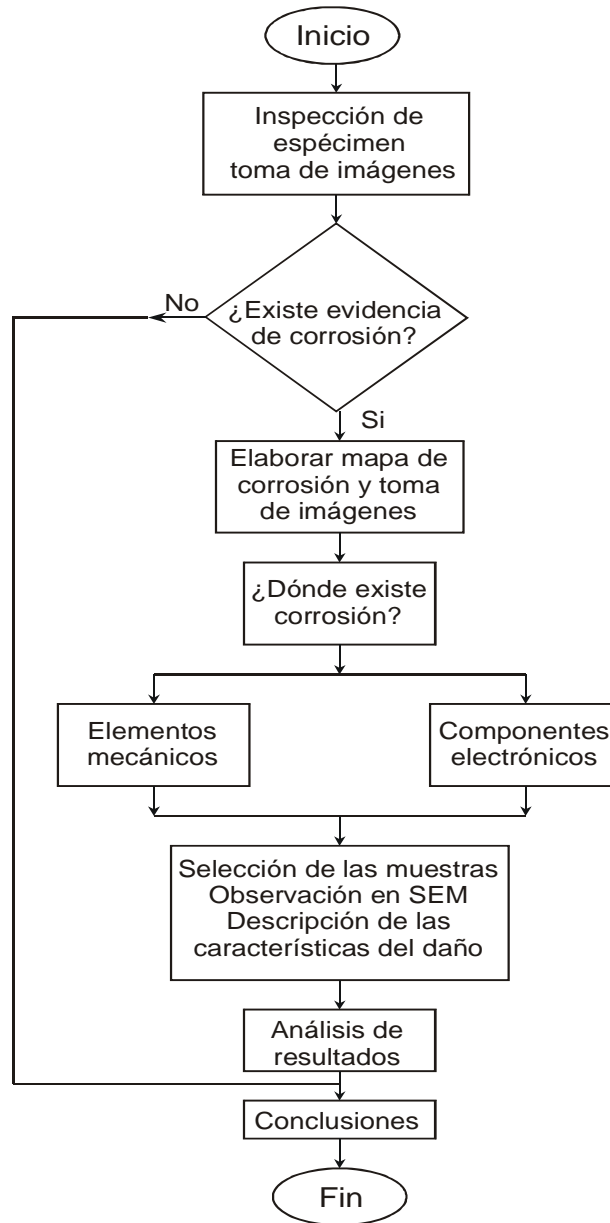


Figura 4.1. Procesos de Inspección Para Tarjetas de Teléfonos. [Cueva, I., 2006]

4.3.- Requerimientos Específicos de Ensayo.

Las características del ensayo desarrollado [Ortiz, A., 2003], son:

- Duración de la prueba: 200 ciclos.
- Humedad relativa controlada entre 80 y 95%.
- Gases contaminantes: O₃, SO₂, NO₂, existiendo la posibilidad de un tercer contaminante gaseoso (por ejemplo CO₂).

- Concentración de gases contaminantes: Mínimo 100 veces la máxima para atmósfera industrial (con el fin de acelerar el deterioro).
- Duración del ciclo de temperatura: 30 minutos.
- Tipo de ciclo de temperatura: Onda trapezoidal (facilita el control del ciclo e incrementa los tiempos de condensación).
- Temperatura máxima de 45° C y mínima de 5° C. Esto se estableció de acuerdo a las capacidades del equipo y considerando que no se presente solidificación del condensado.

4.4.- Procedimiento para la Elaboración de los Mapas de Deterioro de Tarjetas Impresas de Teléfono.

Para facilitar la interpretación de los resultados se diseñaron mapas de deterioro (*Figura 4.2.*), definiéndose cinco niveles de ataque en los componentes:

1. Depósito ligero de solución o de sales sin evidencia de corrosión
2. Depósito importante de solución o de sales sin evidencia de corrosión
3. Leve evidencia de corrosión
4. Presencia de productos de corrosión, abundantes picaduras, presencia indiscutible de fenómenos corrosivos
5. Daños importantes debidos a la corrosión, la integridad de los elementos es afectada en forma notoria.

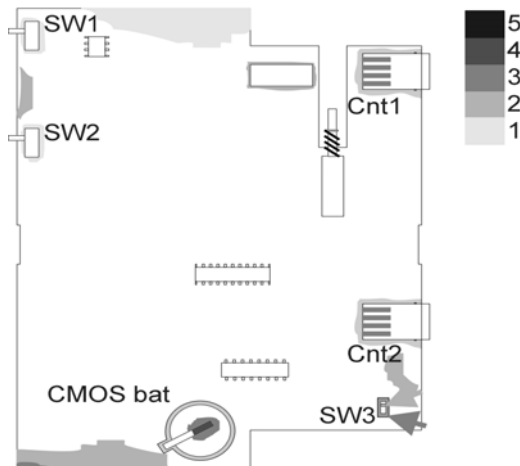


Figura 4.2. Mapa de Deterioro Típico Para una Tarjeta Impresa de un Teléfono de Uso Residencial. [Ortiz, A., 2003]

En la *Figura 4.3.* se presenta la distribución por origen de las muestras utilizadas para inspección a las tarjetas controladoras de teléfono. En total para el estudio se evaluaron 54 muestras.

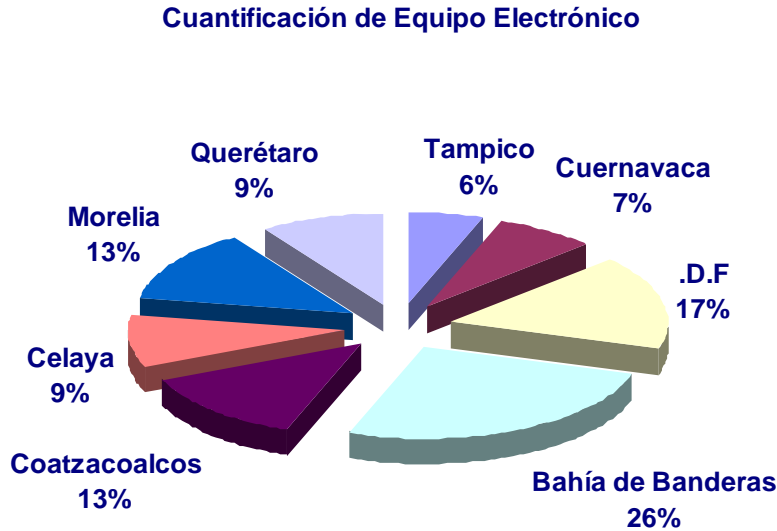


Figura 4.3. Cuantificación del Equipo Sobre el Cual se Realizó el Estudio. [Ortiz, A., 2003]

4.5.- Análisis del Equipo Telefónico.

4.5.1.- Análisis de las Muestras Provenientes de Tampico.

Los teléfonos provenientes de Tampico se encontraban en operación y fueron retirados con la finalidad de determinar el por qué de algunas fallas intermitentes que se habían presentado.

En los interruptores (*Figura 4.4.*) se tiene una zona con acumulación de agua, en donde existe una reducida separación entre la carcasa (acero cromado) y la manija del interruptor, dando lugar al deterioro de éste.

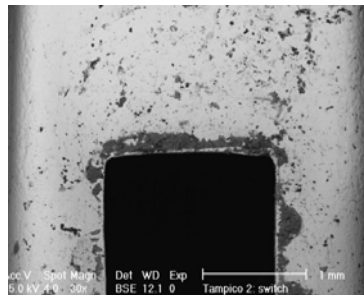


Figura 4.4. Carcasa de interruptor. [Ortiz, A., 2003]

En las muestras provenientes de Tampico se encontró que el cloro está presente en niveles por encima del límite detectable, tal es el caso de la batería de la memoria del aparato telefónico (*Figura 4.5.*).

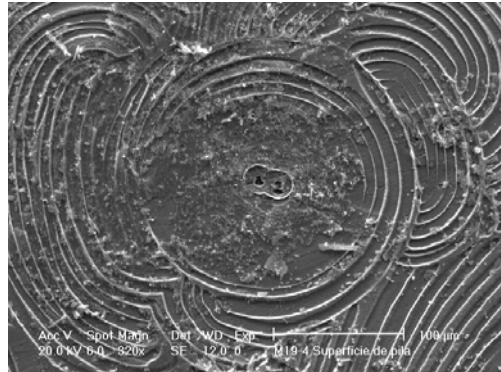


Figura 4.5. *Patrones de corrosión (cloruros).*[Ortiz, A., 2003]

4.5.2.- Análisis de las Muestras Provenientes del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

En estas muestras fue relativamente difícil encontrar evidencia de corrosión en muchas partes de los circuitos integrados.

En el conductor de la resistencia mostrada en la *Figura 4.6.* se aprecia que el recubrimiento de estaño se encuentra prácticamente sin deterioro y que los depósitos son básicamente óxidos.

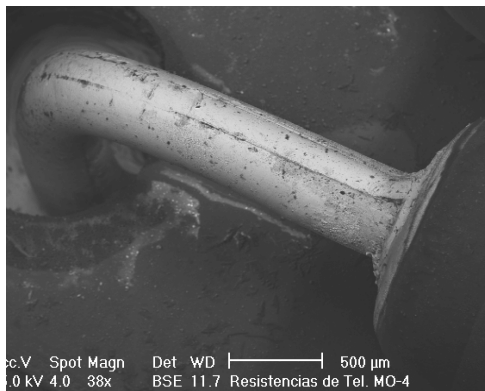


Figura 4.6. *Conductor de resistencia.* [Ortiz, A., 2003]

4.5.3.- Análisis de las Muestras Provenientes de la Región Oaxtepec-Cocoyoc.

Las observaciones realizadas muestran una importante precipitación de compuestos de azufre y cloruros dado que se trata de una atmósfera rural.

Durante el estudio se observó que los productos de corrosión se caracterizan por la presencia de depósitos de cloruros combinados con compuestos de azufre en menor proporción (*Figura 4.7.*).

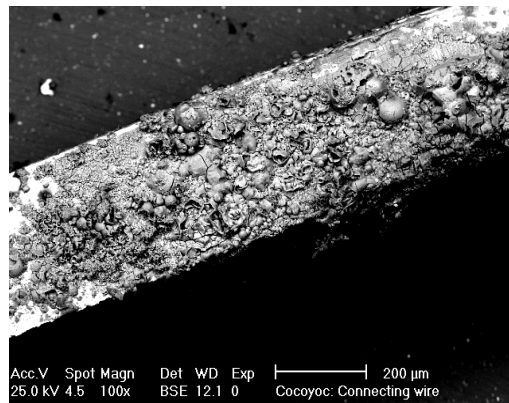


Figura 4.7. Productos de corrosión en un alambre de cobre recubierto con níquel y con un depósito exterior de oro. [Ortiz, A., 2003]

Los depósitos analizados permitieron observar la presencia de cloruros y cantidades menores de azufre combinado con oxígeno, esto sobre conectores de latón (*Figura 4.8.*).

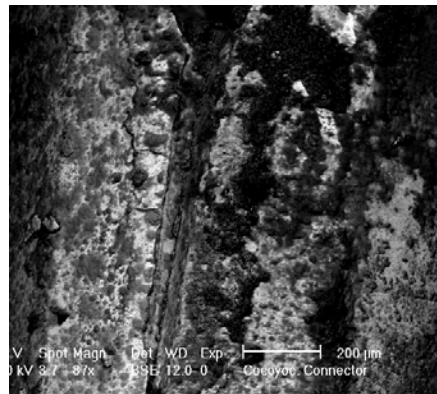


Figura 4.8. Conector de latón en contacto con un alambre recubierto con oro. En general la superficie se ve deteriorada por efecto de la corrosión (zonas oscuras). [Ortiz, A., 2003]

4.5.4.- Análisis de las Muestras Provenientes de Coatzacoalcos.

En estos equipos es casi nula la formación de condensado además de que existe la presencia de cloruros y sulfuros (*Figuras 4.9. y 4.10.*).

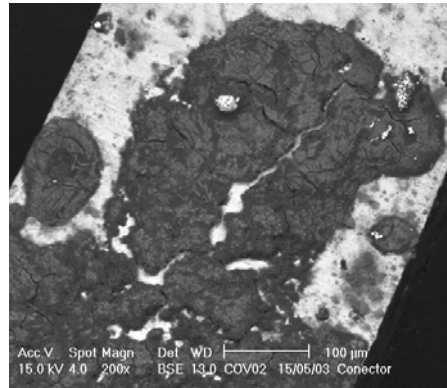


Figura 4.9. A través del recubrimiento de oro se lleva a efecto el ataque de la capa intermedia de níquel y del propio cobre del conductor. [Ortiz, A., 2003]

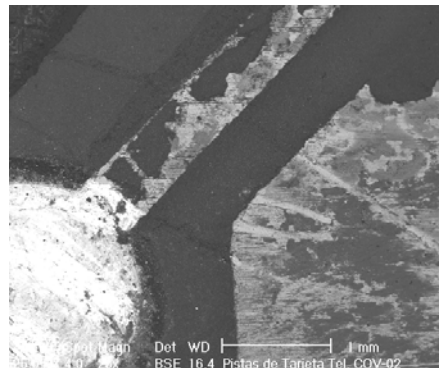


Figura 4.10. Detalle de una sección de la pista de la tarjeta impresa en una zona de soldadura. [Ortiz, A., 2003]

4.5.5.- Análisis de Muestras Provenientes de Bahía de Banderas, Puerto Vallarta.

Para el análisis se tomaron muestras de pines de conexión, resistencias e interruptores, en los cuales el deterioro es significativo y en donde actúa como agente corrosivo el cloro (*Figuras 4.11. y 4.12.*).

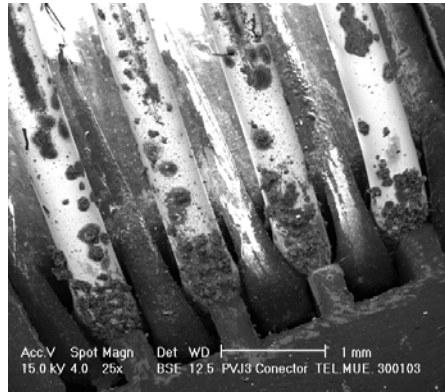


Figura 4.11. Formación de depósitos en pines de conexión recubiertos de oro. [Ortiz, A., 2003]

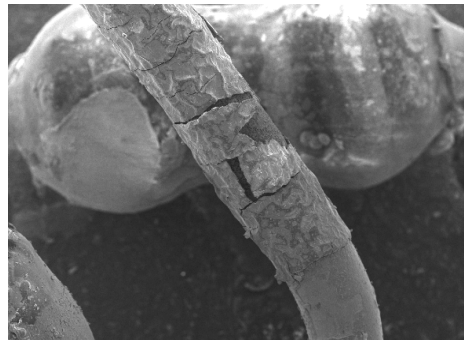


Figura 4.12. Conector de una resistencia en donde el cloro genera un rápido deterioro del recubrimiento y su desprendimiento del conductor. [Ortiz, A., 2003]

4.5.6.- Análisis de Muestras Provenientes de Cuernavaca, Morelos.

En las tarjetas provenientes de esta región, el deterioro fue mínimo, sin embargo, en algunas de éstas se observó una gran cantidad de depósitos a causa del cloro y del azufre (*Figura 4.13.*).

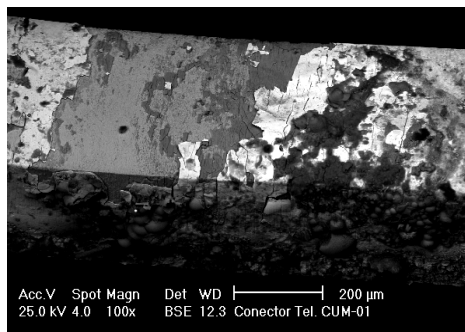


Figura 4.13. Conector de cobre con desprendimiento de la película protectora de oro. [Ortiz, A., 2003]

4.5.7.- Análisis de las Muestras Provenientes de Celaya.

De la inspección realizada (*Figura 4.14.*) se observó un daño ligero por corrosión en algunos componentes debido a la escasa presencia de cloro y azufre.



Figura 4.14. Terminal de una resistencia con desprendimiento de película de estaño y formación de depósitos complejos. [Cueva, I., 2006]

4.5.8.- Análisis de las Muestras Provenientes de Morelia.

La corrosión en la ciudad de Morelia se concentra generalmente alrededor de partículas o sales cristalizadas, esto es una indicación de una condensación limitada e intermitente en las superficies, mientras que los contaminantes se acumulan durante la fase húmeda y se cristalizan al secarse (*Figura 4.15.*).

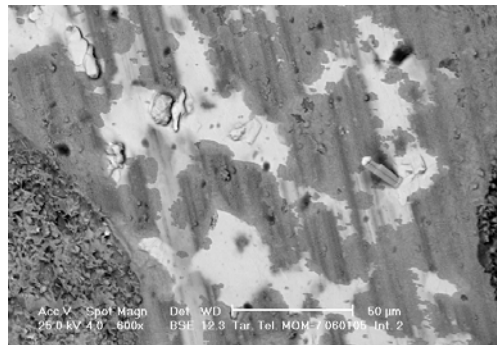


Figura 4.15. Interruptor con deterioro sufrido en la capa de recubrimiento. [Cueva, I., 2006]

4.5.9.- Análisis de las Muestras Provenientes de Querétaro.

Para las muestras de esta región (*Figura 4.16.*) existe una baja evidencia de corrosión atmosférica sobre todo en los interruptores y conectores, además se observaron abundantes picaduras debido a la presencia de productos de la corrosión atmosférica en particular en las bocinas de estos equipos telefónicos.

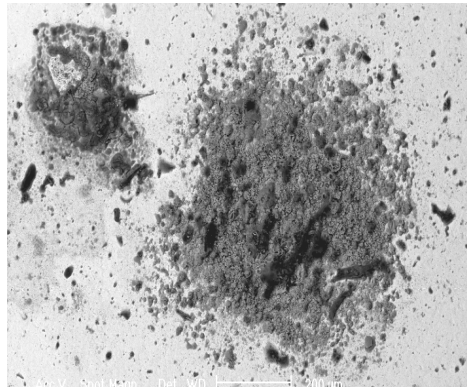


Figura 4.16. Conector de una resistencia con conductor de cobre en donde se observan óxidos de zinc. El ataque tiende a extenderse dada la porosidad del recubrimiento. [Zavala, O., 2007]

4.6.- Comentarios de los Resultados Obtenidos en los Estudios Realizados a Tarjetas Controladoras de Teléfono.

Dentro de la inspección que se desarrolló en dichos equipos telefónicos se ha comprobado que el níquel y el estaño, empleados como recubrimientos, retardan el efecto ocasionado por la corrosión.

Es de gran importancia mencionar que la corrosividad provoca un mayor daño en algunos componentes electrónicos, considerados como componentes críticos, entre los que se encuentran los interruptores, conectores y microcircuitos.

En la *Tabla 4.1.* se presenta un resumen de los resultados observados durante las pruebas realizadas a las tarjetas telefónicas.

Tabla 4.1. Cuadro de Resultados de Pruebas a Tarjetas Controladoras de Teléfono.

| REGIÓN | ATMÓSFERA | CONTAMINANTES ENCONTRADOS | ELEMENTO AFECTADO |
|-------------------------------------|---------------------|--|---|
| Cocoyoc – Oaxtepec | Rural | azufre cloruros partículas de hollín | Conector de latón con recubrimiento de cobre y níquel y depósito exterior de oro. |
| Bahía de Banderas – Puerto Vallarta | Rural – Marino | cloruros partículas suspendidas | Pines de conexión de cobre recubiertos con oro. Conectores de cobre con recubrimiento de estaño. Pistas de cobre de circuitos integrados. |
| Coatzacoalcos | Industrial – Marino | cloruros ozono partículas suspendidas azufre | Pines de conexión. Pistas de la tarjeta impresa. Soldaduras. |
| Cd. México | Urbana | óxidos de nitrógeno partículas suspendidas ozono dióxido de carbono | Conector de cobre con recubrimiento de estaño. Conector de cobre con recubrimiento de oro. |
| Cuernavaca | Urbana | cloro azufre partículas suspendidas | Conector de cobre con recubrimiento de oro. |
| Tampico | Industrial – Marino | cloruros | Carcasa de interruptor de acero cromado. |
| Celaya | Rural – Industrial | cloruros sulfuros | Conectores de cobre con recubrimiento de estaño. |
| Morelia | Rural – Industrial | azufre cloruros | Carcasas de interruptor con recubrimiento de níquel. Conectores de acero de un interruptor con recubrimiento de estaño. |
| Querétaro | Rural – Industrial | óxidos de zinc | Conectores de resistencia. |

En estos resultados se observa que en los componentes electrónicos se encuentra principalmente la presencia de azufre y de cloruros, siendo Cocoyoc – Oaxtepec la región con un nivel más alto de corrosión y Querétaro con menos corrosión atmosférica considerando las muestras del microscopio electrónico.

CAPÍTULO 5

DETERIORO DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS (SAMD) EN MÉXICO

La pérdida de información, la dificultad para la instalación del disco duro al sistema de la computadora y el alentamiento de la máquina en operación son las razones por las que se ha realizado un estudio a los SAMD ya que son los problemas más frecuentes que presentan.

5.1.- Pruebas de Corrosión a SAMD.

La UDIATEM mediante sus investigaciones en SAMD, ha comprobado que el deterioro de un equipo electrónico se debe en muchas ocasiones al tipo de atmósfera en que se encuentra dando su servicio, situación que será analizada a través del presente capítulo.

5.2.- Metodología para la Determinación del Deterioro en SAMD.

Para realizar el estudio a este tipo de equipo electrónico es necesario seguir una serie de pasos para la definición del grado de deterioro en los componentes de éstos y además para justificar el progreso de los efectos que tiene el medio ambiente sobre los dispositivos electrónicos.

La metodología se lleva a cabo para la inspección de especímenes expuestos a condiciones normales de operación, los cuales posteriormente son sometidos a pruebas de corrosión aceleradas con base en la metodología de análisis de tarjetas electrónicas de teléfono, para dar lugar a un completo análisis sobre el deterioro en micro y macro componentes.

En la *Figura 5.1.* se muestra un diagrama de flujo se indica paso por paso el procedimiento que se debe llevar cabo para la evaluación de los daños sufridos en los SAMD.

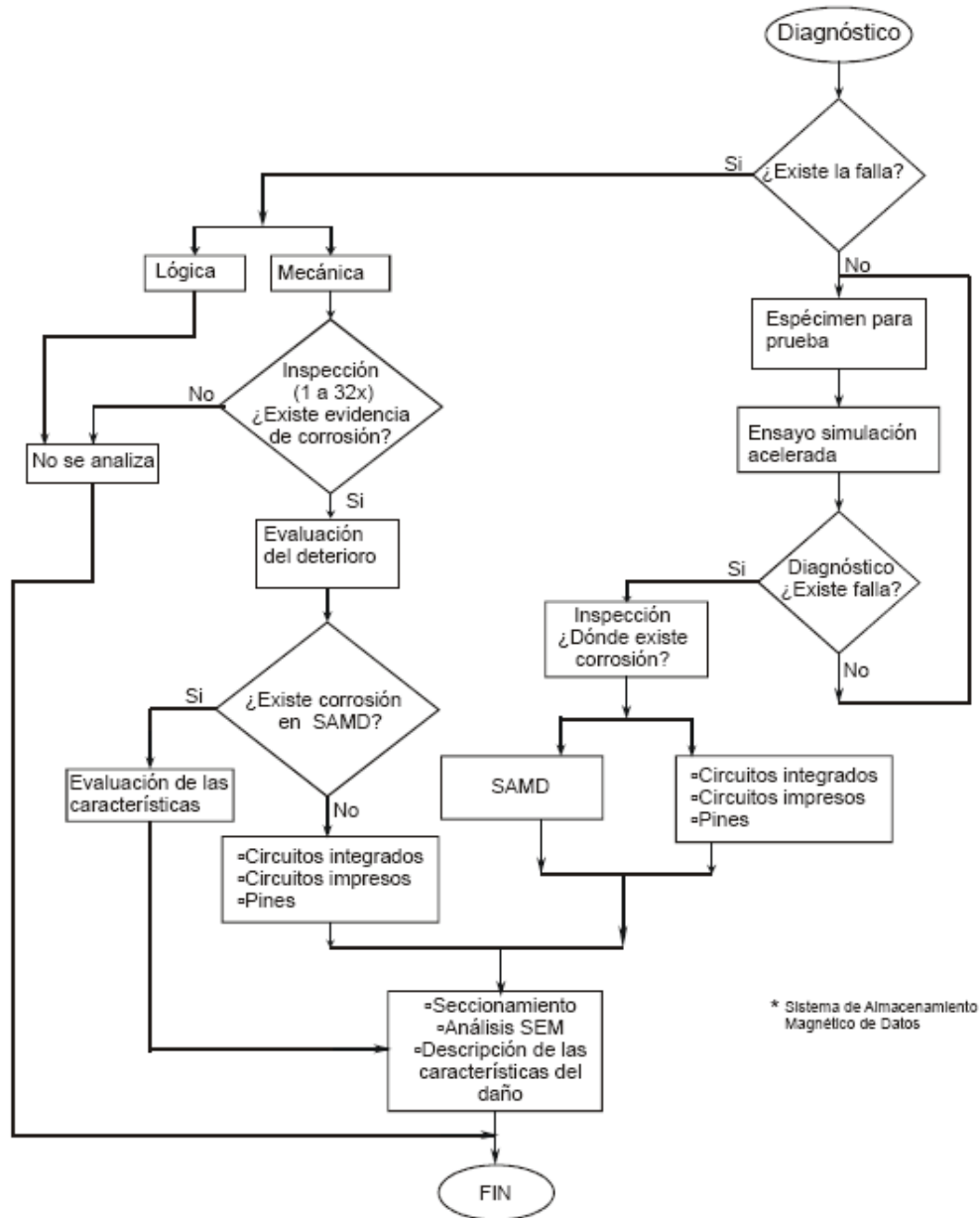


Figura 5.1. Diagrama de Flujo Para la Inspección de los Discos Duros. [Cueva, I., 2006] SOMIM

5.3.- Requerimientos Específicos de Ensayo.

Para cada ensayo a realizar, es necesario considerar las condiciones ambientales en las que el equipo electrónico se encontraba durante su operación. La tabla siguiente indica las variables principales para la Cámara Ambiental de Simulación Acelerada (CASAC).

Tabla 5.1.- Condiciones de Prueba para SAMD.

| <i>Condiciones de Prueba</i> | <i>Cd. México (Etapa1)</i> | <i>Cd. México (Etapa 2)</i> | <i>Cd. México (Etapa 3)</i> | <i>Cd. Guadalajara (Etapa 1)</i> | <i>Cd. Guadalajara (Etapa2)</i> | <i>Villahermosa Tabasco</i> |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Temperatura Mínima | 5°C | 5°C | 5°C | 5°C | 5°C | 5°C |
| Temperatura Máxima | 40°C | 40°C | 40°C | 40°C | 40°C | 40°C |
| % Humedad Relativa | 100% | 90% | 80% | 80% -85% | 80% -85% | 90% |
| SO ₂ | Más de 100 ppm | Más de 100 ppm | | SIN | SIN | 25 ppm |
| N ₂ O | Más de 100 ppm | Más de 100 ppm | | SIN | SIN | SIN |
| No. de Ciclos | 300 | 150 | | 150 | 120 | 163 |

5.4.- Inspección de SAMD.

Siguiendo la metodología para la evaluación del efecto de la corrosión atmosférica en discos duros, se inspeccionaron los discos provenientes de las tres regiones *Tabla y Figura 5.2.*

Tabla 5.2. Cantidad de SAMD Estudiados.

| <i>Región</i> | <i>Unidades</i> |
|------------------|-----------------|
| Ciudad de México | 97 |
| Guadalajara | 30 |
| Tabasco | 17 |

Cuantificación SAMD

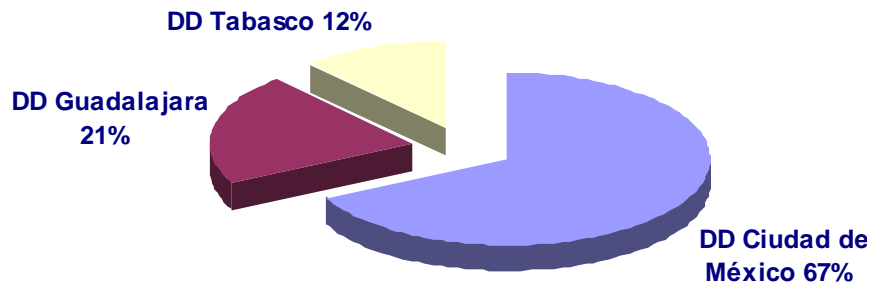


Figura 5.2. Cuantificación de Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos.

5.4.1.- Inspección de SAMD, Ciudad de México.

Para las primeras dos etapas del ensayo del Distrito Federal [Sánchez, F., 2005] (*Figura 5.3.*), en un principio se contaba con 60 discos, de los cuales 24 unidades eran obsoletas, por lo que sólo se analizaron 36, de los cuales 22 se encontraban en buen estado, 12 presentaron falla mecánica y 2 falla lógica.



Figura 5.3. SAMD del D.F. en donde el 61% de los discos analizados se encuentran en buen estado.

Para la tercera etapa del ensayo, *Figura 5.4.*, se analizaron 61 discos duros, en los que 35 presentan falla mecánica, 2 falla lógica y 24 en buen estado.

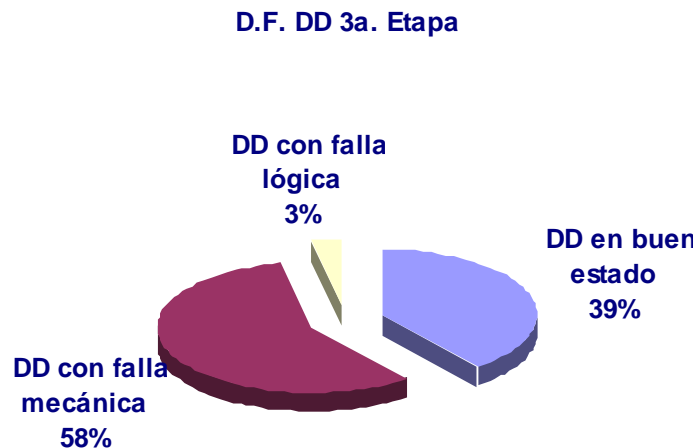


Figura 5.4. SAMD del D.F. durante la 3ª. Etapa.

5.4.2.- Inspección de SAMD, Guadalajara.

Se inspeccionaron 30 unidades provenientes de la Ciudad de Guadalajara, en donde 20 se encontraban en buen estado, 7 presentaron falla mecánica y 3 falla lógica (*Figura 5.5.*).

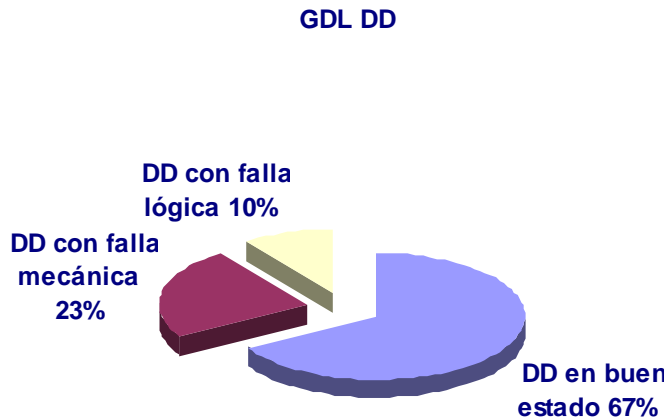


Figura 5.5. SAMD de Guadalajara Inspeccionados.

5.4.3.- Inspección de SAMD, Tabasco.

Se contó con 17 SAMD, de los cuales 10 de las unidades se encontraban en buen estado y fueron los que se sometieron a la Cámara Ambiental de Simulación Acelerada de Corrosión (CASAC), además de que 5 discos presentaron falla mecánica y 2 falla lógica (*Figura 5.6.*).

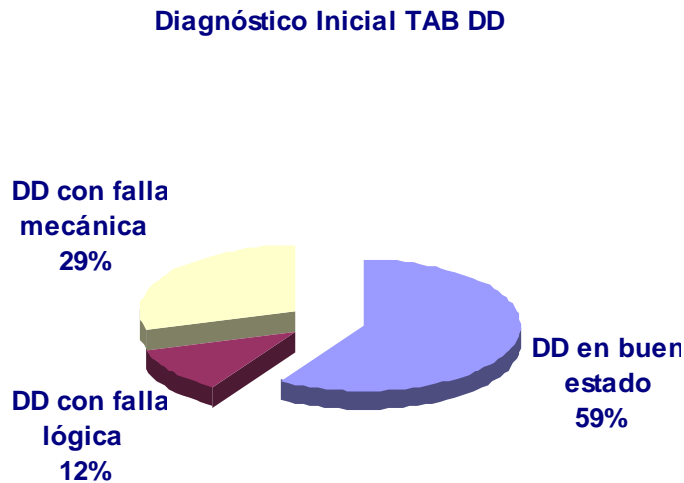


Figura 5.6. SAMD de Tabasco Inspeccionados.

5.5.- Análisis de SAMD.

5.5.1.- Análisis de SAMD, Ciudad de México.

Dentro del análisis en algunos dispositivos, diagnosticados con falla mecánica, se observó la presencia de rayas sobre la superficie del plato, *Figura 5.7.*, causadas por la cabeza de lectura/escritura, generadas por el desprendimiento del material de la superficie del disco.

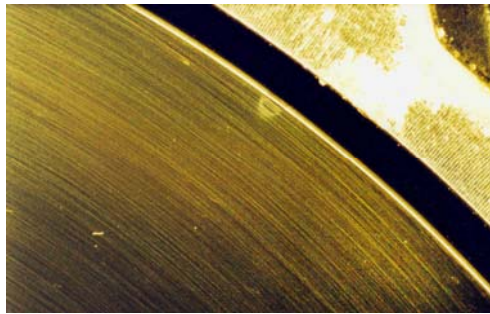


Figura 5.7. Rayas sobre la superficie del disco. [Sánchez, F., 2005]

De la inspección mediante microscopía electrónica, se observó la presencia de depósitos en la superficie del disco duro, ya que se tienen cambios de tonalidad y acumulación de condensado, principalmente en la periferia del disco, además de que se verifica la existencia de óxidos en la sección en estudio (*Figura 5.8.*).

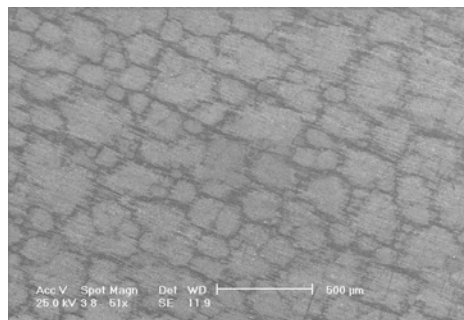


Figura 5.8. Cambios de tonalidad sobre la superficie del disco. [Sánchez, F., 2005]

5.5.2.- Análisis de SAMD, Guadalajara.

Durante el diagnóstico, en los discos que presentaron tener falla mecánica se observó que en su mayoría se encontraban cantidades excesivas de polvo y en sus elementos internos la existencia de colisión entre la cabeza de lectura/escritura y el plato así como marcas de vuelo (Figura 5.9).



Figura 5.9. Rayones ocasionados por el contacto de la cabeza de lectura/escritura sobre la superficie del disco provocando a su vez desprendimiento de la capa de carbono (puntos luminosos).

5.5.3.- Análisis de SAMD, Tabasco.

En las muestras de campo que se realizaron, los discos presentan en su interior buenas condiciones salvo uno, *Figura 5.10.*, que tiene rayones ocasionados por el choque entre la cabeza de lectura/escritura y la superficie del plato.



Figura 5.10. Superficie rayada a causa del contacto del cabezal lectura/escritura con el plato.

5.6.- Etapas del Ensayo en SAMD.

Se realizaron ensayos de corrosión acelerada con la finalidad de evaluar la susceptibilidad de los diferentes componentes a los procesos corrosivos.

5.6.1.- Etapas del Ensayo, Ciudad del México.

Primera Etapa del Ensayo.

Esta etapa se realizó a 300 ciclos, en los cuales los dispositivos se encontraron expuestos a la atmósfera contaminada.

Al realizar la inspección interna de cada uno de los SAMD expuestos al ensayo se observa que todos los SAMD sometidos al ensayo tienen evidencia de corrosión en la superficie del plato (*Figuras 5.11. y 5.12.*).



Figura 5.11. Superficie de SAMD con depósitos de condensado y residuos salinos. [Sánchez, F., 2005]

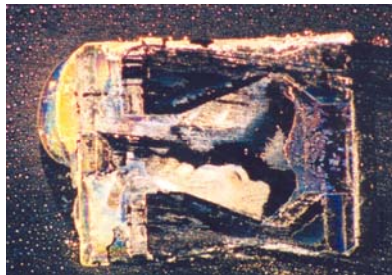


Figura 5.12. Marca de la adherencia de la cabeza de lectura/escritura al plato. [Sánchez, F., 2005]

En la *Figura 5.13*. se muestran marcas de condensado, y en la zona central de la imagen se observa un brote de productos de corrosión sobre la superficie del plato.

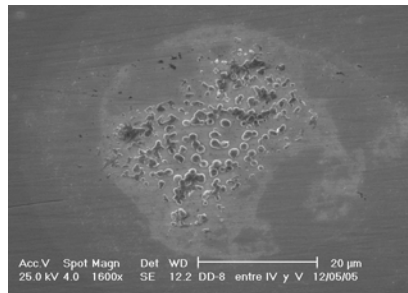


Figura 5.13. Brote de productos de corrosión. [Sánchez, F., 2005]

En esta primera prueba los dispositivos sufrieron daños sumamente importantes afectando totalmente su funcionamiento.

Segunda Etapa del Ensayo.

La segunda etapa del ensayo de simulación acelerada por corrosión atmosférica se realizó a 150 ciclos.

En la inspección realizada en el estereoscopio de esta segunda etapa el daño observado no es muy notorio, sin embargo, en algunas zonas específicas como la periferia del disco (*Figuras 5.14.* y *5.15.*) se encuentran ciertos depósitos y marcas de condensado, además de que se tiene la evidencia de la adherencia de la cabeza de lectura/escritura con la superficie del plato.

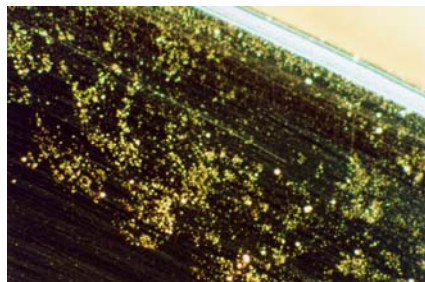


Figura 5.14. Depósitos en la periferia del disco ocasionando discontinuidad en la capa de la superficie. [Sánchez, F., 2005]

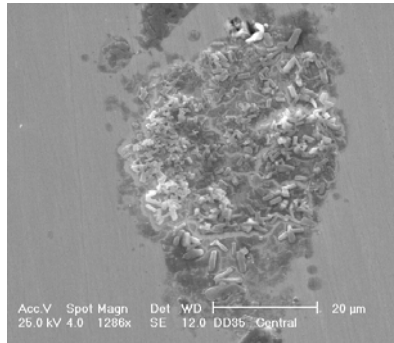


Figura 5.15. Depósitos sobre superficie del disco en forma de hilos en donde el elemento más representativo es el níquel. [Sánchez, F., 2005]

En la *Figura 5.16.* se presenta otro tipo de manifestación del daño sufrido en la superficie del disco, como lo son las marcas de condensado, el desprendimiento de material y un depósito en la parte central de la región analizada.

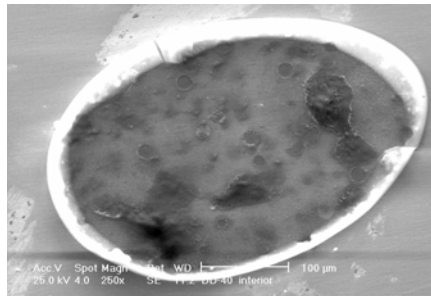


Figura 5.16. Daño sufrido en la superficie del disco. [Sánchez, F., 2005]

Cabe mencionar que de acuerdo a los análisis químicos, el elemento más significativo es el níquel y además se tiene en todos los casos proporciones de oxígeno lo cual afirma la existencia de corrosión y también se encontraron otros contaminantes presentes tales como cloruros y sulfuros.

Tercera Etapa del Ensayo.

En ésta etapa de los ensayos, se continuaron analizando la existencia de corrosión sobre la superficie del plato y además se estudiaron las cabezas de lectura/escritura, *Figura 5.17.*, ya que

se ha observado en las etapas anteriores que existe formación de depósitos entre la cabeza y la superficie del plato ocasionando el roce entre éstos.



Figura 5.17. *Roce entre el cabezal de lectura/escritura y la superficie del plato del disco.*

Con base en lo observado, la finalidad de este tercer ensayo es evaluar el deterioro que existe en las cabezas de lectura/escritura así como su influencia en el funcionamiento de los SAMD.

Del análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), *Figuras 5.18. y 5.19.*, se observa a detalle la estructura de los cabezales y a su vez el deterioro que éstos ocasionan en la superficie del plato.

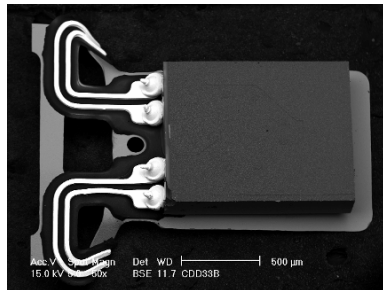


Figura 5.18. *Cabeza de un disco duro con conectores de oro.*

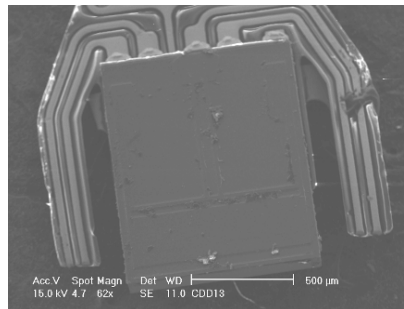


Figura 5.19. *Existencia de condensado sobre el cabezal, lo cual ocasiona que se lleve a cabo la fricción entre éste y el plato desprendiendo su recubrimiento de carbono.*

Analizando los cabezales de lectura/escritura se encontraron pérdidas de material y grietas ocasionadas quizás por el choque existente entre éstos y el plato así como depósitos sobre la superficie de la cabeza de lectura/escritura y acumulación de condensado en sus bordes (*Figuras 5.20. y 5.21.*).

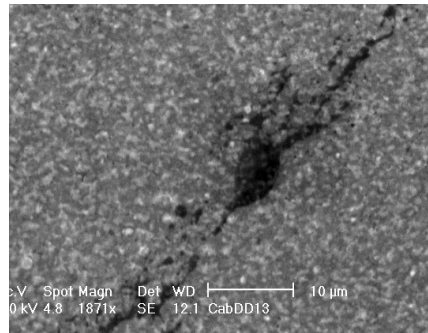


Figura 5.20. Pérdida de material acompañado de una grieta.

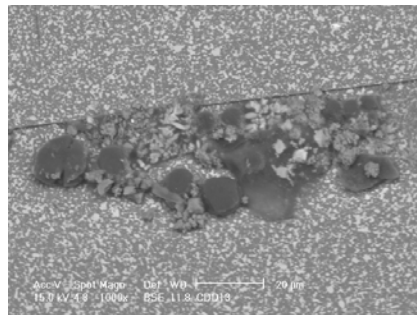


Figura 5.21. Existencia de brotes corrosivos sobre la superficie del cabezal de lectura/escritura..

Analizando la superficie en donde nacen los brotes corrosivos se encuentra la notoria presencia de cloruros y en una poca cantidad pero no menos significativa de sulfuros.

5.6.2.- Etapas del Ensayo, Guadalajara.

Primera Etapa del Ensayo.

Para la primera etapa se utilizaron 10 unidades, los cuales fueron sometidos a la cámara de corrosión atmosférica hasta completar 150 ciclos, ya que fue el punto en el que todas dejaron de funcionar.

Al término de cada una de las pruebas los discos duros fueron diagnosticados tal y como fueron retirados de la cámara de corrosión, en donde en un principio todos presentaron falla para su funcionamiento pero al realizarles una limpieza a los pines de interconexión continuaron operando de manera favorable hasta el término de 150 ciclos (*Figura 5.22.*).

Resultado GDL DD - Ensayo a 50 Ciclos



Resultado GDL DD - Ensayo a 100 Ciclos

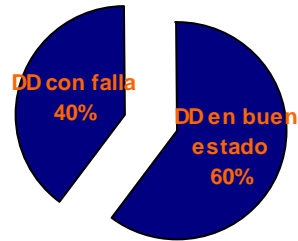


Figura 5.22. Análisis SAMD a 50 y 100 ciclos.

Como observación tenemos que al finalizar los 100 ciclos, del 60% de los discos en buen estado, 3 unidades se encontraban en posición horizontal y las otras 3 en vertical (*Figura 5.23.*).

Resultado GDL DD - Ensayo a 120 Ciclos



Resultado GDL DD - Ensayo a 150 Ciclos



Figura 5.23. Análisis SAMD a 120 y 150 ciclos.

En éstas imágenes se indica que durante los primeros 50 ciclos no se presenta falla alguna en ninguno de los discos, a los 100 ciclos se tiene un 40% de los discos que comienzan a fallar, a los cuales se les realizó limpieza en los pines de interconexión, a los 120 ciclos ningún disco duro presenta problema alguno para su buen funcionamiento y al llegar a los 150 ciclos todas estas unidades dejan de funcionar.

Segunda Etapa del Ensayo.

Para esta segunda etapa se trabajó con los 10 dispositivos restantes en buen estado bajo las mismas condiciones para la cámara de corrosión hasta el término de 120 ciclos.

A continuación se muestra en las Figuras 5.24. y 5.25. los resultados obtenidos en este ensayo, en donde se observa que a los 50 ciclos del ensayo, el 70% sigue en buenas condiciones, en donde 3 unidades se encontraban en posición horizontal y 4 en vertical. A los 100 ciclos se tiene que un 40% continúa en buen estado, en los cuales 3 discos estaban en posición vertical y uno en posición horizontal. Por último, al llegar a los 110 ciclos se presenta un 20% de falla además del sobrecalentamiento en algunos de los circuitos de la tarjeta controladora.

Resultado GDL DD - Ensayo a 50 Ciclos



Resultado GDL DD - Ensayo a 100 Ciclos

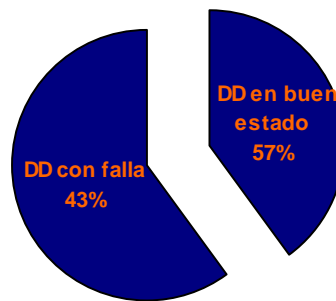


Figura 5.24. Análisis SAMD después de 50 y 100 ciclos.

Resultado GDL DD - Ensayo a 120 Ciclos



Figura 5.25. Análisis SAMD al término de 120 ciclos.

Dentro del análisis de estas etapas se vuelve a observar que la hermeticidad en un disco duro no se garantiza al 100% debido a que se observaron indicios de escurrimiento en el interior de éste lo cual conlleva al deterioro de ciertos elementos o en algunos casos de todos los elementos que lo constituyen.

Al finalizar el ensayo, las carcavas se encuentran afectadas en menor medida que en los casos anteriores, ya que presentan un ligero cambio de tonalidad *Figura 5.26.*; se encontraron evidencias de colisión entre el cabezal de lectura/escritura y la superficie del plato *Figura 5.27.*; los pines de interconexión se ven afectados por condensado *Figura 5.28.*; las tarjetas controladoras de SAMD se ven afectadas en sus elementos a causa del condensado *Figura 5.29.*.



Figura 5.26. Apariencia de la carcava de un disco duro. Nótese que dependiendo del material de la carcava se tiene deterioro en mayor o menor medida sin dejar de existir el mismo en estos elementos.



Figura 5.27. Aspecto interno de los discos después de ser sometidos al ensayo de simulación acelerada en donde no se aprecian evidencias de deterioro.

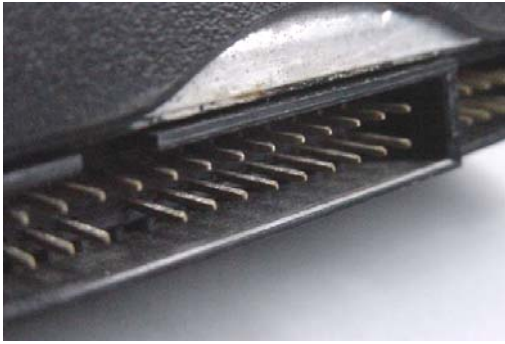


Figura 5.28. Pines de interconexión con acumulación de condensado originando así la formación de sulfatos.



Figura 5.29. Tarjeta controladora de un disco duro con acumulación de condensado afectando todos los elementos que la componen.

Inspeccionando el equipo a bajos aumentos se encontró en algunos discos duros la acumulación de condensado sobre la periferia del plato del disco así como su desgaste, además se observó desprendimiento de material sobre la superficie del disco y se encontraron marcas de vuelo de la cabeza de lectura/escritura sobre dicha superficie y algunas marcas que señalan su adhesión (*Figura 5.30.*).



Figura 5.30. Acumulación de condensado sobre la periferia del plato.

En algunos dispositivos, se observó acumulación de condensado en la periferia del plato del disco duro *Figura 5.31.*, lo cual indica que el recubrimiento empleado deja de ser homogéneo en esta zona, y es necesario hacer mención que en el resto de la superficie no se encontró deterioro alguno.

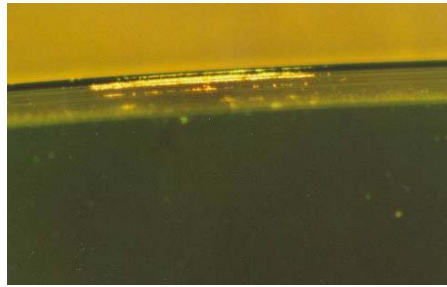


Figura 5.31. Desgaste en la periferia del disco.

En otros dispositivos, se encontraron marcas ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura *Figura 5.32.*, además de que el cabezal en algunos casos presenta un ligero desgaste *Figura 5.33.*



Figura 5.32. Marcas de vuelo del cabezal de lectura/escritura sobre la superficie del disco.

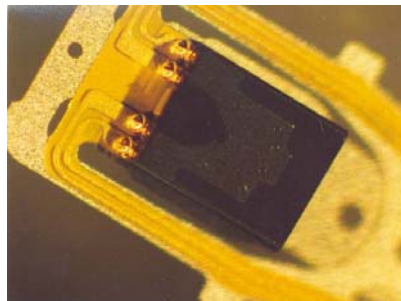


Figura 5.33. Cabeza de lectura/escritura con un ligero desgaste sobre su superficie en donde se considera que hubo contacto con la superficie del plato.

Dentro de la inspección de los SAMD se encontró acumulación de condensado en la tapa de la carcasa y formación de óxidos en los barrenos de diversas unidades (*Figuras 5.34. – 5.36.*).



Figura 5.34. Acumulación de condensado y formación de óxidos en el límite de los barrenos de sujeción.

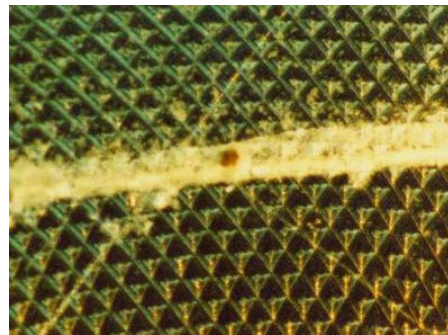


Figura 5.35. Formación de sales en la carcasa.

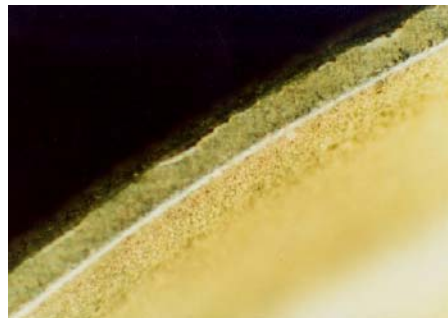


Figura 5.36. Acumulación de sales en el eje del disco duro y además se observa un mal acabado superficial del mismo.

En uno de los discos se encontró por vez primera la formación de cuerpos extraños con apariencia de sales en el eje de giro del disco duro (*Figura 5.37. y 5.38.*).

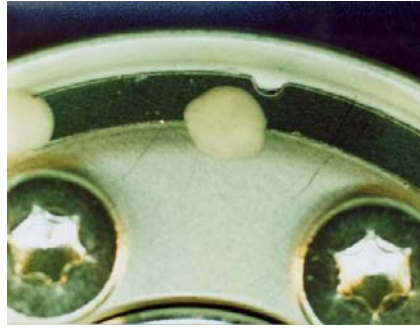


Figura 5.37. Formación de sales.



Figura 5.38. Tornillo de la carcasa del disco con formación de óxidos.

Al llevar a cabo el estudio del equipo electrónico, se ha observado que cuando los pines de interconexión se encuentran cubiertos por condensado el resultado es la dificultad para la instalación del disco duro, ya sea para ingresar al sistema o bien que sea reconocido por éste. Por tal razón se tiene la necesidad de profundizar el estudio hacia los pines ya que son los elementos base para el paso de energía que hace que un SAMD funcione.

Continuando con la metodología, adicionalmente de seccionar el plato del disco duro o los cabezales de lectura/escritura, se optó por llevar a cabo un análisis a los pines IDE y a los de alimentación de energía tomando para el estudio a los pines con más evidencia de deterioro.

Realizando una inspección a los pines de interconexión con ayuda del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) *Figuras 5.39. – 5.47.* se tiene que existe deterioro formándose óxidos, sulfuros y cloruros.

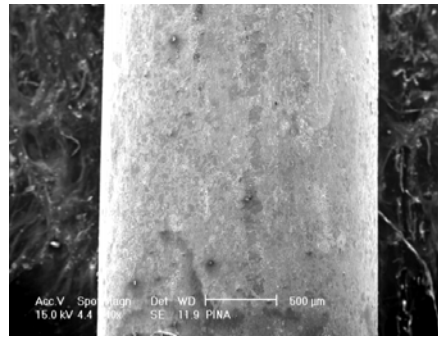


Figura 5.39. Pin de alimentación de energía.

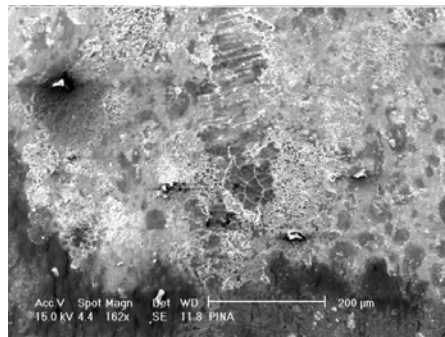
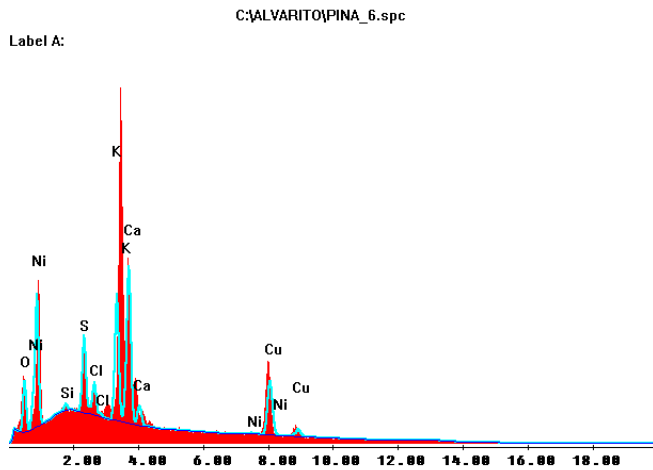


Figura 5.40. Pin en donde se observa un cambio de tonalidad y brotes de herrumbre.

Tabla 5.3. Análisis cuantitativo de los pines de interconexión.



| Elemento | Wt % |
|----------|-------|
| O K | 8.78 |
| SiK | 0.44 |
| S K | 5.81 |
| ClK | 2.73 |
| K K | 12.57 |
| CaK | 18.15 |
| NiK | 0.98 |
| CuK | 50.54 |
| Total | 100 |

Figura 5.41. Espectro de los pines de alimentación.

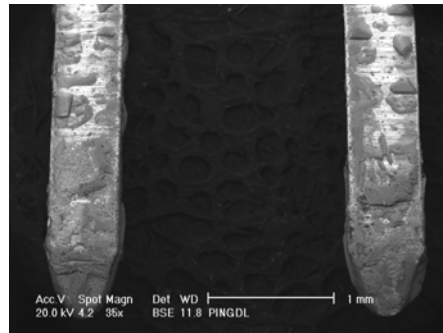


Figura 5.42. Pines IDE.

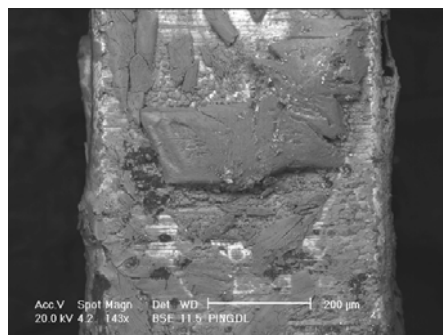


Figura 5.43. Evidencia de acumulación de sales y deterioro de los pines IDE.

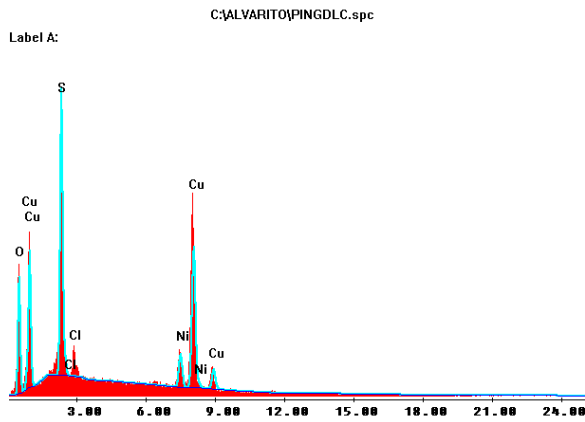


Tabla 5.4. Análisis cuantitativo de los pines IDE.

| Elemento | Wt % |
|----------|-------|
| O K | 25.35 |
| S K | 22.39 |
| ClK | 0 |
| NiK | 8.35 |
| CuK | 43.91 |
| Total | 100 |

Figura 5.44. Espectro de la Figura 5.42. y 5.43. en donde el elemento predominante como agente corrosivo es el oxígeno.

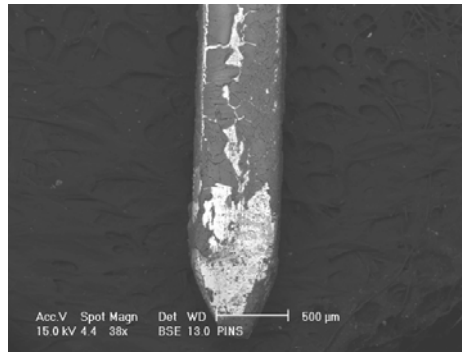


Figura 5.45. Pin IDE.

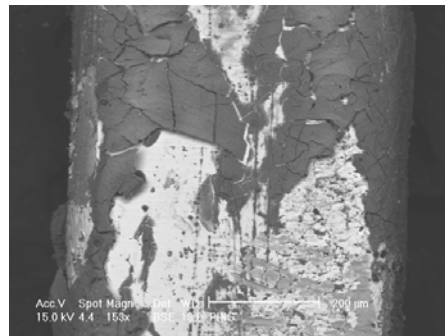


Figura 5.46. Deterioro en la superficie de los pines IDE, formación de óxidos.

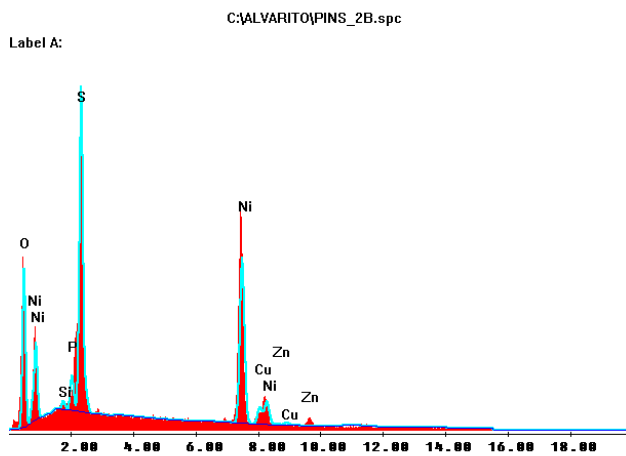


Figura 5.47. Espectro de los pines IDE.

Tabla 5.5. Análisis cuantitativo de los pines de interconexión IDE.

| Elemento | Wt % |
|----------|-------|
| O K | 20.37 |
| SiK | 0.57 |
| P K | 2.28 |
| S K | 20.63 |
| NiK | 49.34 |
| CuK | 6.46 |
| ZnK | 0.34 |
| Total | 100 |

5.6.3.- Ensayo de Tabasco.

Para el estudio de los SAMD provenientes de Tabasco, se realizó una primera etapa en la que se confirma que la existencia de deterioro en los pines de interconexión afecta gravemente el funcionamiento de un disco duro.

Para las pruebas de laboratorio se sometieron 10 unidades en buenas condiciones a un total de 163 ciclos y se tiene que a los 25 ciclos se comienza a presentar un ligero condensado en los pines de interconexión y un disco presenta dificultad para ingresar al sistema. Como observación, el disco se encontraba en posición vertical durante las pruebas (*Figura 5.48.*).

Resultado TAB DD - Ensayo a 25 Ciclos

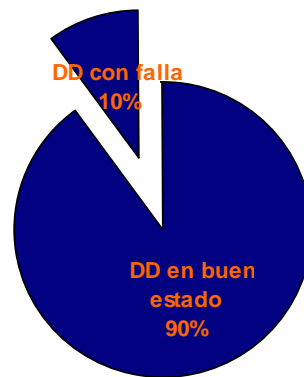


Figura 5.48. Análisis SAMD a 25 ciclos.

Al llegar a los 65 ciclos, un disco presenta un “clickeo continuo”, no consigue entrar al sistema y como observación sus pines de interconexión se encuentran afectados por condensado, obstruyendo así la salida de la señal del disco para su instalación.

Cuando se completaron 85 ciclos se presentaron problemas para la instalación de todos los dispositivos ya que se ven afectados los pines IDE y los de alimentación por condensado, el cual es producto de la humedad existente en Tabasco. Ante este resultado, a todas las unidades se les realizó una limpieza profunda en los pines de interconexión y se obtuvo que todos los discos duros continuaron funcionando de una manera muy satisfactoria.

En las *Figura 5.49*, se muestra de una manera ilustrativa los resultados que se obtienen antes y después de retirar los depósitos que se forma en los pines de los SAMD llegando de esta manera al mismo resultado obtenido después de 25 ciclos.

Resultado TAB DD - Ensayo a 85 Ciclos



Resultado TAB DD - Ensayo a 85 Ciclos con Limpieza de Pines



Figura 5.49. Análisis SAMD antes y después de la limpieza de pines.

En base a lo anterior, se siguieron sometiendo los discos a la prueba de corrosión con el fin de saber hasta cuántos ciclos dejaban de funcionar algunos sistemas, tal es el caso que cuando se completaron 100 ciclos un SAMD, el cual estuvo en posición horizontal durante las pruebas, presentó problemas en el arranque.

Es necesario decir que la colocación en que son puestos los sistemas de almacenamiento magnético de datos dentro de la cámara de corrosión es influyente y en éstos resultados tenemos que de tres discos que dejaron de funcionar por completo, dos se encontraban en posición vertical (*Figura 5.50*).

Resultado TAB DD - Ensayo a 163 Ciclos



Figura 5.50. Análisis SAMD después de 163 ciclos.

En éste estudio, se examinaron en el MEB los pines de interconexión afectados por condensado y algunos circuitos integrados que presentaron corrosión, ya que los discos duros con pines de éstas características eran los que ocasionaban que la computadora no lograra ingresar al sistema y así detectar un nuevo dispositivo instalado.

A continuación se presentan imágenes antes y después de las pruebas *Figuras 5.51. – 5.58.* en donde se puede apreciar y comparar algunos de los componentes de los SAMD afectados por el deterioro.

Antes de Prueba



Después de Prueba

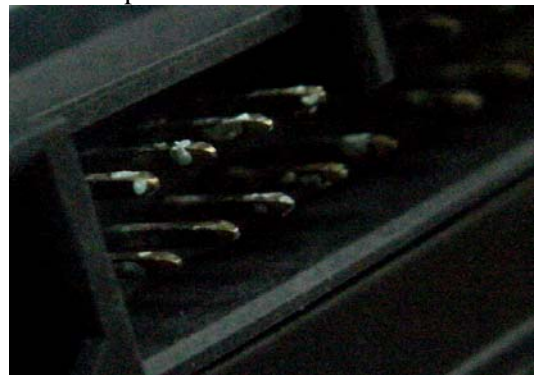


Figura 5.51. Pines de interconexión antes y después de ser sometidos los SAMD a la CASAC.

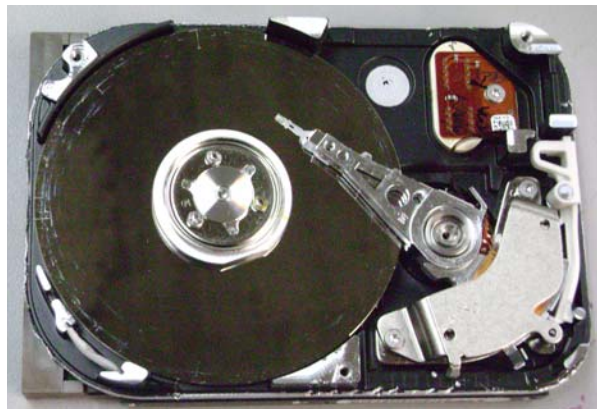


Figura 5.52. Superficie del plato con marcas realizadas por la cabeza de L/E.

Con la ayuda del estereoscopio, se pueden visualizar de mejor manera los componentes de un disco duro que presentan un mayor índice de deterioro.

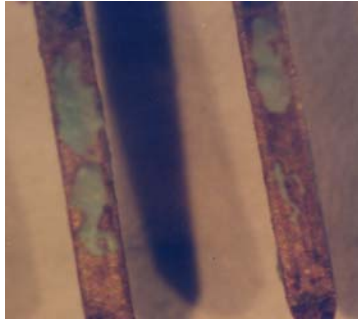


Figura 5.53. Pines de interconexión con condensado.

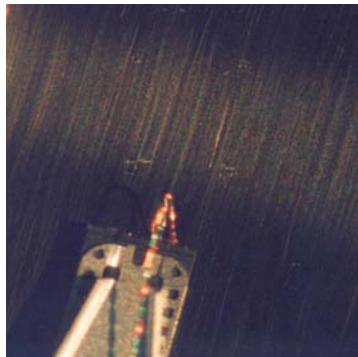


Figura 5.54. Marca de la cabeza de L/E sobre superficie del plato.



Figura 5.55. Cabeza de L/E sobre superficie del plato sin presentar deterioro alguno.



Figura 5.56. Deterioro sobre de la periferia del disco.



Figura 5.57. Formación de sales en tornillos de la carcasa.



Figura 5.58. Circuito integrado seccionado para análisis mediante MEB cuyas terminales presentan corrosión.

En términos generales se observa que muchos de los inconvenientes de operación se deben a la formación de depósitos, lo cual se traduce en pérdidas de continuidad.

En la evaluación del deterioro sufrido mediante MEB, en las muestras de campo solamente un disco presenta marcas de deterioro ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura (*Figura 5.10.*) y analizando la superficie del plato se encuentran picaduras (*Figuras 5.59.- 5.63.*).

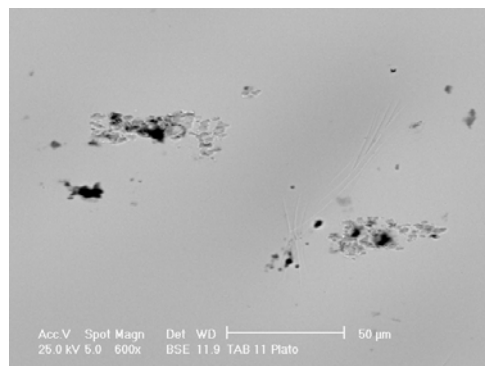


Figura 5.59. Picaduras sobre la superficie del plato.

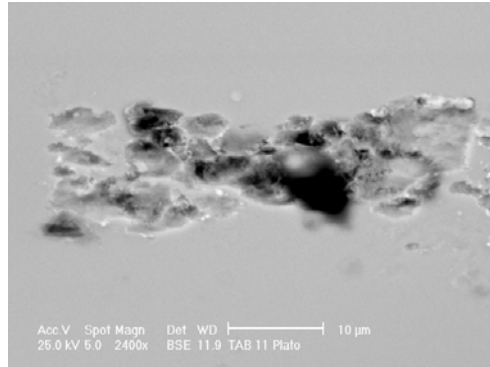
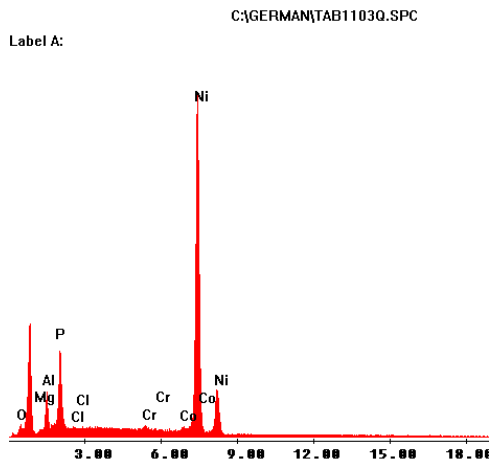


Figura 5.60. Imagen detallada de las picaduras del plato sobre la superficie.

Para ser un disco duro que no fue sometido a ensayos de simulación acelerada de corrosión, la superficie del plato se encuentra bastante deteriorada y durante el análisis químico se encontró la presencia de agentes contaminantes como lo son los óxidos y los cloruros.

Tabla 5.6. Análisis cuantitativo de la superficie del plato.



| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| O K | 2.57 | 7.42 |
| MgK | 0.76 | 1.44 |
| AlK | 7.54 | 12.90 |
| PK | 11.31 | 16.88 |
| ClK | 0.12 | 0.16 |
| CrK | 0.62 | 0.55 |
| CoK | 1.10 | 0.86 |
| NiK | 75.98 | 59.80 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.61. Espectro de la superficie del plato.

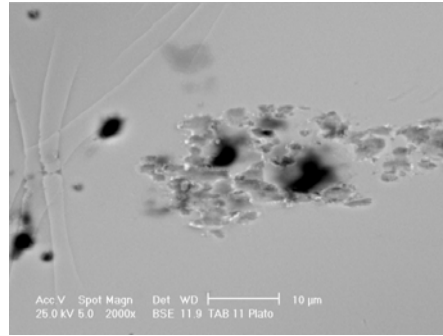


Figura 5.62. Imagen de otra de las picaduras más significativas encontradas en el análisis de la superficie del plato.

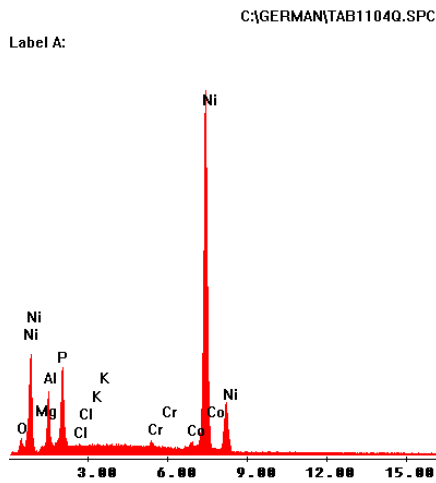


Tabla 5.7. Análisis cuantitativo de las picaduras de la superficie del plato.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| O K | 2.57 | 7.42 |
| MgK | 0.76 | 1.44 |
| AlK | 7.54 | 12.90 |
| PK | 11.31 | 16.88 |
| ClK | 0.12 | 0.16 |
| CrK | 0.62 | 0.55 |
| CoK | 1.10 | 0.86 |
| NiK | 75.98 | 59.80 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.63. Espectro de las picaduras significativas.

En las muestras que fueron sometidas al deterioro por simulación acelerada se encontró otro disco con formación de condensado en la superficie del plato como se puede observar en la Figuras 5.64. y 5.65..

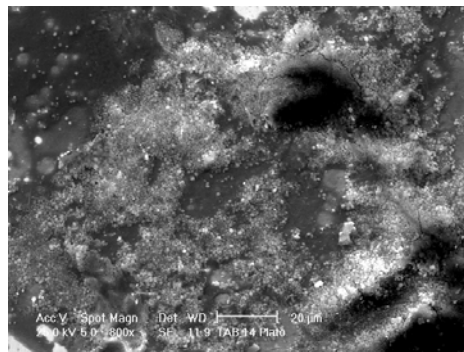
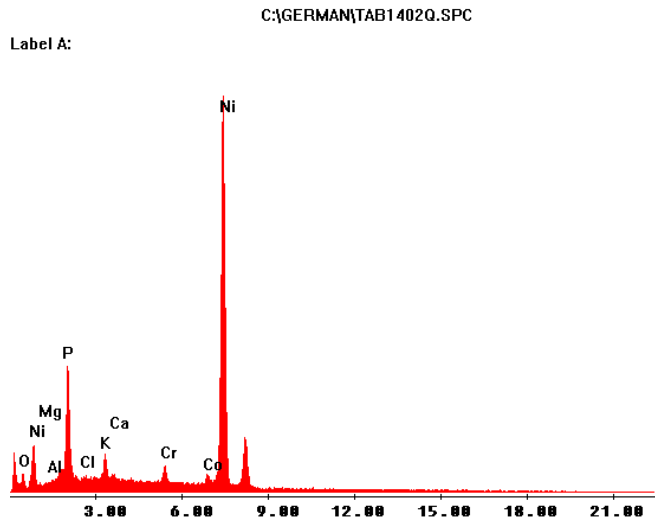


Figura 5.64. Superficie del plato con formación de condensado.

Tabla 5.8. Análisis químico de la superficie del plato con condensado.



| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| O K | 3.81 | 11.27 |
| MgK | 0.24 | 0.47 |
| AlK | 0.14 | 0.24 |
| PK | 13.10 | 20.02 |
| ClK | 0.37 | 0.49 |
| KK | 2.16 | 2.62 |
| CaK | 0.16 | 0.19 |
| CrK | 2.04 | 1.85 |
| CoK | 2.51 | 2.02 |
| NiK | 75.47 | 60.83 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.65. Espectro del plato con condensado.

Al obtener el análisis químico se encuentra un alto índice de fosfatos además de tener la presencia de óxidos y cloruros.

Como bien se ha dicho, los pines de interconexión son los primeros en deteriorarse, principalmente los pines IDE. (Figura 5.66. y 5.67.).

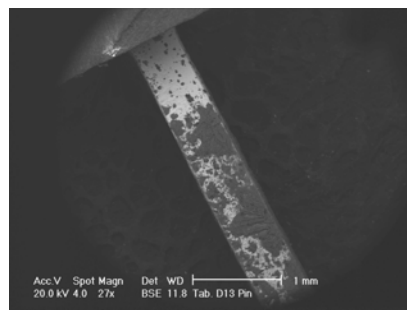


Figura 5.66. Pin de interconexión IDE con sulfatos.

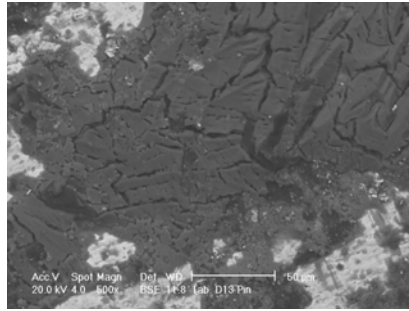


Figura 5.67. Micrografía a 500X del pin IDE.

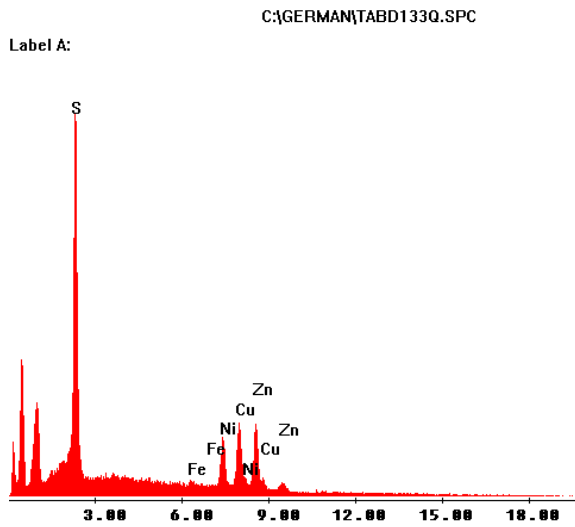


Tabla 5.9. Análisis cuantitativo del pin de interconexión IDE.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| SK | 37.10 | 53.66 |
| FeK | 1.06 | 0.88 |
| NiK | 13.95 | 11.01 |
| CuK | 23.21 | 16.94 |
| ZnK | 24.68 | 17.51 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.68. Espectro del pin IDE a 500X.

Observando el análisis químico se tiene en gran cantidad la presencia de azufre en el condensado que se formó en los pines de interconexión, el cual es un agente primordial para el deterioro por corrosión (Figuras 5.69. y 5.70.).

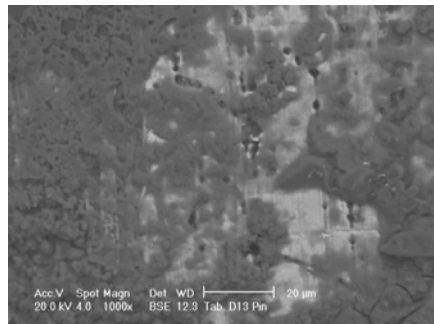


Figura 5.69. Pin IDE recubierto con condensado y ligeras picaduras.

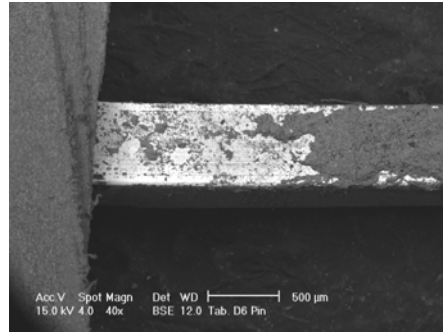


Figura 5.70. Pin IDE con condensado.

Tabla 5.10. Análisis químico del pin.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| SiK | 2.28 | 3.68 |
| SK | 31.30 | 44.23 |
| SnL | 0.73 | 0.28 |
| FeK | 28.53 | 23.14 |
| NiK | 37.16 | 28.67 |
| Total | 100 | 100 |

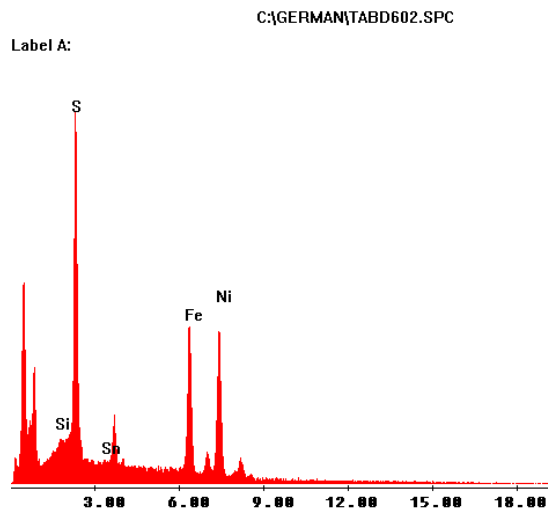


Figura 5.71. Espectro del pin IDE.

En la *Figura 5.72.* se aprecia la superficie del conector, en ésta se constata la presencia de picaduras y brotes de sulfatos sobre su superficie.

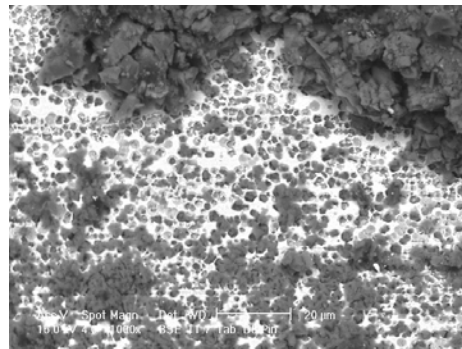


Figura 5.72. Picaduras sobre la superficie del pin y brotes de condensado.

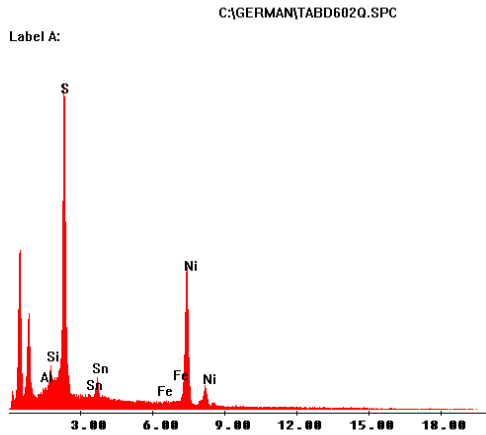


Figura 5.73. Espectro del pin con condensado.

Tabla 5.11. Análisis cuantitativo del espectro de la Figura 5.73.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| AlK | 0.99 | 1.54 |
| SiK | 3.99 | 5.97 |
| SK | 41.66 | 54.61 |
| SnL | 1.00 | 0.35 |
| FeK | 0.89 | 0.67 |
| NiK | 51.48 | 36.85 |
| Total | 100 | 100 |

Además se analizaron pines de alimentación, los cuales no presentaron un deterioro muy significativo debido a que tienen un recubrimiento de estaño demasiado bueno, pero es necesario mencionar que sí se encontró azufre dentro del análisis químico pero no en un alto nivel como en el caso de los pines de interconexión IDE, los cuales como recubrimiento tienen níquel (Figuras 5.74., 5.75. y Tabla 5.12.).

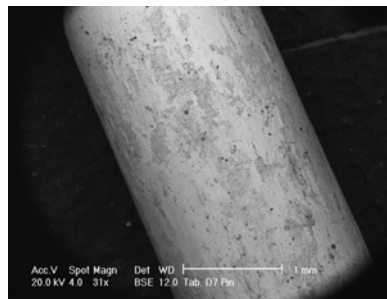


Figura 5.74. Pin de alimentación de un disco duro.

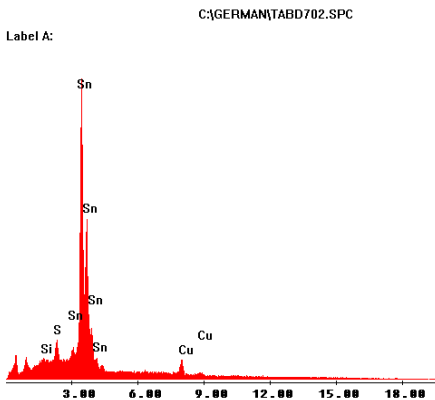


Figura 5.75. Espectro del pin de alimentación.

Tabla 5.12. Análisis químico del pin de alimentación.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| SK | 2.19 | 7.35 |
| SnL | 92.88 | 84.29 |
| CuK | 4.93 | 8.36 |
| Total | 100 | 100 |

Aunque el recubrimiento de los pines de alimentación es de Estaño, en el análisis se encuentra cierto deterioro sobre dicho recubrimiento, pero no afecta en demasía el paso de energía para el buen funcionamiento del SAMD, lo que vuelve a recalcar que el deterioro se da principalmente en los pines IDE (*Figuras 5.76., 5.77. y Tabla 5.13.*).

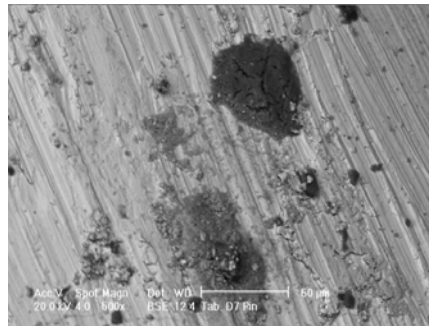
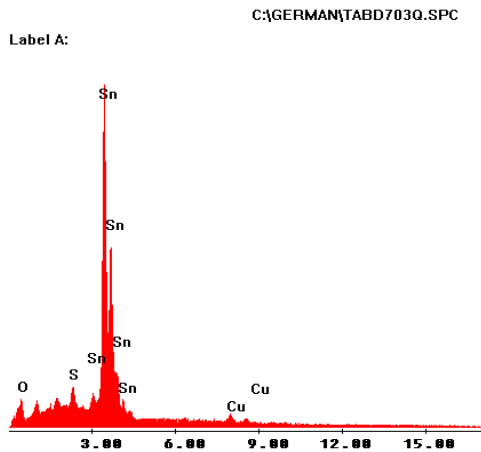


Figura 5.76. Pin de alimentación con recubrimiento de estaño.

Tabla 5.13. Análisis cuantificativo del pin de alimentación de energía.



| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| OK | 9.07 | 40.88 |
| SK | 1.74 | 3.92 |
| SnL | 87.26 | 53.02 |
| CuK | 1.92 | 2.18 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.77. Espectro del pin de alimentación en donde se encuentra un poco de oxígeno.

Además de los pines de un SAMD también se analizaron las terminales de un microcircuito ubicado en la tarjeta controladora del disco (*Figuras 5.78. – 5.81. y Tablas 5.14. y 5.15.*).

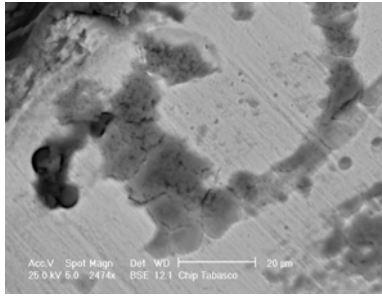


Figura 5.78. Terminal de un microcircuito con condensado.

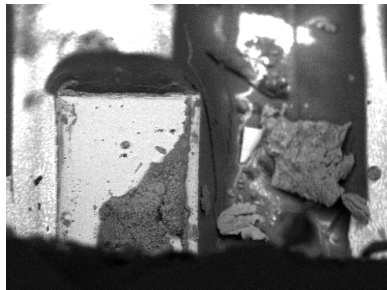


Figura 5.79. Micrografía a 319X de las terminales del microcircuito.

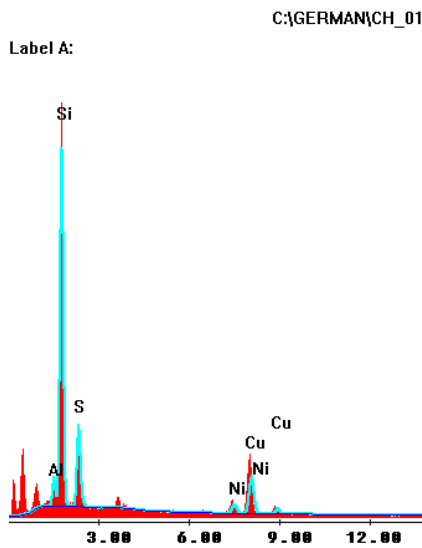


Tabla 5.14. Análisis químico de la Figura 5.80.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| AlK | 4.10 | 5.14 |
| SiK | 52.50 | 63.14 |
| SK | 16.19 | 17.06 |
| NiK | 4.58 | 2.63 |
| CuK | 22.62 | 12.03 |
| Total | 100 | 100 |

Figura 5.80. Espectro de la terminal del Microcircuito. (Figura 5.78).

Al realizar el correspondiente análisis químico mediante MEB a los pines del circuito integrado, se encontró que se ven afectados por la presencia de óxidos y sulfatos como se observa en la *Figura 5.58*.

Tabla 5.15. Análisis cuantitativo de las terminales del circuito integrado.

| Elemento | Wt % | At % |
|----------|-------|-------|
| OK | 32.79 | 56.45 |
| CuL | 17.47 | 7.57 |
| SK | 32.40 | 27.84 |
| NiK | 17.34 | 8.14 |
| Total | 100 | 100 |

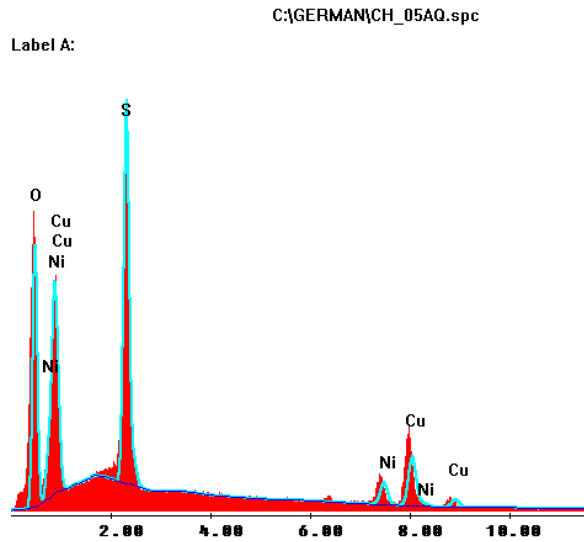


Figura 5.81. Espectro de la Figura 5.79.

5.7.- Comentarios de los Resultados Obtenidos en los Estudios Realizados a SAMD.

A continuación en la *Tabla 5.16.* se presenta un resumen de los resultados observados durante las pruebas realizadas a discos duros.

Tabla 5.16. Cuadro de Resultados de Pruebas a SAMD.

| REGIÓN | ATMÓSFERA | CONTAMINANTES ENCONTRADOS | ELEMENTO AFECTADO |
|---------------|---------------------|--|---|
| Cd. México | Urbana | azufre cloro partículas suspendidas | Superficie y periferia del plato. Cabeza de lectura/escritura. |
| Guadalajara | Urbana | azufre partículas suspendidas formación de sales | Superficie y periferia del plato. Cabeza de lectura/escritura. Pines de interconexión. |
| Tabasco | Marino - Industrial | azufre cloro partículas suspendidas | Superficie y Periferia del plato. Pines de interconexión. Terminales de los circuitos integrados. |

En los especímenes de campo no se encontraron indicios de corrosión en la superficie del plato del disco y las razones por las que un disco duro deja de funcionar son generalmente por fallas mecánicas.

Al analizar las cabezas de lectura/escritura, se encontró que en los especímenes de campo, la cabeza se colisiona con la superficie del plato debido a las vibraciones existentes en los SAMD durante su funcionamiento y es por tal razón que, en el 2008, Western Digital perfeccionó sus dispositivos aplicándoles la nueva tecnología “Shock Guard”, el cual protege instantáneamente el disco duro contra golpes y vibraciones mientras está funcionando, proporcionándoles protección contra impactos.

Por otra parte, en las pruebas de laboratorio se determinó que debido a la filtración de humedad, el cabezal se encuentra adherido a la superficie del disco y al momento de realizar el diagnóstico el dispositivo al girar va dejando marcas sobre la superficie del mismo y dependiendo de la magnitud del choque es el desprendimiento de la capa de Carbono y el origen de rayones en la superficie que afectan la zona o el sector en la que ha sido guardada la información.

Sin importar de dónde son provenientes los SAMD, una vez que han sido sometidos al ensayo de corrosión atmosférica y al momento de ser diagnosticados se tiene un sobrecalentamiento en algunos de los circuitos integrados de la tarjeta controladora provocando que se origine un calentamiento excesivo de la computadora.

En términos generales se ha observado que al tener acumulación de condensado sobre las tarjetas controladoras propiciando la formación de óxidos en las terminales de los circuitos integrados, en las pistas y en los pines de interconexión.

Durante el estudio se detectó que desde un inicio, los pines IDE y los de alimentación son los primeros en resentir los efectos ambientales, ya que en estos elementos se da la mayor acumulación de polvo y condensado, formación de sulfatos y la presencia de cloruros, pero es necesario mencionar que al inicio del estudio, no se sospechaba que en los pines es en donde se da el inicio al mal funcionamiento de un disco duro en la mayoría de los casos, ya que en algunas

ocasiones se limpiaron minuciosamente con el fin de retirar los depósitos formados teniendo como resultado el buen funcionamiento nuevamente en el dispositivo.

El principal factor que conlleva al deterioro dando origen a la corrosión en cualquier componente electrónico es la humedad, seguida de la temperatura dependiendo de la región en que se encuentren y en último lugar, pero no por eso dejan de ser importantes se tiene a los contaminantes presentes en la atmósfera.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Las pruebas aceleradas de corrosión atmosférica han permitido determinar la susceptibilidad que los SAMD y los dispositivos electrónicos tienen al deterioro por efecto del medio ambiente; a la vez de definir aquellos elementos que mayor daño sufren y cuáles son las variables dominantes en el proceso.

Las pruebas de corrosión atmosféricas son empleadas para determinar la fiabilidad de los equipos electrónicos, debido a la observación de fenómenos intermitentes que afectan en la operación de éstos en diversos ambientes.

Durante el análisis de los dispositivos se tiene que la mayoría de sus elementos componentes resultan afectados.

En el caso de los SAMD, el deterioro se da principalmente en:

- Pines de interconexión IDE y de alimentación de energía.
- Terminales de circuitos integrados.
- Pistas conductoras de la tarjeta impresa.
- Sello de hermeticidad.
- Cabeza de lectura/escritura.

En tarjetas controladoras de teléfono el deterioro se encuentra en:

- Pines de conexión pertenecientes a la tarjeta impresa de teléfono.
- Interruptores.
- Conectores.
- Terminales de resistencias, diodos y circuitos integrados.
- Pistas conductoras de la tarjeta impresa.
- Bocina.

En el momento en que cualquiera de estos elementos comienza a deteriorarse, el circuito impreso en la tarjeta controladora deja de funcionar óptimamente.

Los efectos del deterioro son variables, por ejemplo: si los pines de conexión o interconexión se encuentran cubiertos total o parcialmente de condensado, el paso de la señal se ve afectado ocasionando, en el caso de SAMD que el dispositivo a instalar no logre ser reconocido por la computadora; si las terminales de algún componente presentan óxidos, se afecta la continuidad del circuito; si un microcircuito se llega a sobrecalentar, éste no puede realizar sus funciones correctamente o bien deja de servir en el control del dispositivo; si las pistas tienen residuos de sulfatos o en su caso desprendimiento de material en su recubrimiento, deja de existir la continuidad en toda la tarjeta impresa.

Si se tomaran en cuenta todos los factores antes mencionados en este trabajo para prevenir los efectos del deterioro por corrosión atmosférica, se podría tener en cualquier equipo electrónico una mayor confiabilidad y garantizar la calidad de vida del producto.

REFERENCIAS

Libros:

Abbott, W. Atmospheric Corrosion of Control Equipment. The Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc. NACE International, 1993.

Bhushan Bharat. Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices, Springer- Verlag 1990.

Bhushan Bharat, PH. D, Modern Tribology Handbook, Materials, Coating and Industrial Applications Volume Two 2005.

Callister, W.D., Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté, Tomo II, 2000.

Cerrud, S., Jacobo, V. Ortiz, A., Schouwenaars, R. Análisis de Falla, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2002.

Cerrud, S., Ortiz, A., Jacobo, V. Schouwenaars, Corrosión y Protección. 2003.

Cueva, Ignacio, Desarrollo y Validación de Pruebas Aceleradas de Corrosión Atmosférica en Macrocomponentes Electrónicos. Tesis Magistral, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 2006.

Cisco Systems, Inc. HP Fundamentos de Tecnología de la información: Hardware y Software para PC. Segunda Edición 2004.

García, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, 4a edición, Instituto de Geografía UNAM, 1988.

Gold, G. Five Years of Research in Atmospheric Corrosion. British Corrosion Journal Vol 25, 1990.

Gouda, V. K., Carew, J. A., Riad, W.T. Investigation of Computer Hardware Failure due to Corrosion. British Corrosion Journal, Vol. 24, 192, 1989.

Guttenplan, J. D. Corrosion in the Electronics Industry. Metals Handbook, ASM International, Vol. 13,1987.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Información Geográfica, 2003.

ISO 9223:1992 (E). Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres- Classification. International Standard Organization, 1992.

Kim, A., Crampton, G., Kanabus-Kaminska, M. Corrosion Effect of Hydrogen (HF) on Electronic Components. Proceedings of the 7th. Fire Supresión and Detection Research Application Symposium, Orlando Florida, 2003.

Leygraf, C., Graedel, T. Atmospheric Corrosion, John Wiley & Sons, New York, 2000.

Marcus, P. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, Marcel Dekker Publisher, 2002

Mariaca, R.L., Genesca, J., Uruchurtu, Ch., J. Corrosividad Atmosférica, Plaza y Valdez Editores- UNAM, 1999.

Norton Peter. Introducción a la Computación Mc Graw-Hill 1995.

Oesh, S., Faller, M., Environmental Effects on Materials: The Effect of the Air Pollutants SO₂, NO₂, NO and O₃ on the Corrosion of Copper, Zinc and Aluminium A Short Literature Survey, and Results of Laboratory Exposures, Corrosion Science, Vol. 39, 105, 1997

Ortiz, A., Metodología para la Simulación Acelerada del Deterioro que por Corrosión Atmosférica se Presenta en Equipo Electrónico. Ingeniería Investigación y Desarrollo, Vol. III No. 4, 2002.

Ortiz, A., Simulación Acelerada de la Corrosión Atmosférica en Equipo Electrónico. Tesis Doctoral, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 2003.

Roberge, P.R., Handbook of Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill, USA, 2000

Sánchez, F., Barrios, L., Deterioro por Corrosión Atmosférica en Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2005.

Sinclair, J.D., Corrosion of Electronics. Journal of Electrochemical Society, Vol. 135 89c, 1988.

Smith, William, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Segunda Edición.

Svensson, J.E., Johansson, L.G. A Laboratory Study of the Effect of Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulphure Dioxide on the Atmospheric Corrosion of Zinc. Journal of the Electrochemical Society, Vol. 140, 1997.

UNEP/WHO Urban Air Pollution in Megacities of the World, 1992.

White, E., Slensky, G., Dobbs B. Case Histories and Failures of Electronics and Communications Equipment. Metals Handbook, ASM International, Volumen 13, 1987.

Yukonovich. Electronics. CC technologies laboratories, Inc. Dublín Ohio, 2001.

Zakipour, S., Leygraf, C. Evaluation of Laboratory Tests to Simulate Indoor Corrosion of Electrical Contact Materials, Journal of the Electrochemical Society, Vol 133, 21, 1986.

Zavala, O. Análisis del Deterioro que por Corrosión Atmosférica se Presenta en Equipo Telefónico. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2007.

Internet:

- I. <http://ortihuela.galeon.com/dispositivos.htm>
- II. <http://users.servicios.retecal.es/kiabam/discosmagneticos.htm>
- III. <http://biblioweb.dgscaunam.mx/cienciasdelmar/instituto/1990-2>
- IV. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/32>
- V. bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/121/htm
- VI. www.msebilbao.com/tienda/images/bs2sx-ic.jpg
- VII. <http://www.wdc.com/sp/library/eide/2879-001021.pdf>
- VIII. <http://support.wdc.com/ls/techinfo/general/jumpers.asp>
- IX. <http://sinaica.ine.gob.mx/ligas.html>
- X. <http://www.ugm.org.mx/pdf/geos02-2/CAC02-2.pdf>
- XI. www.recoverylabs.com/.../img/disco_duro.gif
- XII. http://www.alternate.es/pix/faq/hd/hd_scsi.jpg
- XIII. <http://mp3.shepard.com.ar/Prueba/thpCapitulo04.PDF>
- XIV. <http://personal.auna.com/rvazquez/index5/pdf.pdf>