



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERIORO POR CORROSIÓN
ATMOSFÉRICA EN SISTEMAS DE
ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE
DATOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

LENIN BARRIOS FLORES

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

FRANCISCO SÁNCHEZ PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO ORTIZ PRADO



CD. UNIVERSITARIA

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Gracias 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 su ayuda y consejo, Biol. Germán Álvarez, M.I. Ignacio Cueva, M.I. Jorge Luís Romero, por sus aportaciones al presente trabajo. A todo el equipo de trabajo de la UDIATEM por su amistad.

A todas las personas que directa e indirectamente me han alentado a continuar alcanzando mis metas.

Lenin B.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Armando Ortiz Prado, por sus conocimientos, experiencia y gran aportación a este trabajo, por la confianza, el apoyo brindado y la paciencia que me ha tenido durante este tiempo.

A la M en I. Sara Mercedes Cerrud Sánchez (q.e.p.d.) por la confianza, el apoyo, comentarios y consejos que me llegó a dar en determinado momento.

Al Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendáriz por sus comentarios y sugerencias que ayudaron a las mejoras de este trabajo.

A la DGAPA de la UNAM por los fondos proporcionados al proyecto PAPIIT IN 119403 del que forma parte este trabajo.

A mi familia por el apoyo, la confianza, amistad y todo aquello que se puede encontrar en ellos, especialmente en mi Madre.

A Lenin Barrios Flores, por su amistad y entusiasmo durante el desarrollo de esta Tesis.

Al Biol. Germán Álvarez Lozano, por su apoyo brindado en la obtención de imágenes mediante microscopía electrónica de barrido, así como al Ing. Ignacio Cueva por sus comentarios y aportación para el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros, Álvaro Contreras García, Cesar Billy Gutiérrez Santacruz, Karina Sánchez Galicia, José Antonio Gómez Ramírez, quienes colaboraron en diferentes etapas para la realización de este trabajo.

A quienes integran la UDIATEM: Ing. Jorge Luís Romero Hernández, Ing. Edgar Isaac Ramírez Díaz, Ing. Efraín Ramos Trejo, Ing. Roberto Cisneros Hernández, Juan Armando Ortiz Valera, Adrián Esteban Ortiz Valera, Mónica Yadira Narváez, así como a los compañeros del Cubículo 12.

A todos los Profesores que fueron participes en la formación durante mi estancia dentro de la Facultad.

A los “Chamacos”, Pepe, Arturo, al inconfundible Engels (“El Para”), Gustavo Ibarra, por su amistad durante toda la estancia de la carrera, a J. Abraham Muñoz, Jorge Araujo, Abraham Barajas (Bota), Sergio (Cocadas), Paola, Salvador Ochoa, a todos los integrantes del aquel equipo River Porno.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y sobre todo a la Facultad de Ingeniería por los conocimientos brindados.

Francisco Sánchez Pérez.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

<i>Deterioro por Corrosión Atmosférica en Equipo Electrónico.....</i>	<i>1</i>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Etapas de la Corrosión Atmosférica.....	4
1.3 Efecto de los gases atmosféricos en la corrosión	5
1.4 Efecto de las Partículas.....	9
1.5 Efecto de la Temperatura.....	11
1.6 Medición de la Corrosión Atmosférica	12
1.7 Corrosión Atmosférica en Interiores.....	15
1.8 Problemática.....	17

CAPÍTULO 2

<i>Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMD).....</i>	<i>20</i>
2.1 Antecedentes.....	20
2.1.1 Breve Historia del Almacenamiento Magnético.....	20
2.1.2 Evolución del Almacenamiento de Datos.....	21
2.2 ¿Qué es un Sistema de Almacenamiento Magnético de Datos?	22
2.3 Principio Básico del Almacenamiento Magnético	24
2.4 Unidades de Almacenamiento Magnético de Datos	27
2.5 Composición de los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos	30
2.5.1 Materiales Empleados para las Cabezas de lectura / escritura.....	30
2.5.2 Materiales Empleados para el almacenamiento magnético de datos.....	31
2.5.3 Discos Duros (sustrato).....	33
2.6 Procesos de Obtención de SAMD	36
2.7 Causas de Falla en SAMD	39
2.7.1 Falla electrónica.....	39
2.7.2 Falla mecánica.....	39
2.7.3 Falla lógica.....	40
2.7.4 La corrosión como causa de falla en SAMD.....	40

CAPÍTULO 3

<i>Características del Deterioro por Corrosión en Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos</i>	44
3.1 Generalidades.....	44
3.2 Variables principales del deterioro por Corrosión Atmosférica	46
3.3 Metodología para el análisis de SAMD.....	48
3.4 Evaluación de la existencia de corrosión en SAMD.....	55

CAPÍTULO 4

<i>Simulación Acelerada del Deterioro por Corrosión Atmosférica</i>	63
4.1 Generalidades.....	63
4.2 Importancia de la simulación acelerada en SAMD.....	64
4.3 Condiciones de Ensayo para la Simulación Acelerada por Corrosión Atmosférica.....	66
4.4 Características de la Cámara de Simulación Acelerada de Corrosión Atmosférica	67
4.5 Definición de los requerimientos para la realización del ensayo	69
4.6 Ensayo de simulación acelerada por corrosión atmosférica en SAMD.....	72
4.7 Evaluación de la Existencia de corrosión en SAMD	74
4.7.1 Evaluación del deterioro en SAMD en la Primer Etapa del Ensayo.....	74
4.7.2 Evaluación del deterioro en SAMD en la Segunda Etapa del Ensayo.....	83

CAPÍTULO 5

<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	96
5.1 Conclusiones	96
5.2 Recomendaciones	99

REFERENCIAS	100
--------------------------	-----

INTRODUCCIÓN

Los materiales al estar expuestos al medio ambiente sufren en alguna medida deterioro por corrosión, el cual es una consecuencia de la interacción de variables como humedad, partículas suspendidas en el aire, luz ultravioleta, variación de la temperatura, entre otras.

Existen diferentes concentraciones de contaminantes en el aire, dependiendo de la zona geográfica. En zonas industriales por ejemplo, están presentes principalmente, dióxido de azufre, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno.

La corrosión atmosférica inicia cuando se forma una capa acuosa en la superficie del material, que proviene de la humedad del ambiente, lluvia, condensados, etc.

Cuando se ha presentado la capa, ésta actúa como solvente para ciertos contaminantes dando lugar a la acidificación de la solución, con lo que se presenta una aceleración de las reacciones electroquímicas y el resultado es el deterioro del material.

También la temperatura juega un papel importante, pues cuando se presentan cambios muy drásticos y en combinación de catalizadores como el ozono y luz ultravioleta el fenómeno se vuelve más intenso.

Sin oxígeno y agua no sería posible la corrosión atmosférica, pero tampoco la vida del hombre. Es un problema no solo técnico y científico, sino económico y social. Las pérdidas por corrosión atmosférica en Estados Unidos de América e Inglaterra son de 2% del PNB.

Cuando se hace un recuento de la gran cantidad de estructuras metálicas que están expuestas a la atmósfera: automóviles, ferrocarriles, barcos, puentes, refinerías, centrales eléctricas, etc., se puede dar una idea de la magnitud del problema.

En la actualidad muchas personas hacen uso de equipos de cómputo, lo que ha permitido hacer mejor y más rápido todo tipo de trabajo y que están revolucionando la forma en que se hacen las cosas.

Si bien los equipos de cómputo están compuestos por una gran variedad de dispositivos electrónicos, que cumplen una función específica, uno de los dispositivos más importantes del hardware de la computadora es donde se almacena la información. El Sistema de Almacenamiento Magnético de Datos, conocido también como disco duro, es susceptible a la

corrosión atmosférica y no está exento de la interacción con los diferentes tipos de atmósferas existentes.

Es cierto que las empresas han mejorado las características en la protección anticorrosiva en los Sistemas de Almacenamiento de Datos (SAMD) reduciendo los efectos nocivos de la atmósfera, sin embargo éstos se siguen presentando, causando como consecuencia fallas en el disco que muchas veces se traducen en la pérdida total de la información.

Los discos duros pueden fallar por diferentes causas: físicas, eléctricas, mecánicas, etc. pero en diversas ocasiones no se toma en cuenta en forma seria la falla de éstos sistemas por corrosión atmosférica. El deterioro por corrosión en estos sistemas es un asunto que se debe tomar muy en serio, y aún ahora no ha tenido la relevancia que merece.

El presente trabajo propone una metodología que permita la evaluación de la existencia de corrosión en SAMD, así como la simulación acelerada del deterioro por corrosión atmosférica, la cual reproduce de forma acelerada el daño, producto de la interacción en períodos prolongados de los SAMD con su atmósfera, concentrándose en los contaminantes reportados como más agresivos. De los resultados obtenidos se hacen algunas recomendaciones para reducir el daño encontrado en las unidades sometidas al ensayo.

Por lo anterior en este trabajo se intentará dar a conocer datos importantes que ayuden a reducir las fallas causadas por corrosión atmosférica de los discos duros, pues una cantidad considerable de ellos se considera que fallan por corrosión.

Capítulo 1.

Deterioro por Corrosión Atmosférica en Equipo Electrónico

1.1 GENERALIDADES

Los materiales expuestos a la atmósfera sufren daños por corrosión, fenómenos que se ven afectados por humedad, gases contaminantes, cloruros y agentes orgánicos volátiles. La magnitud de los daños depende de la composición característica de la atmósfera (el ozono y la luz ultravioleta actúan como catalizadores teniendo también influencia la presencia de partículas y su concentración), variación de la temperatura, así como de la sensibilidad de cada material a las condiciones del ambiente.

Las condiciones ambientales bajo las cuales el equipo electrónico sufre deterioro significativo tienen características muy singulares, sin embargo no hay duda de que los principios y condiciones que influyen en la corrosión atmosférica juegan un papel determinante en las fallas detectadas en dispositivos electrónicos.

Lo anterior vuelve evidente la necesidad de plantear las bases conceptuales de la corrosión atmosférica, que desde el punto de vista del deterioro ha sido la más estudiada y que aún no hay completa certidumbre para el modelado y su reproducción en laboratorio, debido a la complejidad de la interacción de las variables que implica el fenómeno.

El estudio formal de la corrosión atmosférica dio inicio con el trabajo de W.J.H.Vernon (*A laboratory study of the atmospheric corrosion of metals*, Trans. Faraday Soc, 1931). A la fecha los métodos de prueba siguen siendo muy similares a lo propuesto hace más de 80 años, a diferencia de lo que ha sucedido con otras áreas de la ciencia, aún de la propia corrosión, en donde los estudios fundamentales han permitido la comprensión de los fenómenos y por lo tanto su modelado, mientras que el estudio de la corrosión atmosférica sigue siendo en mucho de tipo experimental.

La corrosión atmosférica se define como la degradación sufrida por los materiales que están en contacto con el aire, y por ende, con los constituyentes y contaminantes de éste.

Sus factores más importantes son:

- Variación de temperatura
- Ciclos de humedad
- Contaminantes gaseosos presentes en el aire. Composición y concentración
- Partículas suspendidas. Composición, tamaño y concentración.

Tipos de atmósferas

La severidad de la corrosión atmosférica varía significativamente dependiendo de la región y usualmente estos ambientes se clasifican como rural, urbano, industrial, marino, o combinaciones de éstos. A continuación se describen estos tipos de atmósferas:

- Industrial.-** Se caracteriza por las emisiones de la industria pesada, en particular por presentar todo tipo de contaminación por azufre en forma de dióxido de azufre principalmente, el cual proviene en su mayoría de la combustión. Así como concentraciones importantes de cloruros, fosfatos y nitratos.
- Urbano.-** Este tipo de ambiente es similar al rural con bajo nivel de emisiones producto de la industria pesada, sus contaminantes provienen también de la combustión de materiales fósiles fundamentalmente producidas por fuentes móviles, así como las características antropogénicas. Los contaminantes más usuales son NO_x (NO + NO₂) y SO_x, principalmente.
- Marino.-** Se caracteriza por tener altas concentraciones de cloruros. La concentración de NaCl en este ambiente se mantiene superior a los 15 mg/m² -día, no importando el nivel de SO₂ que se presente. La corrosividad se puede ver incrementada por la existencia de industria en la zona, así como también por la temperatura y la dirección de los vientos dominantes.
- Rural;** Se caracteriza por la presencia de contaminantes provenientes del empleo de fertilizantes y la descomposición de materia orgánica lo cual da como resultado la

activación de otros mecanismos de corrosión, debido a la presencia de iones amonía, nitratos, etc.

Desde el punto de vista de los contaminantes se podría hacer referencia a atmósferas marino-industrial, por ejemplo Tampico y Coatzacoalcos, o referir que zonas del sur de la ciudad de México (por ejemplo ciudad universitaria) se pueden caracterizar por una atmósfera rural a pesar de estar en plena zona metropolitana.

Las características de las construcciones son un factor muy importante a considerar desde el punto de vista de la concentración de contaminantes, dentro de aquellas que cuentan con equipos de aire acondicionado las concentraciones son menores que en exteriores, para muchos de los contaminantes. Debido a las condiciones climatológicas de México en general hay poca diferencia en la concentración de los contaminantes de interiores y exteriores, a esto hay que sumar la alta concentración de contaminantes producto de las actividades del ser humano, en interiores.

Aunque la mayoría de los estudios se enfocan en corrosión en exteriores considerada la mas agresiva, es necesario tener en cuenta que la corrosión en interiores tiene sus particularidades (por ejemplo, que la humedad de superficies metálicas se debe a fenómenos de condensación) al que normalmente el equipo electrónico está expuesto.

Algunos autores [2] consideran que a pequeños espesores de la capa de condensado no se presentará corrosión, esto en sentido estricto no es verdadero, sobre todo si se trata de fenómenos como los que son característicos del deterioro de equipo electrónico. Lo que si se puede considerar es la forma en que se darán las reacciones, ya que un espesor importante del electrolito permite considerar a éste como una fuente o sumidero inagotable, mientras que en el otro caso su composición variará en forma importante en función de la evolución de los procesos.

No hay duda que el fenómeno de la corrosión atmosférica es muy complejo, pues su característica multivariable hace difícil su modelado y su simulación en laboratorio.

1.2 ETAPAS DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

La primera etapa de la interacción entre el sólido y la atmósfera es la reacción instantánea de la molécula de agua con el metal, en este caso el enlace se puede dar en forma molecular (a través del átomo de oxígeno al metal o algún otro constituyente superficial de carga positiva). La fuerza dominante para la disociación del agua es la formación de enlaces metal –oxígeno o metal-oxidrilo. Los grupos oxidrilo al formarse (Figura 1.1) actúan como sitios preferentes para la adsorción de agua.

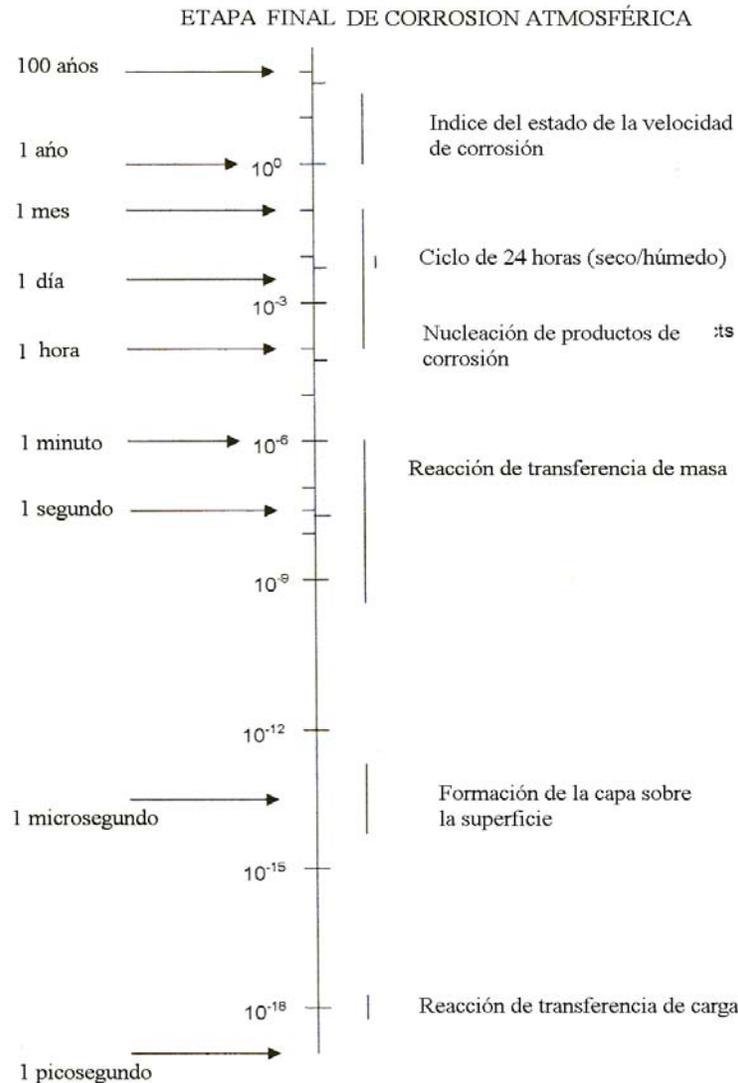


Figura 1.1 Ordenes de magnitud de los periodos requeridos para el desarrollo de los fenómenos característicos de la corrosión atmosférica [3].

Cuando los productos de corrosión ya no varían en el tiempo esto representa que la velocidad de disolución y reformación está en equilibrio, entonces éstos alcanzan un espesor constante. El tiempo requerido para lograr un estado estable de corrosión puede tomar varios años o hasta décadas. Esta transformación gradual concuerda con la observación común de que los productos de corrosión formados luego de una exposición atmosférica muy prolongada son similares, y en algunos casos idénticos a los minerales formados como resultado de procesos naturales de larga duración.

1.3 EFECTO DE LOS GASES ATMOSFÉRICOS EN LA CORROSIÓN

La corrosión, el cambio climático y la calidad del aire han contribuido al rápido desarrollo de la química atmosférica. Más de 2000 especies químicas han sido identificadas como gases atmosféricos o como constituyentes de partículas. La fotoquímica es importante para entender la gran cantidad de reacciones en los procesos atmosféricos.

Afortunadamente desde el punto de vista de la corrosión atmosférica solo pocos constituyentes han sido identificados como corrosivos. Un constituyente no necesariamente es corrosivo para todos los materiales, del mismo modo un material particular no necesariamente es susceptible a todos los constituyentes. Se han identificado ocho especies corrosivas, como las de mayor influencia (CO_2 , O_3 , NH_3 , NO_2 , H_2S , SO_2 , HCl , ácidos orgánicos).

Bióxido de carbono

Se trata de un constituyente normal de la atmósfera. Es absorbido por los vegetales como parte del proceso de fotosíntesis, sobre todo en la época de crecimiento de los vegetales (primavera), para luego ser devuelto a la atmósfera durante el decaimiento de la vegetación (otoño). Una situación cíclica similar ocurre con los océanos, ya que éstos absorben el CO_2 en condiciones de baja temperatura y lo retornan al calentarse.

Las actividades desarrolladas por el hombre representan tan solo un 3% del total generado. Sin embargo, esta cantidad está fuera del equilibrio, esto es, no existen sumideros suficientes para que se neutralice. La mayor parte del CO_2 , producto de actividades antropogénicas, es generado por procesos de combustión.

Este gas de baja reactividad con una elevada duración en la atmósfera, además de ser un promotor del efecto invernadero (en los últimos 40 años su concentración se ha incrementado en forma regular del orden de 0.5 % anual). Su incremento no influye de manera significativa en la agresividad del ambiente, ya que el ácido carbónico se clasifica como débil.

Ozono

Es uno de los iniciadores de las transformaciones gaseosas junto con el radical hidróxido. El ozono es un producto de la fotoquímica atmosférica, su fuente dominante es la fotólisis del dióxido de nitrógeno:



El ozono es asimismo muy sensitivo a la radiación ultravioleta de tal forma que puede dar lugar a un átomo de oxígeno que al combinarse con una molécula de agua forma radicales hidróxido:



El hidroxilo es el reactivo más vigoroso en la atmósfera, de lo que se deriva el efecto del ozono en la agresividad del ambiente. Éste por si es menos activo que el OH, además de no ser soluble en agua, sin embargo pequeñas cantidades de O₃ pueden disolverse en gotas o capas de agua de tal forma que se dé lugar a las reacciones antes expuestas. Su concentración generalmente es del orden de 100ppb. Asimismo estudios experimentales han demostrado [29] que en presencia de SO₂ actúa como un acelerador de la corrosión en el cobre.

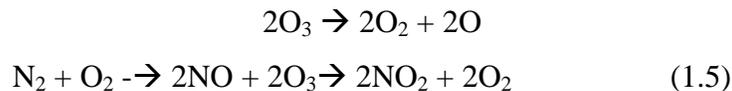
Amoniac

Es el único gas atmosférico de carácter básico, razón por la que neutraliza a los componentes ácidos. Tanto los ecosistemas como el mar emiten este gas, sin embargo su ciclo global está dominado por las fuentes antropogénicas. Su fuente principal es la agricultura y los excrementos animales así como la combustión de biomasa (quema de pastos y de bosques para abrirlos al cultivo).

El NH₃ se caracteriza por ser muy soluble en el agua, por lo que se puede presentar como depósito húmedo, y al combinarse con el (SO₄)²⁻ da lugar al sulfato de amonio ((NH₄)₂ SO₄). La elevada solubilidad del amoniac da lugar a importantes variaciones de su concentración en atmósfera, ya que en áreas urbanas puede variar de 1 hasta 50 ppb.

Óxidos de Nitrógeno

Se han desarrollado un amplio número de trabajos de investigación relacionados al efecto de los óxidos de nitrógeno en la corrosión atmosférica, sobre todo de acero, cobre y zinc. Su fuente principal la representan los procesos de combustión a elevadas temperaturas, durante los cuales el NO_x es formado, siendo rápidamente oxidado en presencia de O₃.



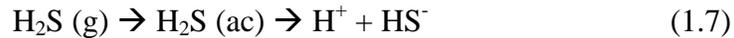
Dado que las fuentes principales del NO₂ son las mismas que para el CO₂ (combustión), su distribución geográfica es coincidente, encontrándose las mayores concentraciones en las áreas altamente industrializadas (Sudeste asiático, Europa y Norteamérica). En estas áreas urbanas la concentración de NO₂ puede alcanzar los 300ppb durante periodos de smog fotoquímico intenso. El dióxido de nitrógeno es prácticamente insoluble en el agua, por lo que no es precipitado a través de gotas, rocío o películas de agua que se formen en las superficies, el único sumidero lo representa la reacción con el radical OH⁻ para formar ácido nítrico.



Desde el punto de vista del deterioro de equipo electrónico es conveniente recordar que éste acelera la corrosión del cobre, plata y afecta al oro.

Ácido sulfhídrico.

Se trata de un producto de la degradación anaeróbica de los componentes orgánicos de azufre. Sus fuentes por tanto son naturales o debidas a la combustión de hidrocarburos y fabricación de papel entre otras. Se trata de un compuesto ligeramente soluble en agua, de acuerdo a:

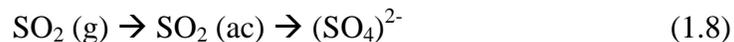


Donde el ión HS^- es un agente corrosivo activo.

Óxidos de Azufre

Se trata de los gases más importantes para la corrosión atmosférica (se generan durante la combustión y en la refinación de piritas). Su control es factible desde el punto de vista tecnológico por lo que se han limitado sus emisiones sobre todo en países altamente industrializados, por otra parte su concentración se ha venido incrementando en regiones de rápida industrialización con nulos o reducidos controles en las emisiones (economías emergentes o países en vías de desarrollo). Su concentración varía sensiblemente de región a región y aún dentro de una misma zona urbana.

El dióxido de azufre es moderadamente soluble en agua, de acuerdo a:



De manera similar cuando se deposita en una superficie reacciona con el radical OH^- (en fase gaseosa), formando así H_2SO_4 :



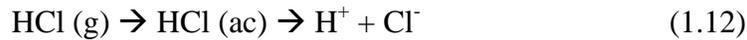
El ácido sulfúrico se disuelve en el agua en donde se disocia en forma iónica.

Ácido Clorhídrico

Se origina en la brisa marina de la cual se libera por la presencia de ácidos fuertes:



Este ácido presenta una solubilidad similar al nítrico por lo que tiende a disolverse con relativa facilidad en las gotas o en películas superficiales o aún en el rocío, disociándose para formar ión cloro el cual es un agente corrosivo activo.



Ácidos orgánicos

Los más comunes (fórmico HCOOH y acético CH₃COOH) son corrosivos a la mayoría de los metales industriales. Sus fuentes principales son la combustión incompleta de madera, de vegetación en general y las reacciones fotoquímicas del *smog*. No existen datos de su concentración y distribución, se considera que en áreas urbanas alcanzan valores de 1 a 10 ppb. Son altamente solubles en agua, en donde se disuelven parcialmente.

1.4 EFECTO DE LAS PARTÍCULAS

La dinámica, composición y comportamiento de las partículas (líquidas o sólidas) que se encuentran en suspensión en la atmósfera (aerosol) es un problema complejo, sin embargo es necesario conocer su comportamiento por el efecto que éstas, una vez depositadas en la superficie, tienen en la velocidad de corrosión. Las partículas se producen por la condensación de gases de baja volatilidad seguida de coalescencia (figura 1.2) o por efectos mecánicos (partículas de grandes dimensiones).

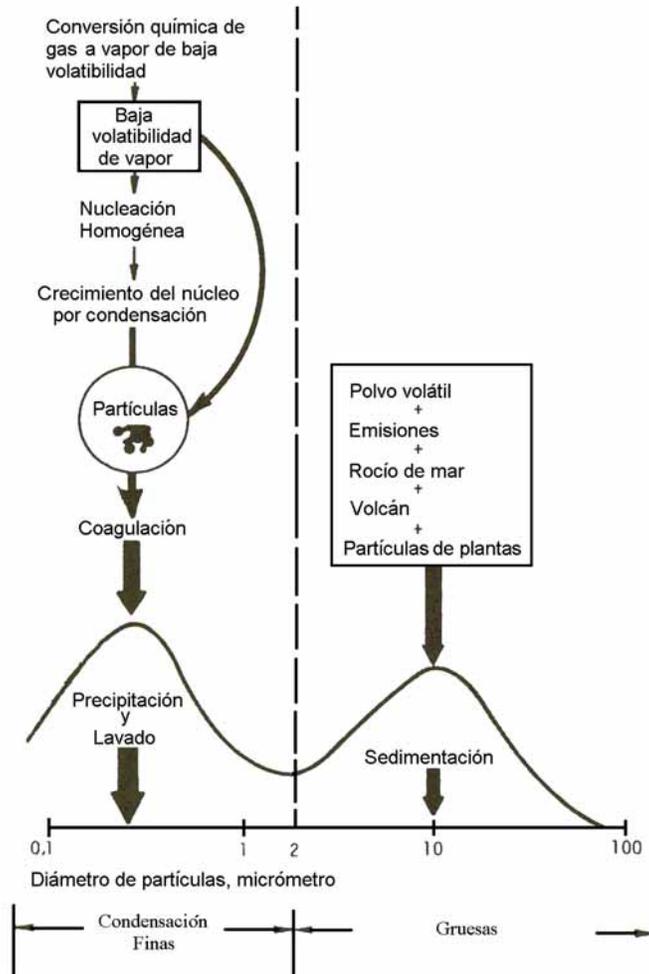


Figura 1.2 Mecanismo de formación y distribución de tamaños de aerosoles atmosféricos provenientes de diferentes fuentes [3].

Al igual que los gases, las partículas son depositadas cuando entran en contacto y son retenidas por la superficie (deposición en seco). Pero al contrario que los gases, en el depósito de las partículas se vuelve evidente el efecto de tamaño, donde las partículas pequeñas son más susceptibles al movimiento del aire. Lo anterior se traduce en una diferencia en la velocidad de depósito por efecto de tamaño. Las mínimas velocidades de depósito se presentan para partículas del orden de 0.1μ de diámetro.

De acuerdo a su origen las partículas pueden ser producto de la condensación de compuestos gaseosos o producirse por medios mecánicos.

Las partículas formadas por la condensación de diversos compuestos se caracterizan por una composición mixta debido a que éstas se forman en un proceso progresivo a partir de diferentes especies.

Atendiendo a su origen las partículas se clasifican en:

- a) Naturales, por ejemplo sales provenientes del océano, polvos del suelo, polvos de origen volcánico.
- b) Antropogénicas; tráfico vehicular, actividades de la construcción, combustión de biomasa, actividades industriales.

Las partículas gruesas de origen natural tienen un mayor impacto a nivel global que las antropogénicas, ya que éstas solo tienen importancia a nivel local.

Una de las características de las partículas que influye cuando se depositan en las superficies metálicas, es su cualidad higroscópica. Esto es, que las partículas absorben humedad adicionándose a las grandes cantidades de contaminantes, humectando la superficie. Además por efecto de la humedad absorbida éstas incrementan su diámetro; por ejemplo a una humedad relativa del 90% una partícula atmosférica típica puede incrementar su radio en un 50%, lo que significa un 300% en volumen.

1.5 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La cinética de la corrosión está íntimamente ligada con la temperatura del medio ambiente, por lo que cuando la temperatura se incrementa, la velocidad de corrosión también lo hace. Esto es, el incremento de la temperatura estimula el ataque corrosivo por incremento en la velocidad de las reacciones electroquímicas y procesos de difusión. En el caso de la corrosión atmosférica se presentan características particulares, dado que los rangos de variación de dicho parámetro están muy limitados. La temperatura influye en forma directa con la posibilidad de que se presente una película de agua sobre la superficie, así como también en el espesor de ésta. Al aumentar la temperatura la humedad relativa disminuye y la capa de depósito formada en la superficie tiende

a evaporarse, y por consecuencia a disminuir sensiblemente. Por otra parte cuando la temperatura atmosférica se reduce se presenta la condensación de agua, sobre las superficies, en forma de rocío. Por último temperaturas ambientales por debajo de los 0 °C se considera que dan lugar a la congelación de la película y por consecuencia a la imposibilidad de que los procesos electroquímicos continúen.

En atmósferas interiores, cuando las edificaciones cuentan con sistemas de aire acondicionado habrá que tomar en cuenta el empleo de deshumidificadores. El enfriamiento del aire sin reducir la humedad incrementa la humedad relativa propiciando una de las condiciones para el aumento de la agresividad del ambiente.

1.6 MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Los estudios de corrosividad atmosférica, a nivel mundial, han tenido un gran desarrollo a partir de los años 1980's y se han traducido en un conocimiento más profundo de los fenómenos, además de permitir la definición de la agresividad de las diversas regiones geográficas, esto mediante varias metodologías, de las cuales la propuesta por la Internacional Standard Organization –ISO- (normas 9223:1992(E), 9224:1992, 9225:1992, 9226:1992) es la que en la mayoría de los casos se ha empleado (Figura 1.3).

1. Las características del clima (temperaturas, precipitación, vientos). A través de las cuales se define el tiempo de humectación.
2. La concentración de los contaminantes, principalmente bióxido de azufre y cloruros. Si bien la normatividad propuesta por ISO solamente considera éstos, es necesario tener en cuenta que existen otros que en menor medida también afectan la velocidad de corrosión (NO_x, H₂S, CO₂) o favorecen las reacciones (O₃) con una sensible influencia en el deterioro de los metales y aleaciones.

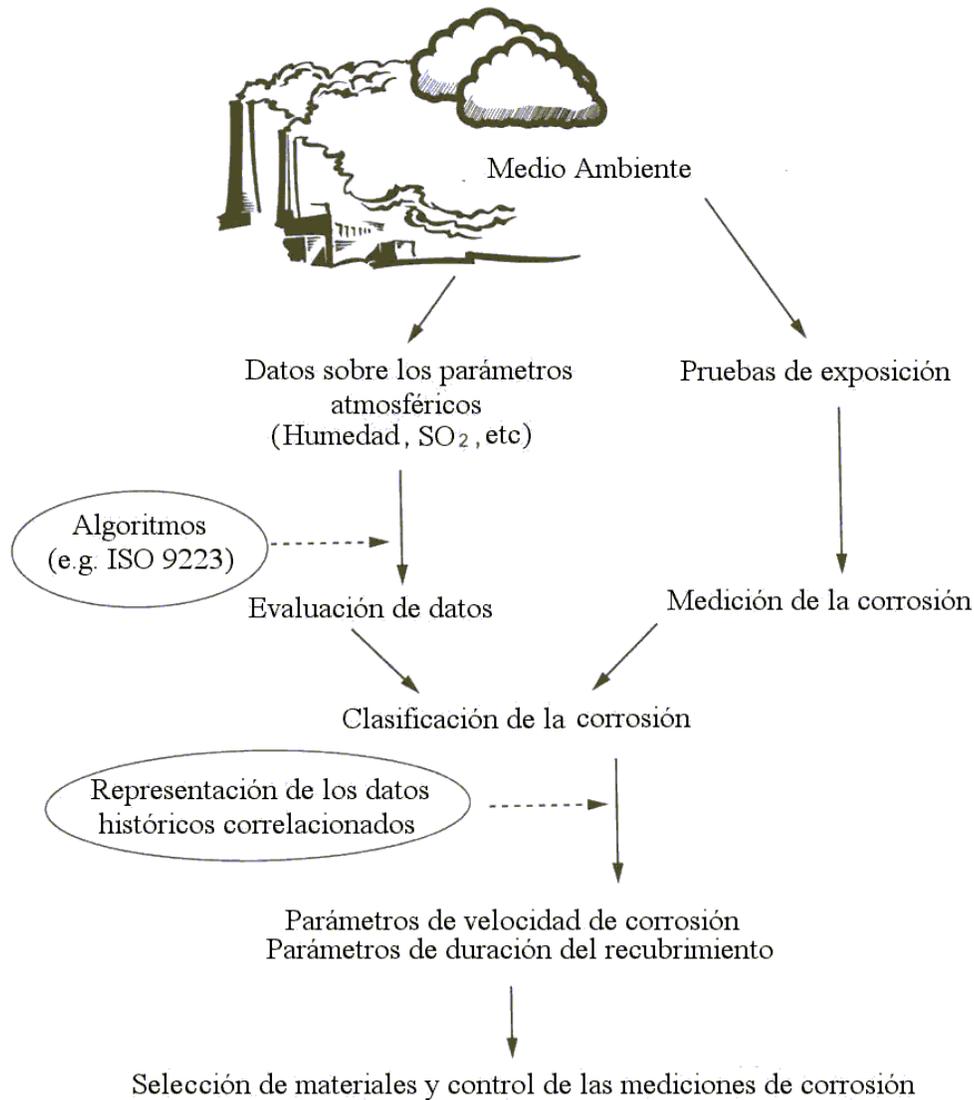


Figura 1.3 Desarrollo esquemático de dos metodologías para la definición de la corrosividad atmosférica [7].

Para el análisis de la corrosividad característica de una atmósfera es necesario determinar el tiempo de humectación, éste se define como el periodo durante el cual el electrolito está presente en forma evidente en la superficie del material, por consecuencia es un índice de la duración del proceso electrolítico. Con base en lo anterior el tiempo de humectación de una superficie representa el periodo durante el cual la humedad relativa es mayor o igual al 80% para una temperatura superior a 0 °C, que son las condiciones básicas para las que la corrosión es factible. Se considera, en principio, que para temperaturas inferiores a 0° C no existe corrosión debido a

que la capa de electrolito se congela. Pero no hay que tomar literalmente el concepto anterior ya que la temperatura de congelación dependerá de la concentración de sales, pudiendo existir la película de depósito en estado líquido aún a temperaturas del orden $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las precipitaciones pluviales afectan el tiempo de humectación dado que favorecen la formación del electrolito, pero por otra parte diluyen la concentración de contaminantes. En general en exteriores tienden a disminuir la corrosividad atmosférica (por la acción de lavado) mientras que en interiores, en el caso que no exista control de clima, tienden a incrementarla al favorecer la humectación de la superficie.

Un mecanismo alternativo para la definición de la corrosividad de un ambiente es a través de la medición directa del deterioro. Lo anterior a través de la correlación *daño-corrosividad-parámetros ambientales*.

La medida más sencilla para realizar la medición directa de la corrosión atmosférica es mediante el empleo de láminas patrón que son expuestas al ambiente para después evaluar sus pérdidas de masa, así como el número y profundidad de las picaduras. Una alternativa a la exposición de cupones de lámina es el método de alambre sobre tornillo, el cual requiere de menores tiempos de exposición (3 meses).

Por otra parte mediante la medición de corriente o potencial es factible la evaluación en tiempo real del daño por corrosión, para esto se emplean técnicas de Ruido Electroquímico, Resistencia Lineal de Polarización, y Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.

1.7 CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN INTERIORES

El estudio de la corrosión en interiores comenzó hace aproximadamente dos décadas, y en muchas ocasiones sus resultados se han orientado al análisis de sus efectos sobre materiales y equipo electrónicos. Rice *et al* [10, 11,12] estudiaron en 1980 la corrosión en interiores de cobre, plata, níquel, cobalto y hierro, en diferentes localidades en Estados Unidos. De los resultados de sus investigaciones se desprende que en general la velocidad de corrosión es mucho menor en interiores que en exteriores, sin embargo la ventaja del efecto de lavado de las superficies que se presenta en exteriores por la acción de la lluvia puede resultar benéfica al reducir la concentración de contaminantes.

Sin embargo, los resultados no se pueden generalizar para países como México, en donde el empleo de sistemas de acondicionamiento de aire es poco frecuente, además de que existe usualmente un amplio intercambio de aire entre las zonas interiores de las edificaciones y el exterior.

Es conveniente considerar, en el caso de contar con equipos de aire acondicionado, si éstos disponen de deshumidificadores, ya que de otra manera la humedad relativa en el interior será superior al exterior.

En interiores, la película de humedad formada sobre la superficie está sujeta a ciclos de menor variación de temperatura y de humedad. Esto significa que en interiores los ciclos de condensado-evaporación son menos notorios y drásticos, si bien habrá que considerar que para que exista precipitación de condensado con efectos corrosivos, no es requisito alcanzar el punto de rocío.

Desde el punto de vista de materiales de construcción (elementos estructurales, ornamentales, herrería, etc.) las condiciones características de los interiores son poco agresivas, sin embargo para equipos y sistemas electrónicos si se dan las condiciones que permiten la presencia de inconvenientes en su funcionamiento y un sensible deterioro. Un ejemplo común de dicha situación es el equipo telefónico y de cómputo el cual se puede encontrar bajo cualquier condición atmosférica, y aún en condiciones de exteriores, como es el caso de los de servicio público y portátil.

Las posibles diferencias existentes en la concentración de contaminantes en interiores y exteriores se deben principalmente a la adsorción de gases y partículas en interiores y a la disminución de las variaciones atmosféricas exteriores por medio de sistemas de ventilación y la misma construcción. La mayor parte de los contaminantes encontrados en interiores proviene del exterior aunque algunos se producen dentro como productos de calefacción, partículas sólidas, contaminación de estufas y calentadores de gas, nieblas de aceites y grasas de las cocinas, humo de cigarrillos, descomposición de los materiales que forman pisos y paredes (tapetes, recubrimientos plásticos, etcétera), entre otros. La tabla 1.1 muestra el comparativo de concentraciones en interiores y exteriores, ya que las concentraciones de los contaminantes varían según el ambiente y las condiciones de la edificación (existencia de sistemas de aire acondicionado, condiciones de ventilación del interior, uso del inmueble o de la zona bajo estudio, entre otros).

Tabla 1.1 Concentración general de contaminantes en interiores y exteriores [28].

Compuesto		Concentración (ppb)	
		Exteriores	Interiores
O ₃	Ozono	4 - 42	3 - 30
H ₂ O ₂	Agua oxigenada	10 - 30	5
SO ₂	Dióxido de azufre	1 - 65	0.3 - 14
H ₂ S	Ácido sulfhídrico	0.7 - 24	0.1 - 0.7
NO ₂	Dióxido de nitrógeno	9 - 78	1 - 29
HNO ₃	Ácido nítrico	1 - 10	3
NH ₃	Amoniaco	7 - 16	13 - 259
HCl	Ácido clorhídrico	0.18 - 3	0.05 - 0.18
Cl ₂	Cloro	0.005 - 0.08	0.001 - 0.005
HCHO	Formaldehído	4 - 15	10
HCOOH	_____	4 - 20	20

1.8 PROBLEMÁTICA

El interés en el estudio de los efectos de la corrosión en equipo eléctrico data de los 1930's, esto debido a los problemas que se presentaron en centrales telefónicas. Sin embargo, el énfasis en el análisis del efecto que la corrosión atmosférica tiene en el funcionamiento del equipo electrónico se remonta a mediados de los años 1960's, producto de los inconvenientes que los dispositivos electrónicos del equipo militar norteamericano presentaron durante la guerra de Vietnam. A raíz de estos problemas se desarrollaron estudios de los cuales se concluyó que una cantidad apreciable de las fallas presentadas habían tenido su origen en fenómenos corrosivos, producidos por las condiciones ambientales extremas características de dicha región del planeta. Estas fallas se suscitaron debido a que durante el diseño no fue considerada la posibilidad de deterioro por medio ambiente. Esta situación se sigue presentando en la actualidad, a pesar de que durante las labores de mantenimiento se ha comprobado la presencia de estos fenómenos. Lo anterior sobre todo en condiciones que se caracterizan por una elevada humedad relativa típica de regiones tropicales o costeras, aún cuando también se pueden presentar inconvenientes en equipo instalado en sitios como la ciudad de México.

Guttenplan [14] define la problemática de la corrosión en la industria electrónica, de acuerdo a las siguientes tendencias en el diseño:

- Mayor número de componentes por unidad de área, los cuales son cada vez más pequeños y el espaciamiento entre éstos es menor. Las secciones de las pistas conductoras son también de menores dimensiones, lo que se traduce a elevados gradientes de potencial.
- Demanda de pistas conductoras con menor resistencia.
- Exposición del equipo electrónico a condiciones más severas.

La corrosión en equipo electrónico puede ocurrir durante la manufactura, almacenaje, transporte o por supuesto durante el servicio. Los principales agentes promotores del deterioro son humedad, cloruros, H₂S, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, amoníaco y partículas suspendidas; las cuales pueden favorecer la precipitación de humedad (carácter higroscópico) a la vez de modificar la composición del electrolito y con esto generar el fenómeno.

Los niveles bajos de humedad y contaminantes agresivos pueden causar problemas en circuitos impresos, circuitos integrados, conectores eléctricos, potenciómetros, pilas y otros componentes electrónicos. Adicional a lo anterior se tiene la tendencia al uso generalizado de equipo de alta tecnología, en el que la calidad de salida de las señales producidas los vuelve más sensibles a mínimos daños, producto de su interacción con el medio ambiente.

El ambiente al que están expuestos los circuitos electrónicos proviene de dos fuentes: los materiales de los que está construido el equipo y los residuos de su propia manufactura, así como desde luego a la atmósfera.

En general se reconoce que las fallas en equipo electrónico por efecto del medio ambiente se deben fundamentalmente a:

- a) Resistencias de contacto producto de la formación de depósitos no conductores.
- b) Pérdida de la continuidad por corrosión de las pistas o elementos conductores.
- c) Cortocircuitos, producto de partículas depositadas sobre las pistas conductoras, por condensación de humedad sobre éstas o por la formación de depósitos filiformes.

Al referirse a la corrosión en equipo electrónico es conveniente, por sus características clasificar ésta en:

- Deterioro de dispositivos macro, tales como conectores, soldaduras, circuitos impresos, interruptores, etc.
- Deterioro en microelectrónica, básicamente en lo que se refiere a circuitos integrados
- Deterioro en sistemas de almacenamiento magnético de datos

Por otra parte dada la variabilidad de las condiciones atmosféricas a las que es sometido el equipo, a pesar de encontrarse éste en interiores, es necesario que cualquier método de ensayo pueda reproducir las condiciones de operación y como consecuencia el daño, todo esto en forma acelerada, por lo que cualquier método de prueba deberá permitir la manipulación de las variables.

Como ejemplo de la variabilidad de las condiciones ambientales se puede mencionar el caso de México, cuyo clima va desde tropical lluvioso hasta el frío característico de las altas montañas. Esta diversidad y peculiaridades son debidas a su topografía y altitud. Las condiciones ambientales, además, varían durante el año. Las temperaturas mínimas y máximas absolutas en México son del orden de -10°C y 40°C respectivamente, mientras que la humedad relativa varía entre los 30% y 100%, condiciones que se ven atenuadas cuando se hace referencia a interiores. Por otra parte, los contaminantes presentes y su concentración son variados, aún en el interior de la misma zona metropolitana de la Ciudad de México, dando como consecuencia que equipos del mismo tipo puedan estar instalados en regiones de diferente grado de corrosividad.

El problema radica en identificar el efecto que el medio ambiente tiene en el desempeño de los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMD), esto con el fin de conocer las limitaciones en su vida útil, lo cual se podrá lograr al efectuar pruebas de simulación que reproduzcan los efectos de las condiciones atmosféricas y de calidad del aire.

Capítulo 2.

Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMD)

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Breve Historia del Almacenamiento Magnético.

La primera demostración de que se podía grabar información en un medio magnético fue realizada por el Ingeniero danés Valdemar Poulsen en 1898. En particular, Poulsen grabó y reprodujo sonido con un invento llamado “telegráfono”, que consistía en una cuerda de acero para piano y un electroimán. En los 1920’s, los primeros dispositivos de grabación con cintas de acero fueron hechos por los alemanes, y en 1928, J.A. O’Neill recibió una patente por el recubrimiento con partículas de hierro en una cinta estrecha de papel como medio de grabación. La primera cinta de grabación magnética fue producida en 1935 por I.G. Farben en Alemania. Este desarrollo usó una base plástica con un recubrimiento magnético. En 1947 la compañía 3M desarrolló cintas de óxido y la primera cinta de grabación comercial desarrollada por 3M apareció en el mercado estadounidense. Éste se basó en una cinta de papel con un recubrimiento de óxido. Ampex inició la comercialización de cintas de audio en 1948. Desde entonces las cintas magnéticas se desarrollaron rápidamente con la base plástica reemplazando el papel. La video grabación fue demostrada en 1951 por 3M.

Después de la segunda guerra mundial, el almacenamiento magnético digital de datos en cinta creció sinérgicamente con la computadora electrónica. En 1953 IBM comercializó la primera unidad de cinta magnética, la IBM 726 con una densidad lineal de 4 bytes/mm. Desde sus inicios hubo la necesidad de sistemas de almacenamiento magnético de datos que ofrecieran acceso aleatorio, esto es, un dispositivo que permitiera la grabación y recuperación de la información en cualquier orden, en lugar de consecutivamente, como la cinta magnética

2.1.2 Evolución del Almacenamiento de Datos.

A mediados de 1800, las tarjetas perforadas eran usadas para introducir datos a las primeras calculadoras y otras máquinas.

En los años cuarentas los tubos de vacío o bulbos fueron usados para almacenar información, ya para 1950, las unidades de cinta magnética empezaron a reemplazar a las tarjetas perforadas, y para 1952 aparecieron los tambores magnéticos.

En 1956 el primer disco duro, el IBM 305 RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control), fue el primer disco duro magnético de almacenamiento de datos, la tecnología RAMAC pronto llegó a ser un industrial estándar. El enorme disco para unidades de 14 y 8 pulgadas costaba decenas de miles de dólares, emitía un zumbido y necesitaba un ambiente de temperatura controlada.

En 1967 IBM construye el primer disco flexible (floppy disk).

En 1971 IBM introduce el disco flexible, también llamado disco de memoria, un disco de plástico de 8 pulgadas cubierto con óxido de hierro.

En 1973 IBM introduce la unidad de disco duro IBM 3340, conocido como Winchester, nombre clave interno de la IBM. Las cabezas de grabación corrían sobre la superficie del disco, a una distancia de 18 millonésimas de pulgada. Esta tecnología marcó los estándares para la siguiente década.

Desde entonces, la capacidad, el tamaño y rendimiento de las unidades de disco duro han variado espectacularmente, pero el mecanismo de funcionamiento sigue siendo esencialmente el mismo.

En Junio de 1978 Apple Computers introduce el disk II, un disco flexible de 5.25 pulgadas unido a la Apple II por un cable.

Los discos flexibles removibles como dispositivos de almacenamiento llegaron a ser populares hasta este año, gracias al disk II. El término floppy (flexible) seguramente es muy apropiado para los primeros diskettes de computadora de 8 pulgadas y para los diskettes de 5.25 pulgadas que les sucedieron. El disco interno del hasta ahora mas pequeño disco flexible de 3.5 pulgadas se encuentran dentro de una caja de plástico rígido que es más durable que la cubierta flexible de los diskettes de mayor tamaño.

En 1980 Sony Electronics introduce el disco flexible de 3.5 pulgadas de doble cara y doble densidad, pudiendo almacenar más de 875 KB sin formatear. Para 1983 Sony anunció su disco flexible de 3.5 pulgadas que puede almacenar más de un MB.

En 1983 con la introducción de la unidad de disco duro IBM PC/XT, IBM también consiguió estandarizar los componentes de la mayoría de las computadoras personales. El término hard (duro) es usado porque el disco interno que guarda la información en hard drive (unidad dura) es de una aleación de aluminio. Estos discos, llamados platos son recubiertos con un material magnético mejorado, duran mucho más que el plástico del disco flexible. El periodo de vida de los discos duros es también función de las cabezas de lectura/escritura. En la unidad de disco duro las cabezas no tocan la superficie del disco, a diferencia de una unidad de disco flexible la cabeza de lectura/escritura hace contacto, causando desgaste en la superficie del disco.

En 1983 Philips y Sony desarrollaron el CD-ROM como una extensión del CD de audio.

En 1998 IBM anunció un disco duro de 25 GB

En 1999 IBM elevó la barrera en la tecnología con una nueva familia de discos duros que protege a las unidades contra la variación de temperatura y vibración; en junio del 2000, IBM anunció el lanzamiento de una micro unidad de 1GB, la más pequeña, ligera y de mayor capacidad de un disco duro móvil.

2.2 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS?

Un SAMD, es un conjunto de componentes electrónicos y mecánicos que permite el almacenamiento y recuperación de grandes cantidades de información. Los discos duros son el principal elemento de la memoria secundaria de una computadora, la memoria principal es la memoria RAM (Random Access Memory, memoria de acceso aleatorio).

Los discos duros como la memoria principal son memorias de trabajo y varían su contenido en cada sesión con la computadora. Pero existen grandes diferencias: la memoria principal es volátil (su contenido se borra cuando se apaga la computadora), es muy rápida (ya que se trata de componentes electrónicos) pero de capacidad reducida. La memoria secundaria, es no volátil, es menos rápida (componentes mecánicos) y de gran capacidad. La memoria principal contiene los datos utilizados en cada momento por la computadora, pero debe recurrir a la memoria secundaria cuando necesite recuperar nuevos datos o almacenar de forma permanente los que hayan variado.



Fig. 2.1 Aspecto externo de un Sistema de Almacenamiento Magnético de Datos [30].

Un disco duro consiste en un motor, un huso, platos (discos), cabezas de lectura/escritura, un actuador, una tarjeta (de control) electrónica entre las partes más representativas que muestra la figura 2.2.

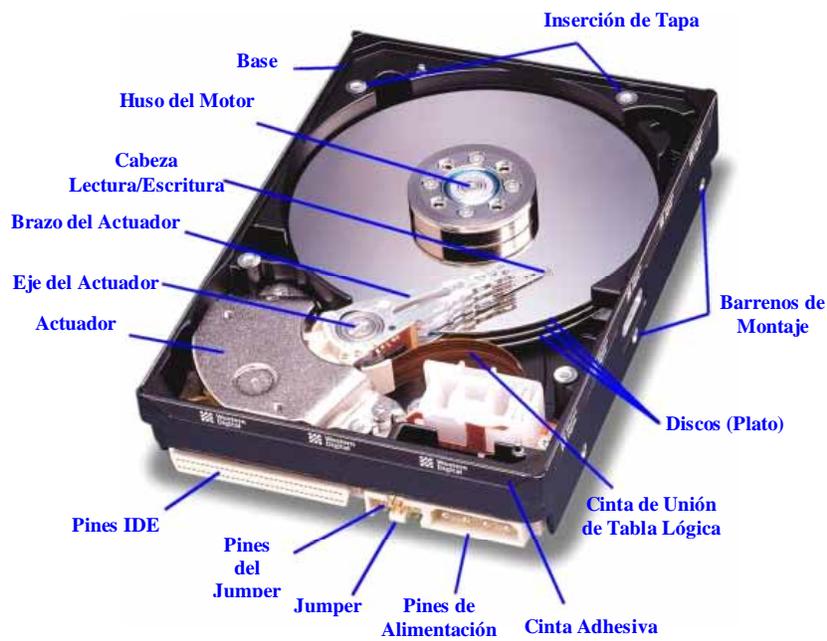


Fig. 2.2 Componentes del disco duro [30].

Una unidad de almacenamiento magnético de datos cuenta con uno o más discos y cada disco tiene generalmente una cabeza en cada uno de sus lados. La cabeza de lectura/escritura es un componente extremadamente crítico en la determinación del funcionamiento del disco duro, puesto que desempeñan un papel importante tanto en el almacenaje como en la recuperación de datos. Son generalmente una de las partes más costosas del disco duro.

Las cabezas son dispositivos que vuelan realmente como un aeroplano sobre (y debajo) la superficie de los discos en una distancia medida en micro pulgadas. Esto reduce el desgaste en la superficie del disco durante la operación normal.

2.3 PRINCIPIO BÁSICO DEL ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO

Esta tecnología de almacenamiento se fundamenta en el magnetismo y en la inducción electromagnética. Es bien sabido que el flujo de corriente en un alambre produce un campo magnético. En un embobinado, se encuentra que las líneas del campo corren a través del núcleo. La intensidad de campo H (expresado en A/m) dentro de la bobina es proporcional a la corriente así como al número de vueltas e inversamente proporcional a la longitud de la bobina. Si ahora se inserta una pieza de material magnético dentro de la bobina el material se magnetizará. Las líneas de campo asociadas con H son llamadas líneas de flujo. Un campo más fuerte tiene más líneas de flujo corriendo a través de un área dada, y se puede medir la intensidad en términos de la densidad de flujo (o inducción) M , expresado en Wb/m^2 . El número de líneas de flujo dentro del material se incrementa debido a su permeabilidad relativa μ_r definida como la razón entre la densidad de flujo dentro del material y la densidad de flujo en el aire; está en función tanto del material como de la magnitud del campo H .

Una curva de magnetización inicial (0-3) es mostrada en la figura 2.3 (a). El valor inicial de la permeabilidad relativa cuando $H = 0$ es llamada permeabilidad inicial (μ_i) y es igual al valor de la pendiente de la curva inicial de magnetización.

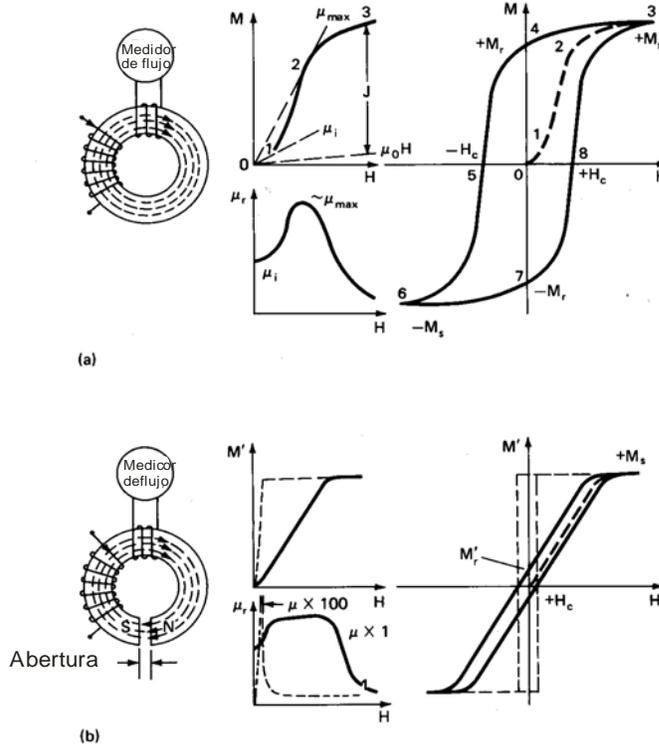


Fig. 2.3 Curva de magnetización y ciclo de histéresis de materiales magnéticos duros [4].

La permeabilidad alcanza su máximo valor en el rango 1-2, donde posteriormente decrece y eventualmente alcanza el valor 1 para campos de muy alta magnitud H en el rango 2-3. La relación entre M en el material magnético y la magnitud del campo externo H es $M = \mu_0 H + J$. Donde $\mu_0 H$ es la contribución del campo H y J es la magnetización espontánea del material. La constante μ_0 es la permeabilidad del aire ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am). Para el aire, se tiene que $J=0$.

El almacenamiento magnético se basa en el fenómeno de la histéresis magnética. En la mayoría de los materiales magnéticos se da este comportamiento. El comportamiento de la histéresis para un núcleo de anillo se representa en la figura 2.3(a), donde M es la magnetización inducida en el material en presencia de un campo de intensidad H . La magnetización M es expresada como un momento magnético por unidad de volumen (Wb/m^2). Algunos atributos importantes del comportamiento de la histéresis son la magnetización remanente (también llamada densidad de flujo residual M_r), la magnetización remanente después de la saturación cuando H es reducida a cero y la coercitividad $-H_c$, donde el campo requiere reducir la magnetización a cero. La figura

2.3(a) muestra un ejemplo para un material magnético duro donde el material retiene esta magnetización después de haber sido alejado del campo magnético.

La figura 2.3 (b) muestra el ciclo M-H para un material magnético suave usado para el núcleo de la cabeza. El núcleo del anillo tiene ahora una estrecha abertura como las que se encuentran en las cabezas de lectura/escritura. El propósito de la abertura es la formación de los polos N y S (norte y sur, respectivamente) que como consecuencia se reduce M_r a M'_r ; si no se reduce, M_r causa problemas de ruido y distorsión en la grabación. La coercitividad de un material magnético suave es muy baja y su permeabilidad muy alta. Se observa que un solo campo magnético pequeño es necesario para saturar el núcleo del anillo sin abertura. Esto muestra claramente la capacidad de los materiales para producir grandes densidades de flujo por campos pequeños, que es lo más deseable en las cabezas magnéticas.

Como se ha visto, la corriente puede generar un campo magnético que puede magnetizar un material magnético duro permanentemente. Este imán permanente puede a su vez, generar un voltaje: si es pasado por un embobinado, generará un pulso de voltaje. Se acaba de describir el principio básico del almacenamiento (escritura) magnético y reproducción (lectura), y esto es mostrado esquemáticamente para el almacenamiento en la figura 2.4, que consiste en un movimiento relativo entre un medio magnético y la cabeza de lectura/escritura en forma de anillo.

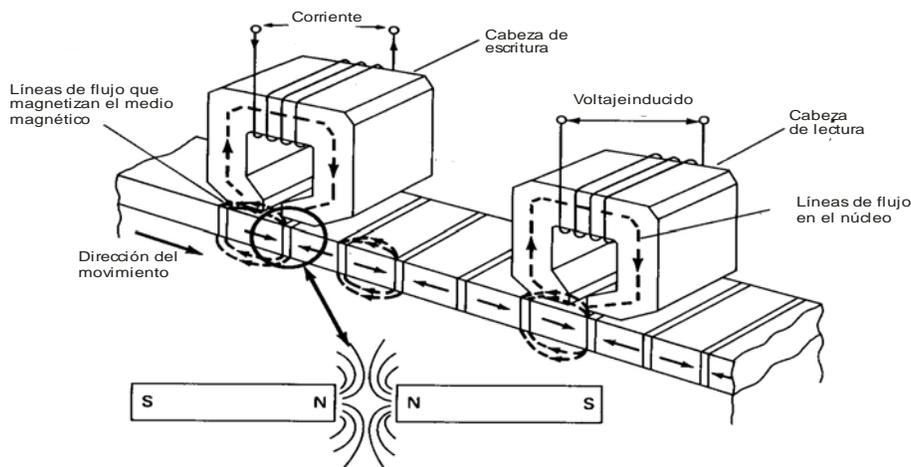


Fig. 2.4 Principio de lectura y escritura [4].

Las cabezas de lectura/escritura de tipo inductivas consisten en un anillo de un material magnético de alta permeabilidad con un devanado eléctrico y una abertura en el material magnético que se posiciona cerca de la superficie del medio de almacenamiento. La escritura es llevada a cabo haciendo circular una corriente a través de la bobina. El flujo es confinado en el núcleo magnético, excepto en la región de la pequeña abertura. Cuando el campo magnético en la proximidad de la abertura es suficientemente fuerte, magnetiza el medio magnético, cuando se mueve la cabeza de escritura. El medio magnético consiste en un material magnético de alta coercitividad que se mantiene magnetizado después de que ha pasado por la cercanía del campo de la abertura de la cabeza de escritura. El medio magnético pasa por la cercanía de la cabeza de lectura que, como la cabeza de escritura es un núcleo en forma de anillo con una pequeña abertura. Cada partícula del medio magnético es un imán en miniatura, y sus líneas de flujo se sumarán con las de otras partículas para proporcionar un flujo externo proporcional en magnitud al medio de magnetización. Las líneas de flujo del medio penetran el núcleo y se induce un voltaje en la cabeza devanada. Este voltaje, después de una conveniente amplificación, reproduce la señal original. Una sola cabeza puede ser usada para ambas funciones: lectura y escritura.

2.4 UNIDADES DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS.

Cuando se habla de una unidad de disco duro comúnmente se hace referencia a la tecnología Winchester que utiliza un disco duro como una pila fija de información en una unidad. Los discos giran a una velocidad angular constante, con pistas de datos concéntricas grabadas en sus superficies. Las cabezas son movidas por un actuador que posiciona cada cabeza sobre la información deseada. Mientras todas las cabezas actúan juntas solo una cabeza es seleccionada para leer o escribir a la vez. Un actuador generalmente usa un motor de pasos o un motor de bobina de voz.

La interfase cabeza-disco de una unidad IBM 3370 es mostrada en la Figura 2.5. Las secciones transversales de 1.3-1.9 mm de espesor de discos duros de partículas y película delgada se muestran en la figura 2.6. La figura 2.7 muestra un acercamiento de una cabeza lectura/escritura de un disco duro de película delgada. Tiene dos rieles sujetos a una hoja de acero flexible no magnético.

Los elementos de tipo inductivo en la cabeza de lectura/escritura están localizados en la orilla de cada riel. Sin embargo, los dispositivos de lectura/escritura solo actúan uno a la vez. El ancho del hueco entre los rieles determina el ancho de la pista grabada en el disco. El diseño del modelo 3370 fue usado por la IBM para varios modelos posteriores de sus productos, el único cambio para los diferentes modelos de las unidades ha sido el ancho de las barras para tener una adecuada “altura de vuelo”.

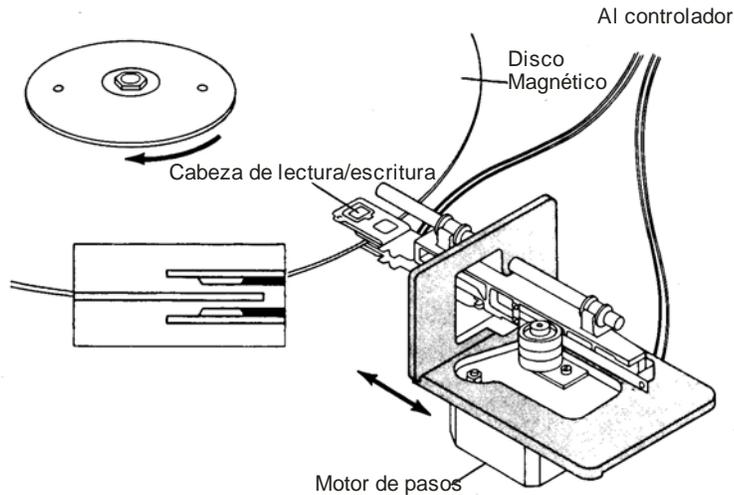


Fig. 2.5 Esquema de la interfase disco-cabeza en la unidad IBM 3370. Se muestra el perfil de la inserción de la cabeza y el disco y el espacio entre éstos.

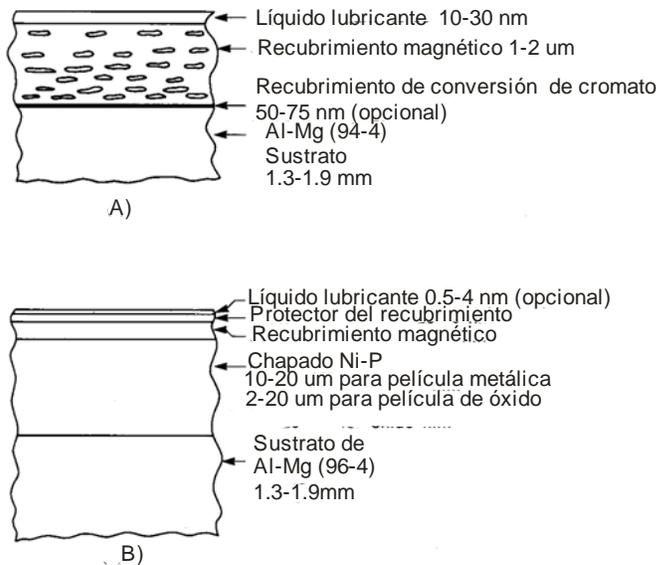


Fig. 2.6 Vista de la sección transversal de un disco duro: a) Partículas y b) Película delgada [4] .

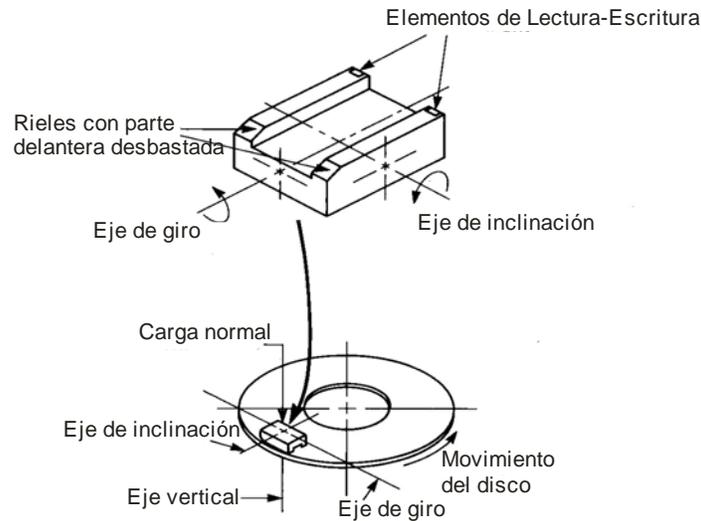


Fig. 2.7 Esquema del desempeño de una cabeza de Lectura-Escritura cuando se desliza sobre un disco [4].

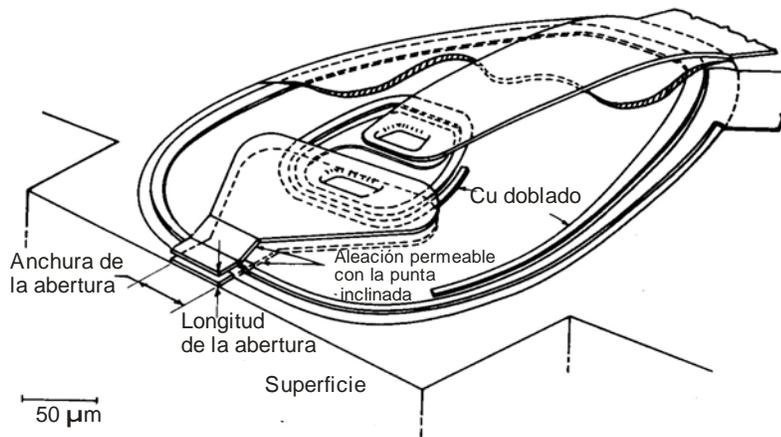


Fig. 2.8 Esquema de un elemento de Lectura-Escritura inductivo de una cabeza de localizada en la parte posterior de cada riel [4].

La cabeza del modelo 3370 y el mecanismo que la sostiene es mostrada en la figura 2.9. La cabeza es soportada por una lámina flexible delgada que va sujeta al brazo. El diseño del mecanismo permite a la cabeza moverse libremente, así como movilidad en los ejes. El mecanismo sustituye la fuerza de un resorte vertical de 0.15 N (15g) en unidades de alta

capacidad y 0.095 N (9.15g) en las de baja capacidad, que es balanceado por la hidrodinámica de la película de aire que se genera cuando el disco está girando. Se torna evidente que hay contacto físico cuando el disco no está girando.

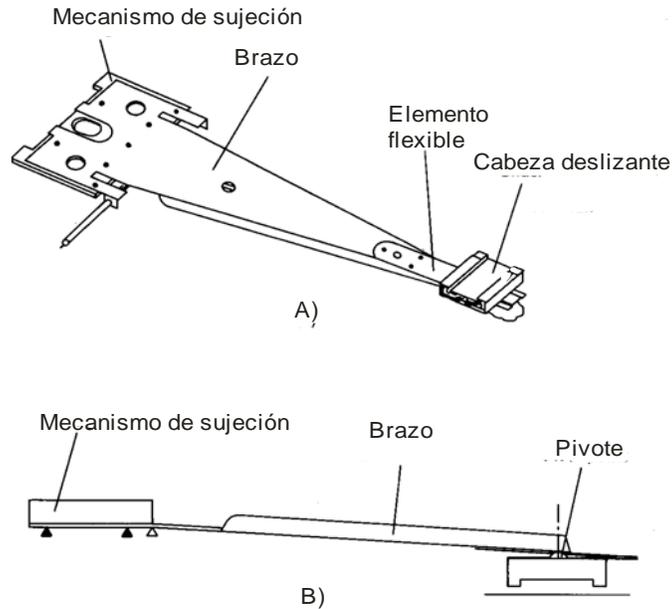


Fig. 2.9 Esquema del ensamble de la suspensión de la cabeza [4].

2.5 COMPOSICIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS.

2.5.1 Materiales empleados para las cabezas de lectura-escritura

Hay varias clases de materiales magnéticos suaves que se emplean para la construcción de núcleos magnéticos de las cabezas. La tabla 2.1 lista algunos materiales comerciales usados en la tecnología moderna de grabación, sus propiedades magnéticas y su dureza.

Tabla 2.1 Propiedades de materiales magnéticos blandos empleados para la fabricación de cabezas[4]

Material	Composición en masa	Permeabilidad		Coercitividad Oe	Magnetización de saturación G=1x10 ⁻⁴ T	Resistencia eléctrica ohm-cm	Microdureza Vickers kg/mm ²
		μ_i	μ_{max}				
Molibdeno	79 Ni	20,000	100,000	0.05	87,000	100	120
Permalloy	17 Fe 4 Mo						
Mu-Metal	77 Ni 14 Fe 5 Cu 4 Mo	30,000	100,000	0.02	7500	100	
Hy-Mu 800 B	70 Ni 17 Fe 4 Mo Nb ^a Ti ^a	70,000	250,000	0.002	8000	110	250
Sendust	85 Fe 9 Si 6 Al	8000		0.03	10,000	85	550
Alfenol	84 Fe 16 Al	4000		0.04	8000	150	290

^aPoca cantidad

2.5.2 Materiales empleados para el almacenamiento magnético de datos.

Los medios de almacenamiento magnético de datos se clasifican en dos categorías: medio de partículas, donde partículas magnéticas son dispersadas en un sustrato polimérico, recubriendo el sustrato, para los dispositivos de almacenamiento magnético flexible (cintas de grabación y disquetes) o sobre sustrato duro (típicamente aluminio); y medio de película delgada, donde una película continua de material magnético es depositada sobre el sustrato por electrodeposición o por técnicas de vacío (rociado y evaporación). La necesidad de alta densidad de almacenamiento y con menores niveles de error ha llevado a un incremento del uso del medio de película delgada cuya característica es que es más plano y delgado que el medio por partículas.

Las principales ventajas del medio de capa delgada es el alto magnetismo remanente respecto al disco de partículas, además de una alta coercitividad. El medio de película delgada permite invertir muy bien el sentido de la magnetización y en consecuencia obtener una alta capacidad de almacenamiento. La tecnología de película delgada también hace posible la manipulación de las propiedades magnéticas para cumplir con los requerimientos específicos de diseño. Se pueden

manufacturar películas delgadas muy planas con mucho menores asperezas, lo que permiten una menor altura de vuelo resultando también una alta densidad de almacenamiento.

Los materiales magnéticos usados en dispositivos de almacenamiento magnético de datos y sus propiedades se enlistan en la tabla 2.2. Las partículas magnéticas más comúnmente usadas son γ -Fe₂O₃, Co- γ Fe₂O₃, y CrO₂ para cintas y γ -Fe₂O₃ y Co- γ Fe₂O₃ para unidades floppy y discos duros. Estas partículas son de forma acicular. BaO-6Fe₂O₃. Las aplicaciones de alta densidad requieren partículas muy finas y de alta coercitividad. El tamaño de las partículas de ferrita-bario es mucho menor y su coercitividad es mayor que la de γ -Fe₂O₃ y CrO₂ (Tabla 2.2), y por eso son deseables para el almacenamiento de alta densidad. El uso de partículas de ferrita-bario en dispositivos de almacenamiento magnético de datos de alta densidad es común actualmente. En aplicaciones de seguridad para tarjetas de crédito, por ejemplo, materiales de alta coercitividad son empleados. Partículas metálicas con muy alta coercitividad (más alta que Co- γ Fe₂O₃ o CrO₂) no son comunes (excepto para aplicaciones de audio y video de muy alta densidad) porque son altamente reactivas (tienen una alta superficie de energía) con la atmósfera y rápidamente se oxidan, formando depósitos de óxido e incluso se queman cuando expuestas al aire.

Tabla 2.2 Propiedades de materiales magnéticos duros utilizados para el almacenamiento de datos [4]

Material	Longitud de la partícula μm	Coercitividad Oe	Remanancia de saturación G	Magnetización emu/g	Temperatura de Curie °K	Densidad Kg/m ³	Volúmen promedio de partícula 10 ⁻⁴ μm ³
γ -Fe ₂ O ₃	0.3-1	200-350	1100-1300	70-75	870	4800	1y25
Co- γ Fe ₂ O ₃	0.3-0.6	600-900	1200-1700	70-75	793	4800	1y10
CrO ₂	0.3-1	400-900	1400-1700	75-85	387	4800	1y10
BaO-6 Fe ₂ O ₃	0.06-0.15	400-1200	1000-1200	55-65	728	5300	<2
Fe	0.1-0.2	900-2000	3500	125-170	1403	5800	<1
Co-Ni (82-18)		400-2000 ^a	13,000	200		8000	
Co-Cr (80-20)		400-2000 ^a	10,000	160	1073	8000	
γ - Fe ₂ O ₃		400-2000 ^a	500	80			

^a Las películas de cobalto son dopadas con elementos como Pt o Re, y las películas de γ -Fe₂O₃ son dopadas con elementos como Os para obtener alta coercitividad.

La película magnética delgada más comúnmente usada para cintas es de Co-Ni (82-18). Las películas magnéticas para discos duros son las películas de metal de aleaciones base cobalto (tales como Co-Pt-Ni, Co-Ni, Co-Pt-Cr, Co-Cr, y Co-Ni-Cr y electrodeposición de Co-P) y

rociado de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Estas películas delgadas tienen de remanencia en un orden de magnitud mayor que las partículas. Por consiguiente, estas pueden ser depositadas en un orden de magnitud menor que el medio por partículas, respecto al espesor.

2.5.3 Discos Duros (sustratos)

El sustrato de los discos duros es generalmente una aleación de aluminio-magnesio (95.4% Al, 4% Mg, 0.4% Mn, y 0.15% Cr) sin tratamiento térmico, de un espesor de 1.3 a 1.9 mm, con una rugosidad superficial de 15-25 nm rms y una dureza Vickers de 90 kg/mm^2 . Esta superficie es obtenida por torneado con diamante y pulida. Para discos con medio por partículas, el sustrato de Al-Mg es algunas veces pasivado con un recubrimiento muy delgado ($<100\text{nm}$) a base de fosfato de cromo. El sustrato final es recubierto con material magnético de 1-2 μm de espesor con una rugosidad de alrededor de 25 nm rms. Para la cubierta es usado generalmente un copolímero duro de epóxico, fenólico, poliuretano y constituyentes de polivinil éter metílico. El polivinil éter metílico se descompone térmicamente durante el ciclo de curado y permite que se formen poros en el recubrimiento para retención de lubricante.

Alrededor de 30 al 35% por volumen de partículas magnéticas aciculares de cobalto modificado $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ es dispersado en la cubierta. Un pequeño porcentaje (2 a 8% de volumen) de partículas de Al_2O_3 (0.4-4 μm) son agregados para proporcionar resistencia al desgaste al recubrimiento magnético. Una película lubricante de 10 a 30 nm de espesor, de perfluoropoliéter es aplicado actualmente.

Las tendencias de los dispositivos de almacenamiento magnético de datos son a usar medios de película delgada, los cuales se componen de una capa metálica magnética, donde el sustrato de Al-Mg es niquelado por electrodeposición con una capa de Níquel-Fósforo (90-10%) de 10 a 20 μm de espesor para mejorar una dureza superficial de 600-800 HV y disminuir la rugosidad. La superficie recubierta es pulida con una mezcla abrasiva para obtener un buen acabado superficial de alrededor 10 a 25 nm rms. Para un disco con un medio de película delgada con una capa de óxido magnético, una capa de alumite de 2 a 20 μm de espesor es formada sobre el sustrato de Al-Mg a través de oxidación anódica en un baño de CrO_3 . En esta aplicación la capa de Ni-P no puede ser empleada porque se vuelve magnética cuando es expuesta a las altas temperaturas que

intervienen en la preparación de la capa de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. La zona de los sustratos en los discos con medio de capa delgada donde arranca y se detiene la cabeza es generalmente acabada mecánicamente con orientación circular o aleatoria para disminuir la fricción estática en la interfaz del disco y la cabeza de lectura/escritura.

Las películas con chapa metálica no contienen cromo, éstas son más susceptibles a la corrosión que aquellas depositadas en vacío que lo contienen. Basado en pruebas electroquímicas y aceleración de condiciones ambientales se ha encontrado que el medio de almacenamiento magnético de datos más resistente a la corrosión es el de Co-Cr (80-20) por rociado, seguido por el medio de Co-Ni (80-20) por rociado, y Co-P por electrodeposición. La adición de 10 a 16% de Cr es necesaria para una óptima protección contra la corrosión. Algunos fabricantes agregan una delgada película superficial de cromo (aproximadamente 5 nm de espesor) si la película magnética no lo contiene.

Las películas metálicas que son usadas para conseguir alta densidad de almacenamiento tienen menor durabilidad que los de baja densidad. Para la protección del disco (película magnética, principalmente) son empleados algunos recubrimientos con una película superficial de lubricante para conseguir reducir la fricción en la interfase disco-cabeza lectura/escritura, disminuir el desgaste y conseguir resistencia a la corrosión. Un sistema de recubrimiento adecuado puede proporcionar alta dureza, baja fricción y poca porosidad y alta resistencia eléctrica para reducir la posibilidad de corrosión galvánica. Estos recubrimientos de protección alcanzan espesores de entre 20 y 40 nm. Frecuentemente las películas delgadas de lubricante sobre los recubrimientos protectores son usadas también para reducir la fricción estática y el desgaste. Lubricantes de fluorocarbono polar y no polar (perfluoropoliéter) son usados generalmente.

Los recubrimientos protectores usados para partículas magnéticas son chapas de Rodio (Rh) y Cromo (Cr, SiO_2) rociado, carbono o carbono hidrogenado por rociado.

De todas las películas (recubrimiento) protectoras el carbono, SiO_2 y $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ son las más comúnmente usadas. El recubrimiento de carbono tiene una estructura amorfa o parcialmente cristalina con una alta dureza.

Recientemente se ha encontrado que óxidos cerámicos (SiO_2 y $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$) proveen buena protección contra la corrosión además de ser muy resistentes al desgaste.

Si bien las películas de óxido presentan inconvenientes desde el punto de vista de su manufactura respecto a las películas magnéticas, son mejores en cuanto a la protección contra la corrosión y durabilidad; presentan fricción aceptable en las operaciones de arranque/paro (usando Al_2O_3 - TiC como medio deslizante) y buena resistencia a la corrosión aún sin un lubricante. A pesar de sus cualidades en muchos casos se emplea una delgada capa de lubricante (0.5-4 nm de espesor) para reducir la fricción. La tabla 2.3 muestra los materiales más comúnmente usados para discos duros y algunas condiciones de operación.

Tabla 2.3 Condiciones típicas de operación y materiales comúnmente usados para la fabricación de los discos duros [4].

Dispositivo de almacenamiento	Presión normal KPa	Velocidad de deslizamiento o m/s	Altura de vuelo μm	Sustrato	Material de recubrimiento/ espesor	Lubricante	Método de aplicación de lubricante/ espesor
Disco duro	7-14 (9.5-15g)	10-60 (3300-5500 rpm)	0.15-0.4	Al-Mg	Fenólico y Epóxico ^a / 1-2 m	Perfluoroalki l poliéter	Rociado/ 10-30 nm de espesor
				Al-Mg	Película delgada (metal) ^b / 25-100 nm	Carbono amorfo, SiO ₂ y Perfluoroalki l poliéter	Rociado/ 20-40 nm
				Al-Mg	1.3-1.9 mm de espesor, con una capa de 10-20 μm de espesor Electrodeposi- tada de Ni-P	(metal) ^b / y Perfluoroalki l poliéter	Rociado/ 20-40 nm
				Al-Mg	1.3-1.9 mm de espesor, con una capa anodizada de 2-20 μm de espesor	(óxido) ^c / 100-150 nm l poliéter	Rociado/ 20-40 nm

^aPartículas de $Al_2 O_3$ son agregadas para incrementar su resistencia al desgaste

^bMateriales magnéticos: CoCr, Co-Pt-Ni, Co-Pt-Cr por rociado y Co-P por electrodeposición

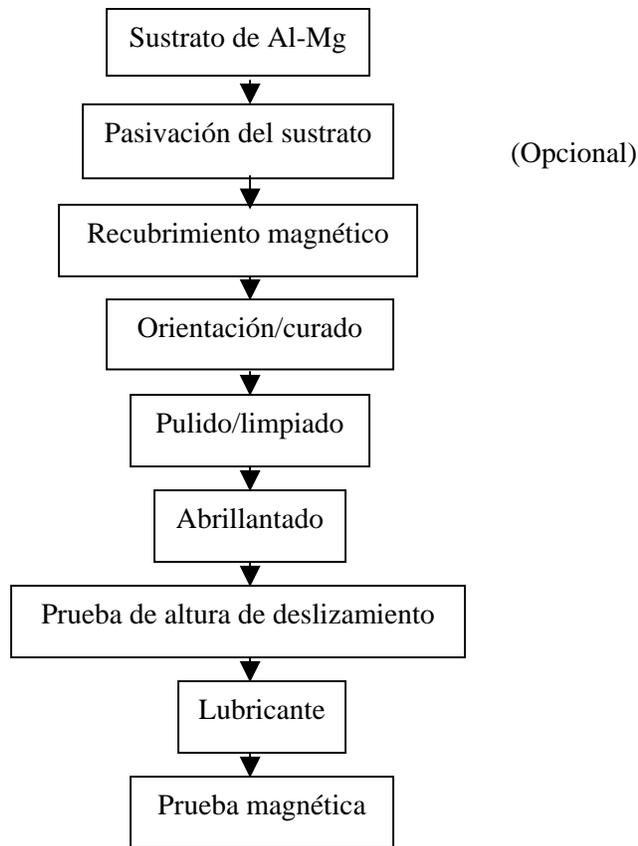
^cMateriales magnéticos: γ - $Fe_2 O_3$ por rociado

Partículas magnéticas usadas en un medio por partículas: γ - $Fe_2 O_3$, Co- γ $Fe_2 O_3$ CrO₂, BaO·6 $Fe_2 O_3$, y Fe

2.6 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE SAMD

Para la obtención de los sistemas de almacenamiento magnético de datos, el disco es torneado utilizando una herramienta de diamante, pulido y posteriormente limpiado sumergiéndolo en ácido, solución alcalina y agua, sometido a un proceso de acabado por ultrasonido.

En el caso del proceso por medio de partículas, el sustrato de Al-Mg es algunas veces pasivado con un recubrimiento de cromo y después lavado. En la preparación de la capa magnética, el aglutinante y las partículas son dispersados uniformemente sobre el sustrato.



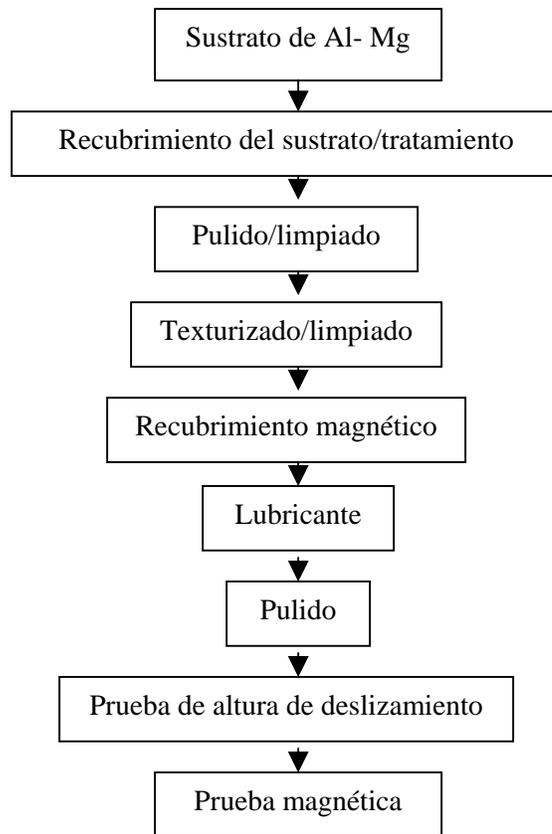
a)

Fig. 2.10 Proceso de manufactura de discos duros: a) Partículas y b) Película delgada [4].

Los espesores típicos de esta capa son de entre 1 y 2 μm , una vez depositada la capa magnética el disco es curado a una temperatura aproximada de 200° C por un par de horas para permitir la unión. Durante este curado, uno de los materiales orgánicos (como polivinil metil éter) se

descompone térmicamente permitiendo la formación de poros en el recubrimiento, donde se presenta retención de lubricante.

Después la capa es pulida con un movimiento lento de una cinta abrasiva (accionada por un rodillo). Al término de este proceso el disco es lavado, secado y abrillantado realizando una prueba de deslizamiento para obtener cero defectos en la altura de vuelo de la cabeza durante la operación. Posteriormente el disco es comúnmente lubricado con una película de entre 10 y 30 nm y el exceso es retirado por una cinta limpiadora. Finalmente, los discos son examinados magnéticamente antes del embarque.



b)

Fig. 2.10 (continuación)

Para discos con medio de película delgada, el sustrato es niquelado por electrodeposición con una chapa de entre 10 y 20 μm de espesor de Ni-P y después pulido con una mezcla de alúmina

de 0.5 μm para dar un acabado superficial menor a 25 nm rms. Los sustratos de discos de película delgada son generalmente texturizados mecánicamente con movimientos de orientación circular, una mezcla abrasiva a través de una boquilla o bien abrasivos fijados a una banda.

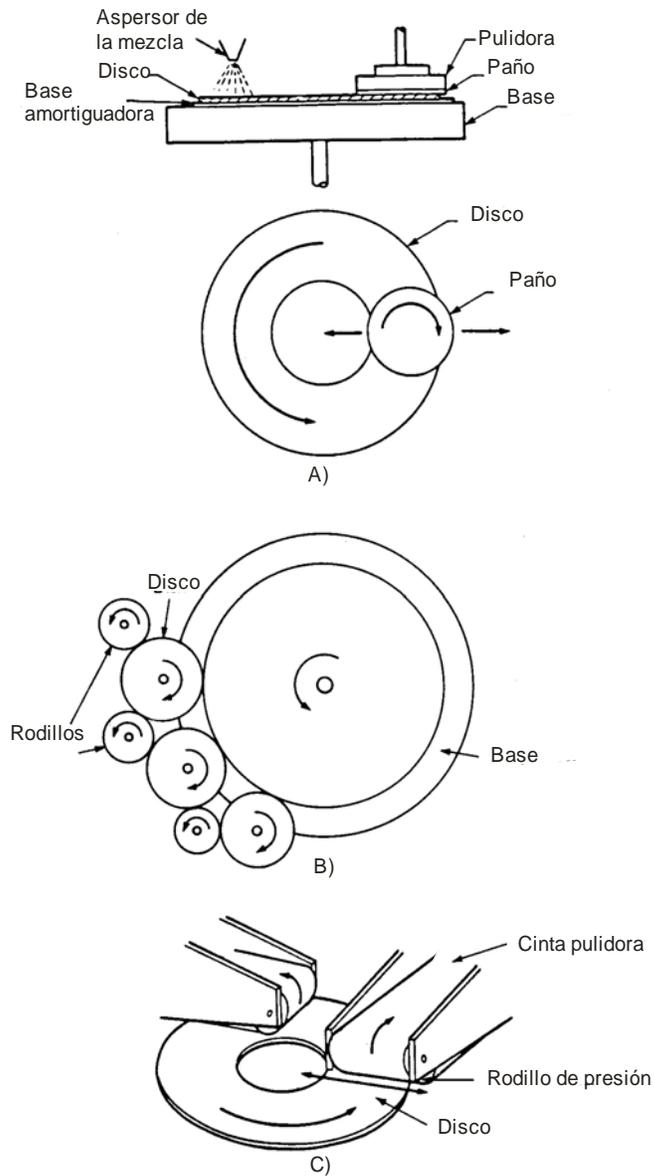


Fig. 2.11 a) Esquema del proceso de pulido libre para la obtención superficie lisa, b) pulido libre para obtener la textura deseada, y c) proceso de pulido fijo para la textura uniforme deseada [4].

La película metálica magnética es aplicada por chapado electroquímico o por rociado. El espesor de la película es típicamente de 25-100 nm. Algunas películas metálicas requieren una ligera película de cromo debajo como capa de nucleación.

La superficie del disco es lavada y después comúnmente lubricada con una película de entre 0.5 y 4 nm de espesor. El líquido lubricante es aplicado ya sea por spray, inmersión, o evaporación.

Generalmente el disco es abrillantado y se examina la altura de deslizamiento (para asegurar que no haya una colisión) por un deslizador que planea sobre la superficie del disco a una altura menor que la altura de vuelo (planeo) de operación.

2.7 CAUSAS DE FALLA EN SAMD

En general, los discos pueden fallar de tres formas; electrónica, mecánica y lógica. Asimismo pueden presentar fallas por combinación de efectos.

2.7.1 Falla electrónica.

Las fallas electrónicas usualmente se relacionan a problemas de la tarjeta controladora del disco duro. La computadora puede sufrir un pico o sobrecarga eléctrica que cause la descompostura de la tarjeta haciéndola indetectable al BIOS. La falla de los microcircuitos es otra causa común, atribuida al fabricante.

Cualquier disco puede fallar eléctricamente, y en la mayoría de los casos la información no se daña y por lo tanto es recuperable. El deterioro en circuitos y dispositivos electrónicos es también causa de inconvenientes.

2.7.2 Falla mecánica.

Es considerada la falla mas seria, la falla mecánica con frecuencia es la causa de pérdida de la información. Esta falla se puede presentar en las cabezas de lectura/escritura, en el motor, etc. Una de las fallas mecánicas más comunes es la colisión de las cabezas, con diferencias en la severidad. Ocurren cuando las cabezas y el plato entran en contacto momentánea o continuamente. Las colisiones pueden ser causadas por movimientos de la computadora, choques al mover la computadora, electricidad estática, sobrecarga eléctrica, fallas en las cabezas

(mecánicas) y partículas depositadas en la superficie del disco. En este rubro se agrupan algunos de los inconvenientes que se producen por la corrosión y sus productos.

2.7.3 Falla lógica.

Esta falla puede ser muy fácil o complicado de resolver, los errores lógicos pueden ir desde muy simples un archivo de inicio inválido en la tabla de partición hasta problemas realmente serios como daño o pérdida de un archivo del sistema.

Las fallas lógicas son diferentes de las eléctricas y mecánicas, porque éstas no tienen que ver con algo físico de la unidad de disco, sino solo la información que contiene. Estas fallas pueden ser causadas por problemas técnicos del software o generadas por el suministro de energía eléctrica.

2.7.4 La corrosión como causa de falla en SAMD.

Como se ha mencionado anteriormente el acelerado avance de los SAMD ha sido acompañado por la miniaturización de sus componentes. Un ejemplo ilustrativo desde el punto de vista eléctrico son los circuitos integrados, en la circuitería de un microprocesador hay múltiples capas de metal separadas por capas dieléctricas muy delgadas dando lugar a la existencia de contacto físico entre las capas metálicas cuando el dieléctrico no es homogéneo. Sumado a lo anterior, el polímero para encapsulado microelectrónico es relativamente permeable al agua y la película metálica protectora entre las capas de los chips es vulnerable a la corrosión cuando opera en ambientes húmedos, la pérdida de pequeñas cantidades de material debido a la corrosión es causa de falla debido a las pequeñas dimensiones (del orden de un 10^{-9} gr.), por su parte en circuitos impresos, la separación de las líneas conductoras se ha reducido a menos de 0.5 μm .

Aunque los SAMD están expuestos a ambientes interiores considerados menos agresivos, existen algunas razones que restan confiabilidad a los dispositivos en cuestión. Cuando no se asegura la hermeticidad, la humedad y partículas en suspensión pueden introducirse a la unidad contaminándola, formando las condiciones potenciales para la presencia de corrosión. Otro factor que hace vulnerable a los SAMD es la susceptibilidad de los materiales metálicos y ambientes agresivos.

Respecto a la parte mecánica, la densidad de las partículas magnéticas en el plato se ha incrementado, lo que ha forzado que la separación (altura de vuelo) entre las cabezas y el plato se haya reducido a ~ 250 (Å).

La importancia de conocer más sobre la corrosión en los SAMD radica en que es una tecnología ampliamente usada y significativamente vulnerable a la corrosión.

Los componentes más representativos son desde luego el plato que tiene una capa de material magnético duro donde se almacena la información y la cabeza de lectura/escritura constituida de material magnético suave.

Actualmente los sistemas de almacenamiento magnético de datos presentan una estructura como se muestra en la figura 2.12, la película magnética más común es una aleación de cobalto, que es protegida la mayoría de las veces por una capa muy delgada de carbono depositada por rociado. Esta capa de carbono es una barrera efectiva contra la corrosión, pues separa la película del material magnético del ambiente.

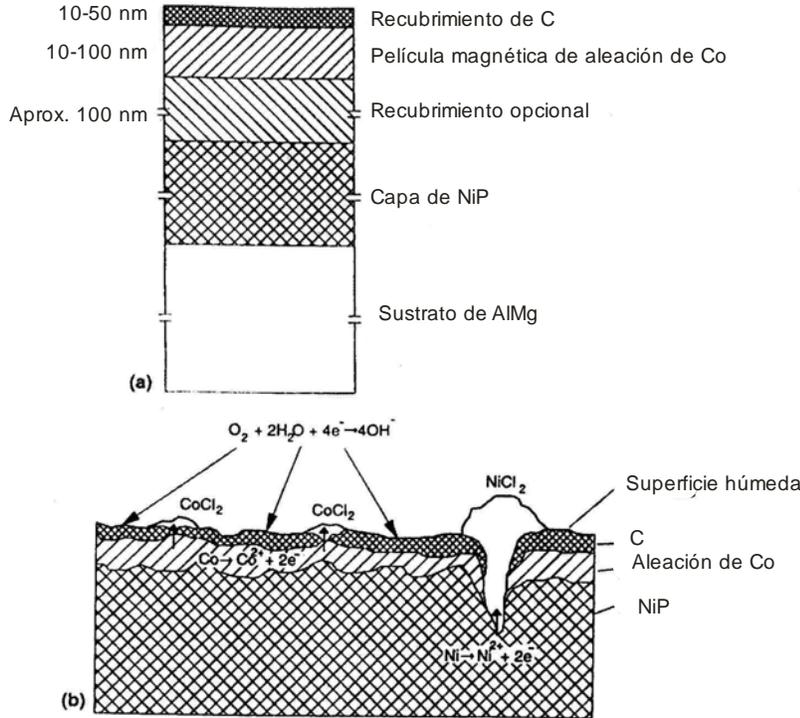


Fig. 2.12 (a) Estructura de un disco de película delgada, (b) Esquema del e corrosión en la estructura de un disco duro expuesto a un cloruro [2].

Además, sobre la película de carbono es depositada una película de lubricante, cuya función es ayudar a repeler el agua que se pudiese condensar sobre la superficie del disco. Sin embargo la Figura 2.12 (a) es ideal en el sentido de que no contempla la rugosidad de las capas y que la capa de carbono no cubre completamente los materiales que se encuentran debajo de ésta.

En la figura 2.12 (b) se puede apreciar una visión más realista, se observa que las superficies no son completamente lisas aun después de haber sido pulidas para evitar colisiones con las cabezas. Como resultado, la capa de C no cubre completamente las capas inferiores, lo que deviene en la exposición de los materiales susceptibles al ambiente, cuya consecuencia es la formación de depósitos de corrosión en la superficie del plato. La colisión de las cabezas con estos depósitos puede dañarlas permanentemente y causar la pérdida de la información que se encuentra en la zona de los depósitos.

Respecto a la **humedad** no existe un consenso sobre una humedad relativa crítica, algunos autores sostienen que a una humedad relativa de 20% una película delgada de condensado tiene lugar, mientras que a 75% se forma una capa apreciable. Se ha concluido en consecuencia que el nivel de corrosión está en función de las capas de condensado adsorbidas y por lo tanto de la humedad.

En lo que se refiere a los **contaminantes**, la contaminación de los diferentes componentes de los SAMD puede ocurrir durante la manufactura o durante la operación. Varios pasos en el proceso de fabricación involucran la exposición a especies agresivas que pueden dejar residuos corrosivos. Las partículas en suspensión, las cuales pueden ser muy pequeñas para ser filtradas a los espacios donde se fabrican los SAMD (que deben estar libres de agentes potencialmente contaminantes) pueden depositarse en las superficies susceptibles. Los laboratorios AT&T Bell han realizado estudios donde se resalta el potencial de las partículas suspendidas en el fenómeno de la corrosión de dispositivos electrónicos, tanto en la manufactura como en la operación. Otros estudios han concluido que existen en el ambiente un gran número de partículas que son ricas en sulfato de amonio, producto de actividades antropogénicas y que son muy difíciles de remover. Otra fuente de contaminantes son los residuos de soldadura no removidos durante la manufactura. Algunos materiales empleados en la electrónica pueden ser por sí mismos fuente de especies químicas indeseables. Por ejemplo, el encapsulado epóxico puede contener retardante de fuego que contiene un compuesto de bromo orgánico. El fósforo es un componente empleado en la

pasivación de vidrio, que en contacto con la humedad adsorbida puede provocar especies corrosivas como bromuros o ácido fosfórico.

Lo anterior permite mostrar que existen múltiples variables que dan origen a la corrosión, cuyo efecto sobre los SAMD, es variable dependiendo de las particularidades de la zona geográfica en las que operan y la construcción del mismo.

Capítulo 3.

Características del Deterioro por Corrosión Atmosférica en Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (SAMD)

3.1 GENERALIDADES.

Los SAMD al igual que los dispositivos electrónicos, son susceptibles de deterioro debido a efectos eléctricos, magnéticos, mecánicos y químicos. Entre las causas más importantes de deterioro en los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos se encuentra el deterioro electroquímico por corrosión atmosférica, así como fallas mecánicas o bien de tipo lógico.

La corrosión de partes o componentes de dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento magnético de datos puede producir un amplio espectro de consecuencias que van desde ruido en la señal, fallas intermitentes y pérdida de información, hasta la incapacidad total del equipo para seguir operando. En el caso de fallas de tipo intermitente, no pueden ser catalogadas estrictamente como corrosión si se producen por efecto de precursores, como es el caso de la generación de cortocircuitos entre pistas por la presencia de humedad, o fallas en discos magnéticos por polvo o partículas provenientes del consumo de cigarrillos.

La corrosión de los componentes de equipo electrónico es más crítica que la corrosión de otros sistemas, ya que no se demanda una sensible pérdida de masa, como en los materiales estructurales, para que se presenten inconvenientes en la operación del sistema. Esto se debe a que la degradación o deterioro afecta las propiedades eléctricas del dispositivo (conductividad, resistencia, etc.), y por consecuencia su desempeño. Por ejemplo, la pérdida de unas fracciones de miligramo en una pista de un circuito o en la superficie de un disco duro es razón más que suficiente para la pérdida de continuidad (pista) o de información en el caso de un disco duro. El funcionamiento de los dispositivos depende en gran medida de los requerimientos de los circuitos

donde se encuentra el componente, y en general, las fallas inducidas por corrosión no se pueden definir con precisión.

De acuerdo con la composición de los discos duros, la capa de carbono representa una barrera efectiva contra la corrosión separando la capa metálica del ambiente, siempre y cuando esta sea continua.

Al existir discontinuidades en esta capa se da lugar a la formación de celdas galvánicas en donde el carbono actúa catódicamente mientras que el níquel y cobalto son propensos a oxidarse.

La susceptibilidad al deterioro por corrosión del recubrimiento magnético del disco duro se ha reducido en los últimos años. Lo anterior es con base en los resultados de los estudios de polarización, donde se ha comparado el comportamiento del recubrimiento de cobalto con modificaciones del mismo. De las curvas de polarización se tiene que la densidad de corriente se reduce en varios órdenes de magnitud al emplear un recubrimiento CoCr en lugar de la base cobalto o del CoP (Fig. 3.1), esto se ha traducido a que en la actualidad se utilicen exclusivamente los recubrimientos de Co Cr.

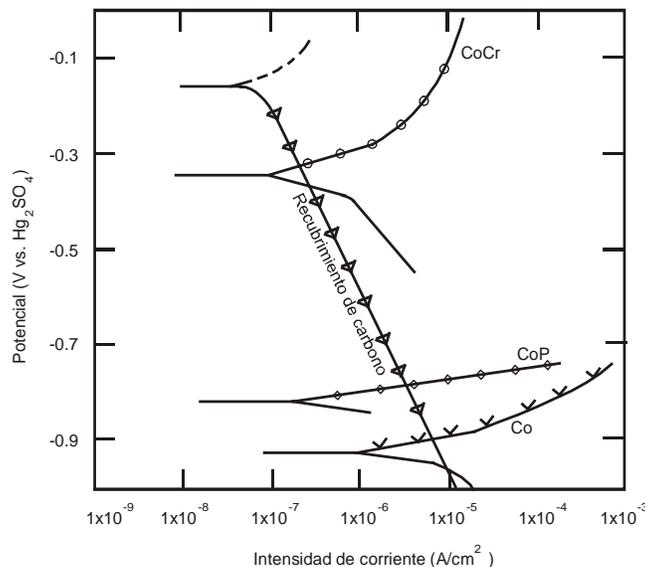


Figura 3.1 Curvas de polarización para diferentes recubrimientos magnéticos empleados en el disco duro, en combinación con la capa superficial de carbono [2]

No obstante lo anterior, es posible que se presente deterioro por corrosión en los SAMD, lo cual se confirmará al encontrar evidencia de depósitos sobre la superficie del disco duro.

3.2 VARIABLES PRINCIPALES DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

Como se hizo mención en el Capítulo 1, las condiciones en las cuales se da la corrosión atmosférica, dependen de la humedad relativa, temperatura y los contaminantes que se encuentran dispersos en el ambiente. De acuerdo al estudio a desarrollar, las condiciones en las que se encuentran operando los sistemas de almacenamiento magnético de datos, son mucho menos agresivas al tratarse de atmósferas interiores.

La agresividad de las atmósferas típicas en interiores generalmente es muy diferente para los países desarrollados a diferencia de los países que se encuentran en vías del mismo, lo cual se atribuye no solamente a las diferencias climáticas sino más bien a la amplia presencia de equipos de aire acondicionado, situación que reduce sensiblemente los tiempos de humectación, a la vez de disminuir la concentración de contaminantes. En países como México el empleo de sistemas de aire acondicionado es muy limitado, lo que se traduce en que una gran parte del equipo electrónico en general esté sometido a condiciones mucho más críticas y agresivas que las encontradas en los países de la Comunidad Económica Europea así como EUA y Canadá. Por tal razón los resultados reportados en la literatura, con relación al deterioro del equipo electrónico, no pueden ser considerados de aplicación universal.

Para determinar la corrosividad de una atmósfera es necesario relacionar entre sí el efecto de todos los factores que influyen en los mecanismos de deterioro, como:

- a) Tiempo de humectación de la superficie metálica (debe tomarse en cuenta que no se requiere de una humedad relativa superior al 80 % para que se pueda presentar daño por corrosión). Cabe mencionar que en la corrosión de equipo electrónico el tiempo de humectación, que es una variable fundamental propuesta para el sistema ISO, no tiene la misma significación, ya que el concepto de humedad crítica no existe y una elevada humedad no representa necesariamente elevadas velocidades de corrosión, aunque si es un factor de primordial importancia
- b) Cantidad de contaminantes que pueden depositarse en la superficie metálica, en particular sulfuros reactivos y cloruros reactivos.

Como referencia se puede mencionar que la norma ISO 9223:1992a, considera como elementos clave de la corrosión:

- Tiempo de humectación
- Niveles de SO₂ y NaCl

Otro tipo de contaminantes que al presentarse ejercen un efecto agresivo son NO_x, H₂S, humos en las zonas industriales, así como en zonas costeras el CaCl₂ y MgCl₂, además de compuestos orgánicos, PH₃, HF, partículas, entre otros.

En la tabla 3.1 se presentan algunas de las fuentes más comunes de contaminantes de interés en la corrosión atmosférica.

Tabla 3.1. Fuentes comunes de constituyentes reactivos del medio ambiente de acuerdo con la norma ANSI/ISA-S71.04-1985 “Condiciones del Medio Ambiente para Medidas de Procesos y Sistemas de Control: Contaminantes Aerotransportados”

Constituyente		Fuentes Comunes
H ₂ S	Ácido sulfhídrico	Emisiones geotérmicas, actividades microbiológicas, procesamiento de combustibles fósiles, pulpa de madera, tratamiento de aguas de desecho, combustión de combustibles fósiles, fusión de minerales, emisiones de autos, manufactura de ácido sulfúrico.
SO _x	Óxidos de azufre	Combustión de combustibles fósiles, emisiones de autos, fusión de minerales, manufactura de ácido sulfúrico, humo de tabaco
HF	Acido Fluorhídrico	Manufactura de: fertilizantes, aluminio, cerámicos, aceros, dispositivos electrónicos, combustibles fósiles.
NO _x	Óxidos de nitrógeno	Microbios, emisiones de automóviles, combustión de combustibles fósiles, industria química.
N ₂	Nitrógeno orgánico activado	Emisiones de automóviles, desperdicio de animales, combustión de vegetales, aguas negras, pulpa de madera.
NH ₃	Amoníaco	Microbios, aguas negras, manufactura de fertilizantes, vapor geotérmico, equipo de refrigeración, productos de limpieza, máquinas heliográficas.
CO	Partículas de carbón	Combustión incompleta (constituyente de aerosoles), fundición.
	Monóxido de carbono	Combustión, emisiones de automóviles, microbios, árboles y pulpa de madera
Cl ₂ , ClO ₂	Cloro	Manufactura de cloro, manufactura de aluminio, molinos de papel, descomposición de desechos, productos de limpieza
	Dióxido de cloro	
HCl	Ácido clorhídrico	Emisiones de automóviles, combustión, procesos oceánicos, combustión de polímeros
HBr, HI	Componentes Halogenados	Emisiones de automóviles
Cl ⁻	Iones cloro	Contenido de aerosoles, procesos oceánicos, procesamiento de minerales.
O ₃	Ozono	Procesos atmosféricos fotoquímicos que involucra óxidos de nitrógeno e hidrocarburos oxigenados, emisiones de automóviles, filtros electrostáticos, etc.
C _n H _n	Hidrocarburos	Emisiones de automóviles, procesamiento de combustibles fósiles, humo de tabaco, tratamiento de agua, microbios, fuentes naturales, molinos de papel.
	Polvo	Cristal de roca, combustión, fuentes industriales diversas.
HCHO	formaldehído	Adhesivos, humo de tabaco, combustión de biomasa, plásticos.
HCOOH		

Una vez conocidas las variables y parámetros dentro de los cuales se evaluarán los elementos sobre los cuales se realizará el estudio, es necesario plantear la metodología a seguir, a la vez de precisar las localidades de procedencia de los especímenes para poder obtener resultados y llegar a conclusiones sobre el deterioro que sufre un disco duro de acuerdo a las características de corrosividad en México.

3.3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE SAMD.

Para poder llevar a cabo este estudio, es necesario especificar la metodología a seguir para determinar la presencia de corrosión en los SAMD, así como el deterioro sufrido en la superficie de las unidades de almacenamiento magnético de datos (Figura 3.2). En términos generales dicha metodología consiste en extraer discos duros de computadoras personales las cuales se encontraban en servicio en la ciudad de México y en el estado de Tabasco (Tabla 3.2). Cabe mencionar que los discos duros se extrajeron de máquinas que habían quedado fuera de servicio (equipos PC con procesador Pentium), cada unidad se diagnosticó con el programa “Norton System Works 2003”, determinando con esto el estado en el que se encuentran los dispositivos; realizando posteriormente una inspección a bajos aumentos (1X a 32X) en el estereoscopio, para determinar el grado de deterioro en componentes electrónicos y principalmente en la superficie del disco.

Una vez ubicadas las zonas de mayor deterioro del disco, son seccionadas con el fin de poder verificar la existencia de corrosión realizando una nueva inspección con ayuda del microscopio electrónico de barrido (SEM), de las zonas más afectadas se toman imágenes para la identificación de los depósitos formados con lo cual se confirma la existencia de corrosión, además de realizar un análisis químico de la región analizada, esto mediante EDS (energy dispersive X-ray spectrometry).

La metodología utilizada permite analizar el deterioro que sufren los dispositivos en un ambiente real en donde no se tiene un control de las condiciones en las que están expuestos, lo cual es contrastante con los datos obtenidos en pruebas de laboratorio. A su vez los resultados permiten definir algunas modificaciones tanto en el diseño como en la manufactura con la finalidad de favorecer el rendimiento del dispositivo, tratando de evitar el deterioro por consecuencias ambientales.

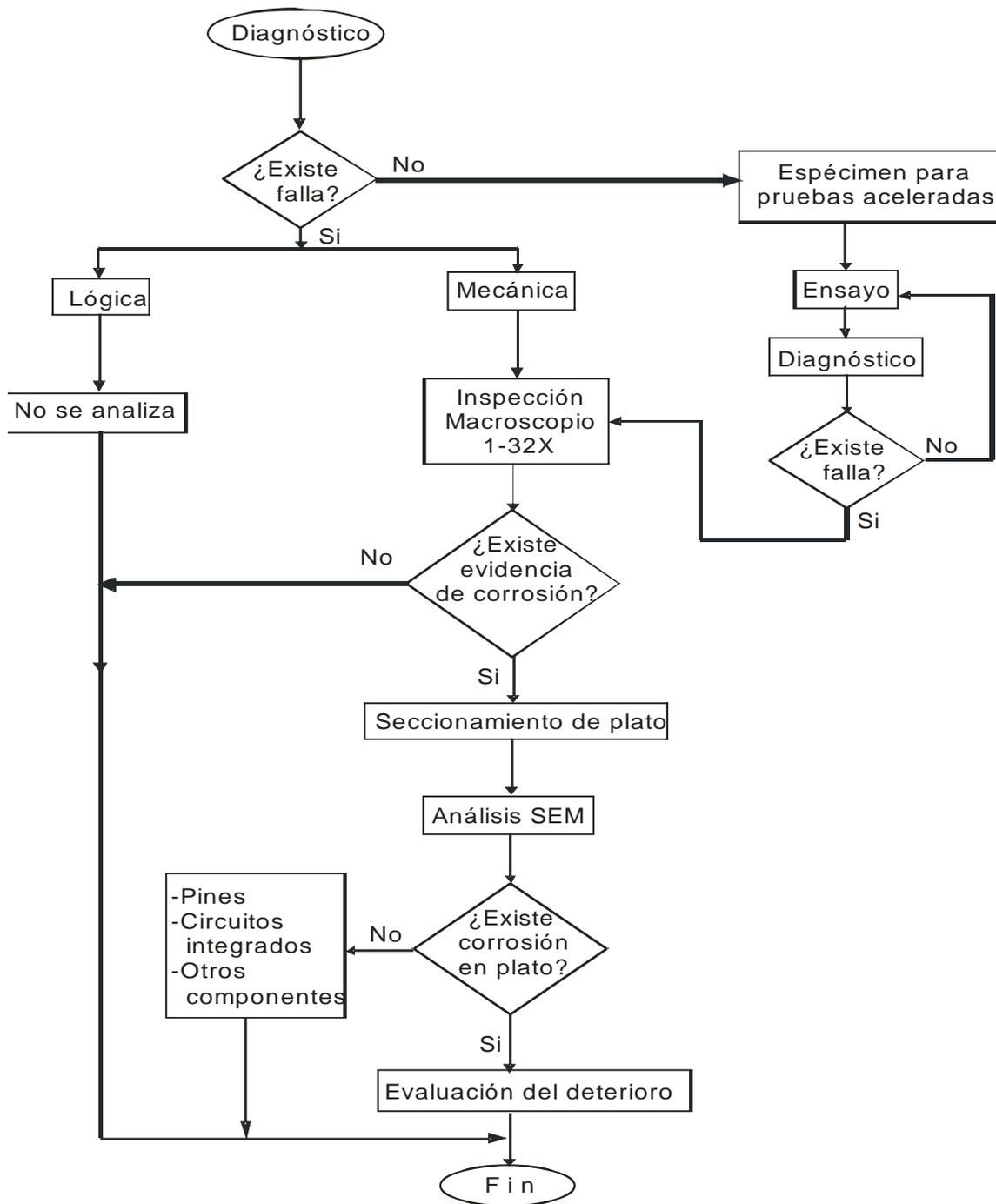


Figura 3. 2 Metodología de estudio de los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos



Figura 3.3 Microscopio Electrónico de Barrido Phillips XL20 (SEM) equipado con un detector Eberthard - Thornly estándar y un detector de electrones retrodispersados de estado sólido.

Por otra parte al observar el grado de deterioro que se tiene en los dispositivos, se verifica la agresividad de las atmósferas interiores para un país como México, siendo un claro ejemplo de condiciones tanto económicas como ambientales de un país subdesarrollado. Considerando los datos relativos a ventas de equipo de aire acondicionado así como los censos económicos se puede afirmar la limitada difusión en el empleo de estos equipos y por consecuencia confirmar que el nivel de contaminantes en interiores es del mismo orden que el de exteriores con la adición de los productos característicos de la actividad humana, así como de la descomposición de los diversos materiales que es común encontrar en interiores como parte integral de alfombras o cortinas. En el caso de ambientes tropical y subtropical estas diferencias son mucho menores. En estos casos la condensación reemplaza a la lluvia en los tiempos de humectación con el inconveniente adicional de no generar lavado de la superficie, lo que se traduce en una mayor concentración de contaminantes.

A continuación se presentan las características climatológicas de las regiones donde fueron extraídas las unidades de almacenamiento magnético de datos.

Tabla 3.2 Características climatológicas de las zonas geográficas para las cuales se analizó el deterioro en SAMD

<i>Localidad</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Características climatológicas</i>	<i>Tipo de Atmósfera</i>	<i>Contaminantes presentes</i>
<p>Área Metropolitana de la ciudad de México.</p> <p>Se trata de una de las zonas urbanas más contaminadas del planeta.</p>	<p>19°23' latitud norte, 99°10' longitud oeste</p>	<p>Dada la extensión territorial de la zona metropolitana de la Ciudad de México, a ésta se asocian diversos microclimas los cuales van del :</p> <p>-BS (seco o árido) al Cb(w) (templado subhúmedo con lluvia en verano</p> <p>-Temperatura promedio 16.5 °, con precipitaciones que van de 570 a 1100 mm 220 a 2400 m SNM</p> <p>-Humedad relativa variable con la estación (33 a 89).</p>	<p>De acuerdo a las zonas y considerando las fuentes emisoras este concepto también varía, pero en general se puede definir como Urbano.</p> <p>La principal zona de generación de contaminantes se encuentra en el norte, con vientos dominantes N, NW, S, SE dependientes de la estación.</p>	<p>Se trata de una de las ciudades más contaminadas del planeta, en general las concentraciones de NO_x, CO₂, y SO₂ son importantes.</p>
<p>Tabasco</p>	<p>Al norte 18°39', al sur 17°15' de latitud norte; al este 91°00', al oeste 94°07' de longitud oeste.</p>	<p>Se distinguen tres subtipos de clima</p> <p>-Cálido muy húmedo, con una temperatura media anual de 26.3° C.</p> <p>-Cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26.3° C</p> <p>-Cálido húmedo, con una temperatura media anual de 27.3° C.</p> <p>La variación de temperaturas promedio anuales, tiene una amplitud de apenas 1.5° C.</p> <p>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.</p>	<p>De acuerdo a las zonas el tipo de atmósfera puede variar, pero en general, se puede definir como Marino, y a su vez en Marino-Industrial.</p>	<p>Se tiene la presencia de cloruros, concentración de NaCl, así como SO₂.</p>

Tabla 3.3 Descripción del equipo sobre el cual se realizó el estudio

Clave de Identificación	Localidad de Procedencia	Zona de Servicio	Atmósfera	Diagnóstico (Tipo de Falla)
1	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
2	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
4	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
5	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
6	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
7	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
8	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
10	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
12	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
13	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
15	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
16	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
17	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
18	Cd. de México	Oficina	Urbana	Mecánica
19	Cd. de México	Oficina	Urbana	Lógica
T3	Tabasco	Oficina	Marino	Lógica
T5	Tabasco	Oficina	Marino	Mecánica
T6	Tabasco	Oficina	Marino	Mecánica
T7	Tabasco	Oficina	Marino	Mecánica
50	Cd. de México	Casa Habitación	Urbana	Buen Estado
20	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
28	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
30	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
31	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
32	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
35	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
38	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
40	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
41	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
42	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
43	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
44	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
45	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
46	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
47	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado
48	Cd. de México	Oficina	Urbana	Buen Estado

El número de unidades sometidas a estudio para este trabajo es de 36, siendo en su mayoría provenientes de la Ciudad de México (32 Unidades), mientras solo se analizaron 4 unidades del Estado de Tabasco. Inicialmente se contó con 60 discos duros de los cuales se eliminaron 24 ya que se trataba de unidades obsoletas, en las cuales no fue posible realizar el diagnóstico.

De acuerdo al diagnóstico realizado a cada dispositivo, los resultados arrojados (Figura 3.4), indican que del total de discos el 61% se encuentran en buen estado (22 Unidades), estando 14 unidades dentro del caso de discos con algún tipo de falla, de los cuales el 33% tienen falla mecánica (12 Unidades) y el 6% con falla lógica (2 Unidades). Las 12 unidades reportadas con falla mecánica fueron inspeccionadas de acuerdo a la metodología establecida, ya que los dispositivos que se encuentran en buen estado fueron empleados en las pruebas de simulación acelerada (Capítulo 4).



Figura 3.4 Resultados de acuerdo al diagnóstico inicial realizado a los SAMD

Procedimiento de Inspección de SAMD

Para poder determinar las características del deterioro por corrosión en los sistemas de almacenamiento magnético de datos, se procedió al análisis de los dispositivos en los cuales se diagnosticó falla mecánica, esto con el fin de poder establecer la existencia de daño por corrosión

atmosférica en la superficie del disco la cual, de existir, es producto de las condiciones normales de operación del sistema.

La inspección inicia con una evaluación a simple vista de cada dispositivo (previo diagnóstico), para verificar el estado en el que se encuentran los circuitos integrados, circuitos impresos así como pines y demás elementos que componen la tarjeta electrónica, observando solamente polvo sobre su estructura. Para el análisis de los elementos internos así como del disco, las unidades son destapadas con el fin de poder efectuar una inspección más detallada y minuciosa con el estereoscopio, localizando las zonas que pudiesen haber sufrido deterioro por corrosión. El primer elemento a evaluar es propiamente la superficie del disco.

Para facilitar el análisis, la superficie del disco se divide en ocho secciones imaginarias, lo cual ayuda a tener una mejor ubicación de las zonas que posiblemente tengan algún tipo de deterioro y poder realizar un registro de lo observado.

Al determinar la zona del posible daño, se le toma una fotografía, para posteriormente ser seccionada y ser analizada por medio del microscopio electrónico con lo que realmente se verificará la existencia o no de corrosión sobre la superficie.

Una vez inspeccionado el disco, se analizan lo que es el brazo del actuador, el lector (lectura/escritura) , pines de alimentación, pines IDE, pines de jumpers, así como el eje del motor y soporte del actuador, buscando algún tipo de daño en la estructura de estos elementos. Este procedimiento se efectúa para cada uno de los dispositivos.

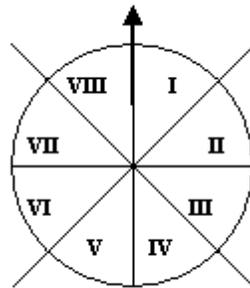


Figura 3.5 Diagrama de apoyo para la identificación de zonas con posible deterioro en SAMD

3.4 EVALUACIÓN DE LA EXISTENCIA DE CORROSIÓN EN SAMD.

En este apartado se determinará la existencia o no de corrosión en las unidades de almacenamiento magnético de datos, evaluando el deterioro sufrido en los dispositivos que fueron extraídos de máquinas en condiciones normales de operación con la finalidad de observar las características en las que se encuentran los discos y poder establecer si realmente fallan por corrosión.

Siguiendo la metodología establecida para el estudio de estos dispositivos, las unidades en las cuales se diagnóstico algún tipo de falla son las que inicialmente se someterán al análisis, en particular los discos que presentan falla mecánica mientras que los discos que presentan falla lógica no se analizarán dado que no corresponde su diagnóstico a los fines que se planteó este trabajo.

Los resultados arrojados del diagnóstico indican que de las 36 unidades bajo estudio solo 12 caen en el caso de falla mecánica, las cuales serán inspeccionadas en el estereoscopio con aumentos que van del 6.5X al 32X. Al revisar a simple vista lo que corresponde a la tarjeta electrónica en todas las unidades solo se presentan pequeñas capas de polvo, en las terminales de los circuitos integrados así como en las pistas de los circuitos; con lo que respecta a la carcasa, soporte de sujeción y demás elementos metálicos externos no se encuentra deterioro significativo.

El siguiente paso es analizar la parte interna del dispositivo, lo que es propiamente el disco, cuando se procede a destapar el dispositivo es necesario tener cuidado para no contaminar los elementos electrónicos ni la superficie del disco, de preferencia es recomendable utilizar guantes de látex. En general de la inspección a simple vista de los elementos electrónicos, estos se encuentran en buen estado, sin residuos de polvo.



Figura 3.6 Apariencia de disco duro tanto de la carcasa como de la tarjeta electrónica, (dispositivo diagnosticado con falla mecánica).

En lo que respecta al análisis de la superficie del disco, a simple vista no se aprecia daño alguno por lo que se procede a una inspección minuciosa con ayuda del estereoscopio, para tratar de identificar las zonas con algún tipo de daño o deterioro por corrosión.

Al realizar la inspección de las 12 unidades que resultaron con falla mecánica, en el diagnóstico inicial, se encontró que tal solo en 6 de estos dispositivos (16.66% del lote en estudio) existe evidencia de corrosión sobre la superficie del disco, siendo 5 de la Ciudad de México y solo una unidad del estado de Tabasco.

En lo que respecta a los demás elementos que componen el disco duro, en la Tabla 3.4 se muestran las características encontradas de acuerdo al elemento analizado:

Tabla 3.4 Características de los elementos complementarios del disco duro, una vez analizados.

Elemento	Características	No. Unidades
Circuitos Integrados	Polvo	12
Circuitos Impresos	Polvo	12
Pines IDE	Polvo	12
Pines de alimentación	Polvo	12
Carcaza	rayones	7
Tornillos	Polvo	12
Tarjeta de circuitos	Polvo	12
Depósitos en Brazo	Sin Depósitos	12
Soporte Magnético	Sin Evidencia de Corrosión	12
Adherencia del lector al Plato	Sin Adherencia	12
Esponja protectora pistas	Polvo	8
Esponja protectora circuitos	Polvo	3
Sin Esponja	Polvo	1

Realizada la inspección del disco a bajos aumentos, se observa la presencia de depósitos sobre la periferia y el soporte central del disco, además de encontrar rayas sobre la superficie producto de la cabeza de lectura/escritura y cambios de tonalidad en algunas zonas del disco (Figura 3.8). De acuerdo a lo anterior, las regiones en las cuales se tiene aparentemente deterioro por corrosión son identificadas para posteriormente analizarlas mediante microscopía electrónica lo cual ayudará a verificar la existencia o no de corrosión en esas zonas. En general las zonas en las cuales se encontró mayor daño corresponden a la periferia del disco, no apreciándose cambios de tonalidad en todos los casos.

En algunos de los dispositivos analizados se observan rayas causadas por la cabeza de lectura/escritura (Figura 3.9), lo cual en algunos casos provoca el desprendimiento de material de la superficie del disco (Figura 3.10).

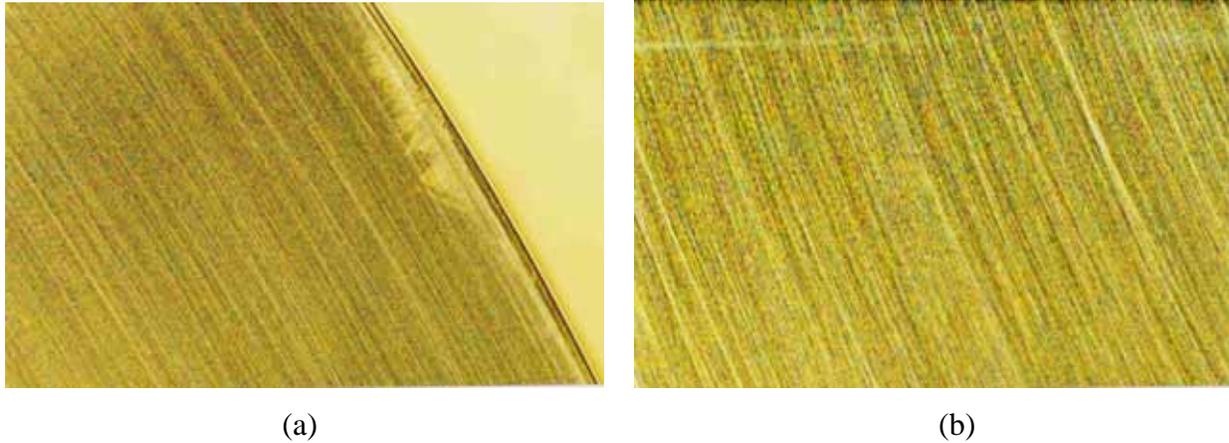


Figura 3.8 (a) Se aprecia el deterioro sufrido, esto como marcas de condensado localizadas en la periferia del disco, además de presentar cambios de tonalidad (debido a depósitos corrosivos) en la superficie. **(b)** En esta imagen se observan rayas sobre la superficie del disco ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura.

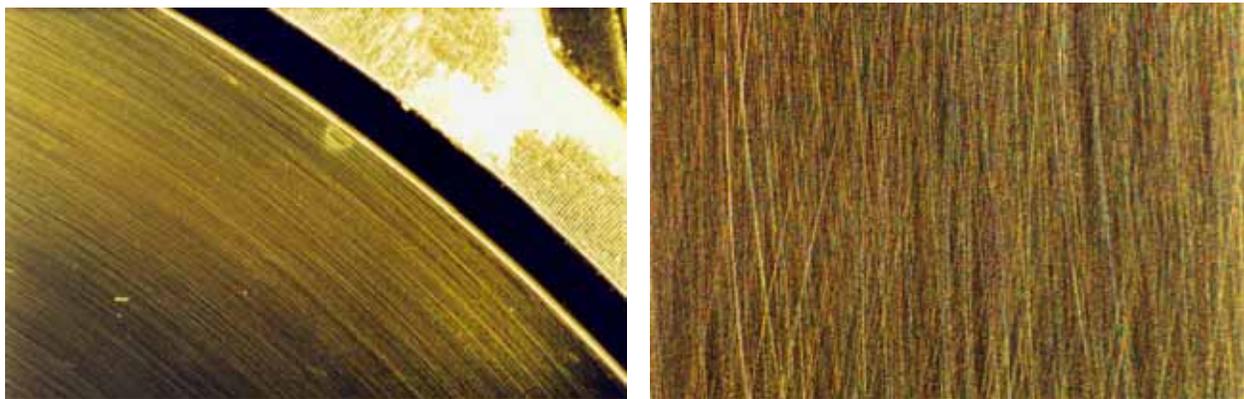


Figura 3.9 (a) Se aprecia marcas de condensado localizadas en la periferia del disco, además de observar cambios de tonalidad en la superficie. **(b)** En esta imagen se observan con más detalle las rayas sobre la superficie del disco ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura.

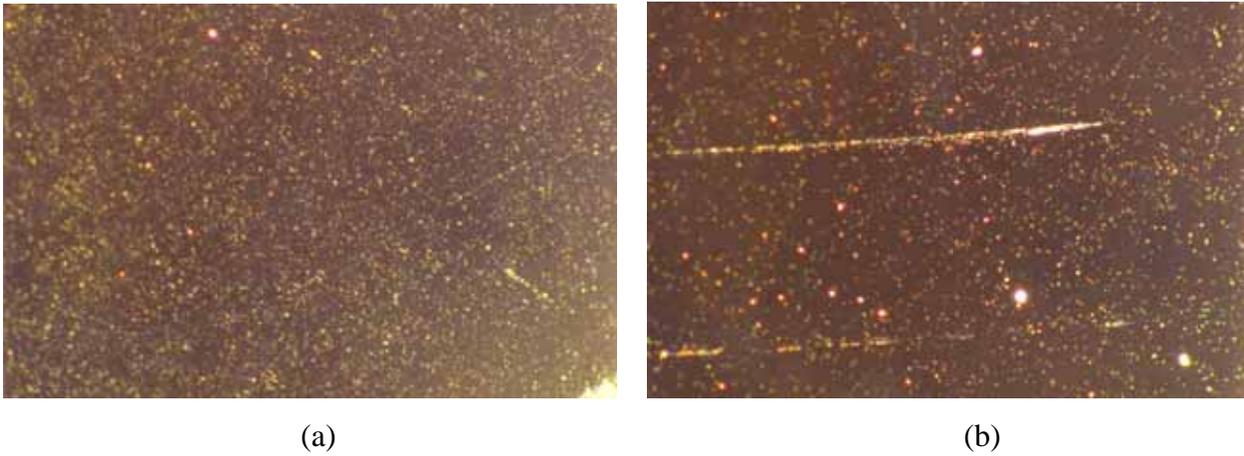


Figura 3.10 (a) Sobre la superficie del disco se aprecian imperfecciones, teniendo discontinuidades en la capa de carbono. (b) En esta imagen se pueden observar con mayor detalle aquellas imperfecciones que no son más que marcas producidas por la cabeza de lectura/escritura.



Figura 3.11 En la imagen se aprecia claramente el desprendimiento de material de la superficie del disco provocado por la cabeza de lectura/escritura.

Análisis mediante Microscopia Electrónica

Para el análisis mediante microscopia electrónica es necesario seccionar la región donde se detectó la existencia de corrosión, para lo cual se desmonta el plato del eje principal y se procede a su corte. Este proceso se realiza con el mayor cuidado posible para no contaminar la parte a seccionar además de evitar dejar residuos del material sobre la superficie del disco lo cual alteraría los resultados del análisis.

La manifestación del daño sufrido por corrosión en la superficie del disco duro se da por cambios de tonalidad en su superficie o bien la evidencia de acumulación de condensado, sobre todo en la periferia del disco, lo cual se confirma al realizar la inspección en microscopia electrónica y el análisis químico a través del cual se verifica la existencia de oxígeno de la sección en estudio (Figura 3.12).

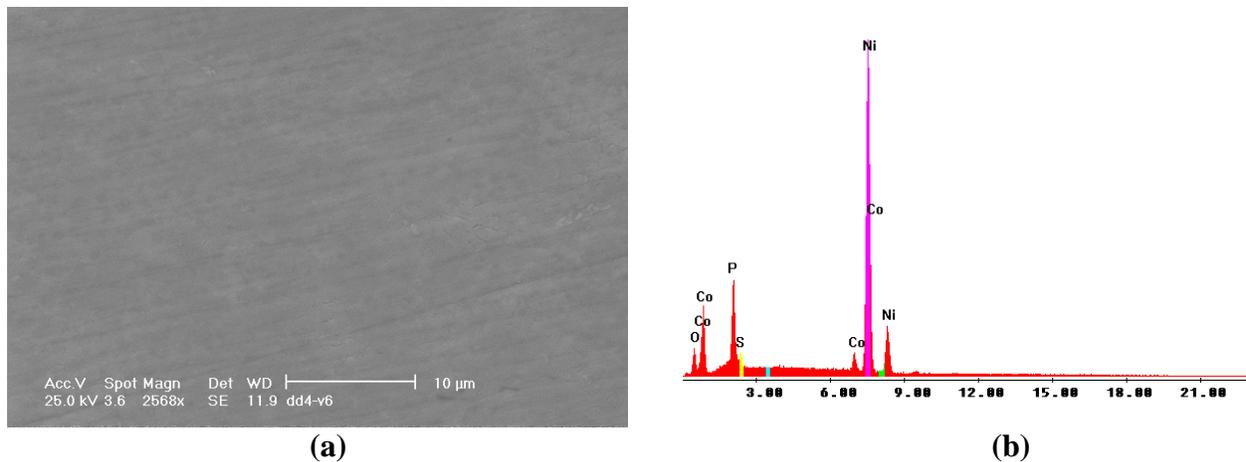


Tabla 3.5 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Figura 3.12 (a) Se muestra la superficie del disco donde se aprecian los cambios de tonalidad, así como grietas en ciertas regiones. **(b)** Espectro de la superficie del SAMD, siendo el níquel el elemento más representativo además de la presencia de oxígeno.

Elemento	Wt %	At %
O K	4.5	13.63
P K	8.87	13.87
S K	1.5	2.26
Cl K	0.08	0.11
Co K	3.7	3.04
Ni K	81.35	67.09
Total	100	100

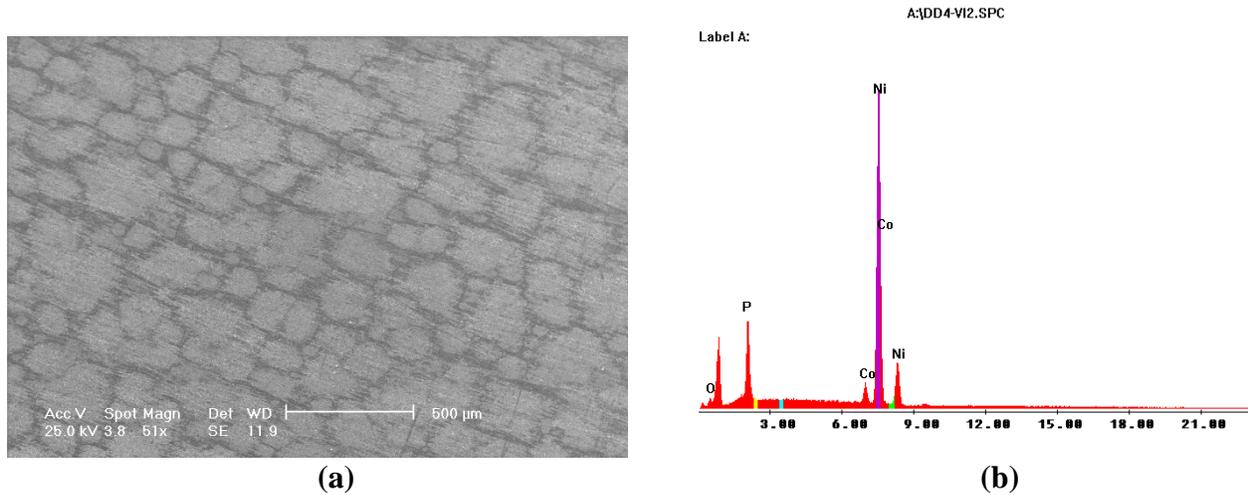


Tabla 3.6 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD.

Figura 3.13 (a) En esta parte del disco se aprecian cambios de tonalidad en geometrías en forma de panal sobre la superficie del disco. **(b)** Espectro de la superficie del disco, una vez más el níquel es el elemento más representativo; se confirma la presencia de oxígeno.

Elemento	Wt %	At %
O K	1.75	5.72
P K	8.87	14.93
CoK	4.78	4.23
NiK	84.6	75.13
Total	100	100

Como primer etapa del proceso corrosivo se tiene la formación de condensado, con lo que se podría asegurar que la presencia de fallas en los dispositivos, (producto del deterioro por corrosión) es simplemente cuestión de tiempo. Otro aspecto observado es que en el interior de los dispositivos, la corrosión es mucho menos pronunciada que en las piezas expuestas directamente a la atmósfera. Por consecuencia se concluye que la baja humedad relativa característica de la Ciudad de México se traduce en mucho menores índices de deterioro en el equipo electrónico, si bien para esto habrá que considerar la existencia de microclimas en la propia zona metropolitana.

La contaminación en la Ciudad de México es sin duda muy severa, sin embargo, los principales problemas son el ozono así como los compuestos orgánicos volátiles quienes juegan un papel importante en la química de los NO_x y partículas suspendidas.

Los resultados correspondientes al deterioro característico observado en la ciudad de México, en principio, no son lo que se esperaba ya que es relativamente difícil encontrar evidencia de corrosión en la superficie del disco, lo cual se puede apreciar en las Figuras 3.10 y 3.11 las cuales representan deterioro por corrosión sobre la superficie de unidades que estuvieron en operación en la Ciudad de México. Con respecto a los resultados en los discos duros procedentes del estado de Tabasco, de acuerdo a las condiciones climatológicas fue más notorio el daño sobre algunas de las unidades en su exterior, sin embargo solo en uno de los dispositivos se encontró evidencia de corrosión en la superficie del disco.

Capítulo 4.

Simulación Acelerada del Deterioro por Corrosión Atmosférica en SAMD

4.1 GENERALIDADES.

Las condiciones de ensayos de laboratorio utilizadas para evaluar la problemática que por corrosión presenta el equipo electrónico, ha representado una constante inquietud para diversas empresas y asociaciones del ramo, esto desde la década de 1960. Empresas como IBM, laboratorios como Batelle y asociaciones tales como la Electronic Industries Association, Internacional Electrotechnical Comision, y la American Society for Testing Materials han desarrollado diversos ensayos sobre todo con mezclas de gases, mientras que otras, como por ejemplo Alcatel-Indetel de México (actualmente Atlinks) y Toshiba emplean pruebas como las de cámara de niebla salina. Este tipo de ensayos han sido evaluados en trabajos como los de Zakipour y Leygraf [18], quedando implícita la factibilidad de desarrollar nuevas metodologías que permitan una mejor correlación entre los fenómenos de deterioro observados durante su exposición al medio ambiente y los reportados a partir de los ensayos.

Dentro de ésta línea se define la metodología propuesta la cual parte de los conceptos de ensayos acelerados [20], los que básicamente se utilizan para:

- a. Desarrollo de nuevos productos
- b. Mejorar el rendimiento de productos ya en operación

Dada la rapidez de cambio de la tecnología en la electrónica es necesario que las pruebas permitan evaluar en forma acelerada el deterioro del dispositivo, de tal forma que antes de ser liberado el producto se tenga una idea clara de cual será su comportamiento y los posibles inconvenientes que éste pudiera tener.

4.2 IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN ACELERADA EN SAMD.

La necesidad de ensayos acelerados sobre todo se presenta en el caso de productos de alto desempeño. La exigencia de éstos se orienta a la estimación de la vida del elemento bajo condiciones de servicio, esto a través del empleo de extrapolaciones. En el caso bajo estudio los ensayos acelerados se orientan a la evaluación de los modos de falla, a la estimación de la vida útil y a la determinación de los problemas que se van a presentar durante el servicio.

Existen algunos métodos para acelerar el deterioro, que durante el servicio sufre un dispositivo, estos son:

- a) Evaluar bajo condiciones de elevada temperatura o humedad (evidentemente por arriba de las de servicio), para incrementar la velocidad de falla, esto en el caso de procesos químicos. En el caso bajo análisis se requiere además modificar la concentración de los contaminantes atmosféricos que aceleran el deterioro tal como el SO₂, NO_x, CO₂, así como de aquellos que actúan como catalizadores de las reacciones tal como el O₃.
- b) En algunos casos se considera que el incremento en las condiciones de servicio (por ejemplo voltajes o presiones) se puede emplear para favorecer el deterioro.

Las pruebas aceleradas de duración o tiempo de vida se clasifican en:

- a) Cuantitativas
- b) Cualitativas.

Las pruebas aceleradas de tipo *cualitativo* se caracterizan por la aplicación de condiciones severas de servicio, de tal forma que si el dispositivo sobrevive a éstas se considera que ha cumplido ante dichas condiciones, en el caso de falla los resultados se podrán emplear para eliminar las causas que dieron lugar al inconveniente.

Este tipo de pruebas revelan los modos de falla probables. Cuando no son bien diseñadas, esto se enfatiza al presentarse modos de falla que no tienen ninguna relación con los generados durante el servicio. Entonces una buena prueba de tipo cualitativo es aquella que rápidamente da lugar a los fenómenos de deterioro observados en campo. Si bien, en general estas pruebas no cuantifican

la vida del dispositivo bajo empleo convencional si pueden proporcionar información con relación al nivel de condiciones que se pueden emplear en las subsecuentes pruebas cuantitativas. Por lo tanto, este tipo de ensayos se pueden considerar como precursores de las pruebas cuantitativas.

Por otra parte las pruebas de tipo *cuantitativo* se caracterizan por acelerar el deterioro a través de la aplicación de sobre sollicitaciones (temperatura o humedad mayores que las convencionales, o concentraciones de contaminantes superiores a las esperadas en campo), situación que se traduce en la reducción de la vida del sistema. Aquí el problema radica en determinar la relación entre el tiempo de ensayo y las condiciones en que este se efectúa con su equivalente aproximado en tiempo real. Para esto existen diferentes métodos estadísticos y modelos (Arrhenius, degradación no lineal, etc.).

En el caso de equipo y dispositivos electrónicos resulta evidente que una hora de servicio solo puede ser equivalente consigo misma y que además las condiciones de operación pueden ser muy variadas. Por tal motivo es necesario reproducir en forma rápida y controlada los fenómenos que se observan del equipo en servicio, cuando éste es sometido a condiciones definidas como críticas. Es por tanto que los ensayos de deterioro acelerado serán sobre todo de tipo cualitativo y deben representar el antecedente para evaluaciones cuantitativas, las cuales se podrán plantear con base en los datos generados de una primera etapa de prueba.

La problemática en el desarrollo de una prueba acelerada de tipo cuantitativo para equipo electrónico está dada por la interacción entre los diversos componentes, situación que vuelve muy compleja cualquier intención de cuantificación. Lo anterior debe permitir el desarrollo de modelos empíricos que relacionen el deterioro o la vida de servicio en condiciones de empleo.

Muchos de los casos de ensayos acelerados se basan en el modelo de Arrhenius ya que se considera que la degradación es un ejemplo de cinética química. En este caso se considera que la temperatura es factor fundamental en la velocidad de deterioro (esta conceptualización puede ser aplicada para deterioro de semiconductores pero no corresponde con el caso de fallas debidas a corrosión atmosférica en los dispositivos electrónicos).

4.3 CONDICIONES DE ENSAYO PARA LA SIMULACIÓN ACELERADA POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

Para la realización de estas pruebas, es necesario que se cumplan ciertas condiciones como son:

- a) Repetitividad
- b) Facilidad de desarrollo
- c) Capacidad de reproducción de los fenómenos de deterioro observados durante la vida útil del sistema o dispositivo
- d) Bajo costo
- e) Rapidez

Los ensayos a realizar son de tipo cualitativo, siendo de gran utilidad ya que proporcionarán las bases para definir posteriormente algunos aspectos de tipo cuantitativos.

De acuerdo a lo reportado en la literatura [18,21], así como con los estándares establecidos por diferentes sociedades técnicas, la prueba se caracterizará por:

- Cámara ambiental
- Flujo de gases mezclados. Se dispondrá de los gases que mayor efecto presentan en el deterioro de los dispositivos.
- Humedad relativa controlada
- Presencia de ozono como agente que promueve el fenómeno.
- Los discos duros a evaluar se colocarán en posición horizontal para analizar efectos de depósito.
- La temperatura variará cíclicamente para permitir condiciones de evaporación y condensación.

Esta prueba combina los efectos de ensayos de mezcla de gases, los cuales se caracterizan por la presencia de 2 o más gases contaminantes a una temperatura y humedad constante, con aquellos de cámara ambiental en los que se pueden generar ciclos de temperatura.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CAMARA DE SIMULACIÓN ACELERADA DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

El equipo utilizado para la realización de los ensayos de simulación acelerada de corrosión atmosférica, se encuentra en los laboratorios de Ingeniería Mecánica en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM), Facultad de Ingeniería UNAM.

En cuestión del monitoreo y control, la cámara cuenta con 3 sensores de temperatura y 2 de humedad, distribuidos en su interior. En el caso de humedad, los datos permiten el análisis del proceso mientras que la señal de temperatura en conjunción con la de un temporizador permite al programa el control de las funciones de la manejadora de aire y bomba de calor. El monitoreo de la concentración de contaminantes se realiza en forma discreta, de tal manera que en base a los resultados obtenidos se reprograma el sistema, para garantizar así que el nivel de contaminantes se encuentre siempre en los rangos establecidos.

El control del sistema se realiza a través de la programación de un microprocesador, mediante una tarjeta de comunicación y control, de tal forma que el sistema se opera a través de una PC, permitiendo la programación del sistema y el ajuste de los siguientes parámetros:

- a) Temperaturas máximas y mínimas de ensayo
- b) Número de ciclos
- c) Duración del ciclo
- d) Humedad relativa
- e) Tiempo de apertura de electroválvulas para suministro de gases contaminantes
- f) Encendido y apagado del generador de ozono

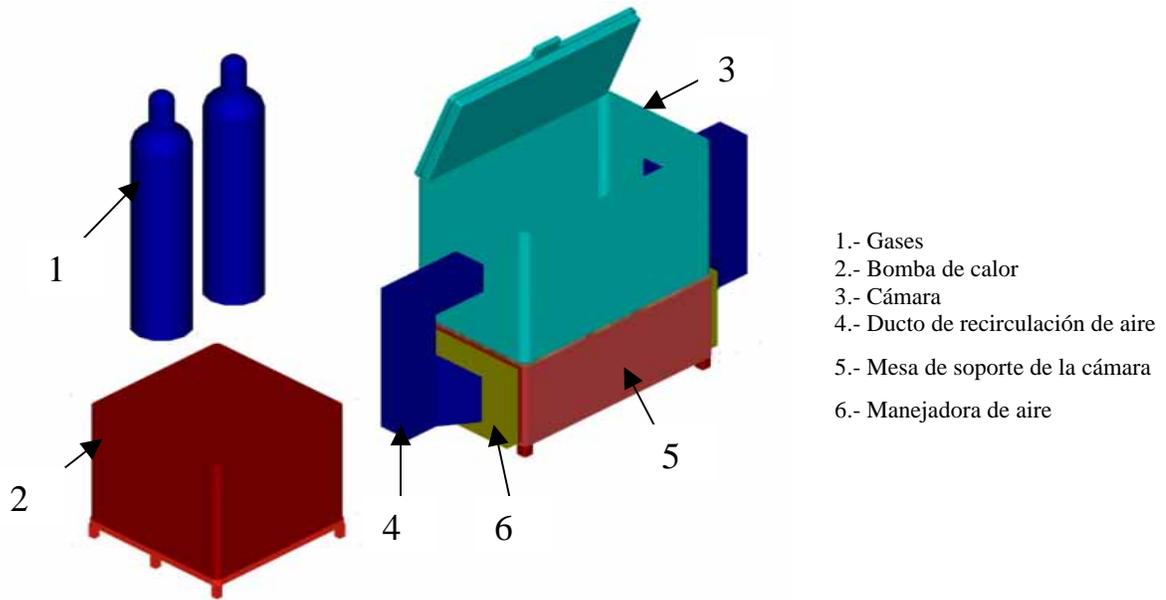


Figura 4.1 Elementos principales que integran el sistema de pruebas aceleradas de corrosión [28].



Figura 4.2 Cámara para ensayos acelerados de corrosión

4.5 DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO.

En base a los resultados del diagnóstico inicial de las unidades de almacenamiento magnético de datos, tomando en cuenta que los dispositivos a estudiar se encuentran en condiciones de operación siendo especímenes para ensayo de corrosión acelerada, se definen las características del ensayo a desarrollar, las cuales son:

- a) Duración del ensayo 450 ciclos en dos etapas; primera etapa 300 ciclos, segunda etapa 150 ciclos.
- b) Humedad relativa controlada entre 90% a 100%
- c) Gases contaminantes: O₃, SO₂, NO, existiendo la posibilidad de un tercer contaminante gaseoso (por ejemplo CO₂).
- d) Concentración de gases contaminantes. Mínimo 100 veces la máxima para atmósfera industrial (se pretende acelerar el deterioro).
- e) Duración del ciclo de temperatura; 20 minutos.
- f) Tipo de ciclo de temperatura; Onda trapezoidal (facilita el control del ciclo e incrementa los tiempos de condensación)
- g) Temperatura mínima de 5° C y máxima de 45° C. Esto se estableció de acuerdo a las capacidades del equipo y considerando que no se presente solidificación del condensado.

Para garantizar que las condiciones del ensayo se cumplan, el sistema de prueba se caracterizará por:

- h) Mezcla de los gases a baja velocidad. Para tal fin el equipo dispone de ventiladores en el interior de la cámara.
- i) La mezcla de gases no debe incidir directamente sobre los dispositivos. El sistema cuenta con deflectores para el flujo de gas.
- j) Disponer de sistemas de evaluación y control de los contaminantes presentes.
- k) Contar con un sistema de control de temperatura y humedad.
- l) Operar en forma automática, de acuerdo a las condiciones de ensayos establecidas. Asimismo permitirá el almacenamiento de los datos relevantes de la prueba.

Duración del ensayo. Los diferentes ensayos reportados en la literatura [18] y aquellos normalizados, se realizan en general en periodos variables (desde horas hasta semanas), considerándolos como cualitativos en donde las pruebas se pueden aceptar o bien rechazar de acuerdo a las condiciones que se especifican desde un inicio. En este caso el ensayo propuesto, trata de simular condiciones similares a las que se presentan durante la vida útil de los dispositivos, expuesto a condiciones críticas. Dado que la propuesta es la de generar ciclos de temperatura que garanticen la existencia de procesos de condensación-secado, en forma similar a lo que sucede en la vida útil del equipo. Es por tanto que más que referir a la duración del ensayo esta condición se describe a través del número de ciclos térmicos aplicados.

Humedad Relativa. En cuanto al valor mínimo de la humedad relativa al cual se presentan efectos de deterioro, se tienen ciertas diferencias, ya que mientras algunos autores se refieren a éste como del 80% [6] otros indican que prácticamente no existe un valor mínimo y que se pueden presentar problemas aún para valores tan bajos como el 20% [3]. En este caso se manejarán valores de humedades relativas elevadas, teniendo un rango que va del 20% al 100%, teniendo el control de esta variable a través de un sistema de retroalimentación de la señal.

Concentración de contaminantes. De acuerdo a la literatura, algunos autores coinciden en que dos de los principales contaminantes en el caso de la corrosión atmosférica son el SO_2 y los cloruros, si bien dada la regularidad con la que se presentan otros contaminantes como el H_2S , NO_x , ha dado por consecuencia que se realicen diversos estudios en los que se analiza el efecto de éstos así como la acción del ozono. Se ha definido también que concentraciones de contaminantes muy por debajo de los umbrales de aceptación para el ser humano [3] generan problemas en el equipo electrónico. En este punto es conveniente enfatizar que las concentraciones máximas aceptables para el ser humano son en general del orden de ppb, por lo que se plantea como factor de aceleración del daño exponer las muestras a concentraciones del orden de ppm. Dicha situación será favorable desde el punto de vista de la evaluación de los contaminantes, ya que los dispositivos y sensores incrementan su costo al trabajar en órdenes de ppb. Por lo tanto se propone que los ensayos se realicen con una concentración de contaminantes del orden de 10 ppm de ozono, 100 a 200 ppm de SO_2 , 20 a 30 ppm de NO_2 , 100 a 200 de CO_2 , esto en el caso de considerarse éste último gas.

Para las pruebas a realizar durante el ensayo, el tiempo así como la presión con que se inyectan los gases se muestra en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Tipo de contaminante que fue Inyectado durante el ensayo así como tiempo de exposición y presión.

CONTAMINANTE	TIEMPO	PRESIÓN
SO ₂	3 segundos	100KPa
O ₃	60 segundos	Por Ciclo
NO	3 segundos	100KPa

Duración del ciclo. Con la finalidad de garantizar los efectos de condensación-secado en la superficie de los dispositivos, se propone una duración de éste del orden de 20 minutos, periodo que puede ser fácilmente reprogramado a través del sistema de control, adicionalmente la señal de tipo trapezoidal ayudará a que los tiempos de permanencia en los límites inferior y superior de la temperatura sean del orden de 3 minutos quedando un intervalo de 12 minutos tanto para el ciclo de calentamiento como de enfriamiento

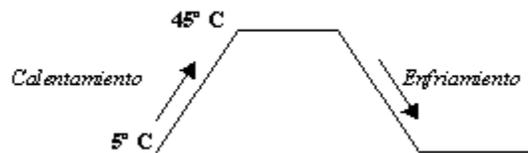


Figura 4.3 Ciclo de Temperatura (Onda Trapezoidal)

Temperaturas extremas. Al efectuar los ensayos de corrosión atmosférica las temperaturas generalmente son del orden de la temperatura ambiental, ya que este factor no afecta la velocidad de deterioro. Por otra parte se considera que el tiempo de humectación está definido por la combinación de una temperatura superior a los 0 °C combinada ésta con una humedad relativa mayor o igual a 80%. A su vez este tipo de dispositivos (discos duros), es poco común que se encuentren en condiciones ambientales en donde la temperatura supere los 45 °C, con esta base y tomando en consideración la problemática de generar a través de una bomba de calor,

temperaturas superiores a los 50°C, se definieron los límites inferior y superior del ciclo de temperaturas.

4.6 ENSAYO DE SIMULACIÓN ACELERADA POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN SAMD.

El estudio experimental tiene como finalidad la reproducción de las fallas ocasionadas por corrosión atmosférica en los sistemas de almacenamiento magnético de datos, así como determinar el daño ocasionado por dichas causas y realizar las recomendaciones pertinentes para las mejoras en cuanto al diseño de estos dispositivos.

De acuerdo a la metodología planteada, los especímenes que serán sometidos al ensayo de simulación acelerada por corrosión son aquellos que en el diagnóstico inicial se encontraron en buen estado (condiciones de operación).

El total de discos duros que se sometieron a la prueba de simulación acelerada por corrosión es de 22 unidades (61% del lote de Estudio), siendo todos de la Ciudad de México. El ensayo se desarrolló en dos etapas, la primera de 300 ciclos (100 Horas) y la segunda de 150 ciclos (50 Horas).

Es importante mencionar que las condiciones propuestas para la realización del ensayo son extremas y por consiguiente difícilmente se encuentran en operación real estos dispositivos, sin embargo lo que se pretende es acelerar los eventos que dan lugar al deterioro, por corrosión atmosférica, del equipo y dispositivos electrónicos que componen a los sistemas de almacenamiento magnético de datos. Cabe mencionar que los discos duros no solamente están constituidos por las superficie de almacenamiento magnético de datos sino que una parte importante del sistema lo constituyen sus elementos electrónicos que controlan su operación los cuales presentan los mismos inconvenientes de deterioro, representando el 50% de las fallas en los discos duros. Otros componentes a considerar son los elementos mecánicos de soporte y sujeción así como al propio motor de impulsión del disco duro los cuales son también susceptibles de deterioro por corrosión.

En la primera etapa los discos se sometieron a la prueba sin protección alguna en los pines IDE ni en los pines de alimentación. Para la segunda etapa del ensayo, fueron protegidos tanto en los

pinos de alimentación como en los pinos IDE, con el fin de tratar de aproximar el ensayo a las condiciones normales de operación de los dispositivos.

La posición en la que serán colocados los discos duros dentro del simulador, será de forma horizontal, posición en la cual la mayoría de estos dispositivos se encuentran en operación. En todos los casos los elementos electrónicos no están expuestos directamente a la atmósfera contaminada.



Figura 4.4 (a) Aspecto de la carcasa del disco duro. (b) Componentes electrónicos de la tarjeta controladora del disco, este dispositivo se someterá al ensayo sin protección en pinos.



Figura 4.5 Espécimen para ensayo de simulación acelerada por corrosión, el cual fue protegido de los pinos IDE y de los pinos de alimentación.

4.7 EVALUACIÓN DE LA EXISTENCIA DE CORROSIÓN EN SAMD.

Al término del ensayo, los dispositivos se retiraron de la cámara, dejándose secar en condiciones ambientales con el fin de eliminar cualquier residuo de humedad manifestándose en forma de condensado en algún componente para poder ser diagnosticados nuevamente.

Al realizar el diagnóstico nuevamente a todas las unidades que fueron sometidas al ensayo en las dos etapas, solo un dispositivo se encontró en buen estado es decir en condiciones de operación representando el 4.5% de los discos sometidos al ensayo.

En el 95.5% del resto de los dispositivos, al ser diagnosticados presentaron falla de tipo mecánica, debida a corrosión. En la mayor parte de los dispositivos, el disco presentó problemas para girar, asimismo durante el diagnóstico se detectó sobrecalentamiento de algunos de sus componentes electrónicos (circuitos integrados).

De acuerdo a la metodología propuesta para el ensayo, al igual que en los discos duros retirados de campo, se inspeccionaron inicialmente a bajos aumentos con ayuda del estereoscopio y posteriormente con el microscopio electrónico de barrido, lo anterior con la finalidad de comparar las características de los depósitos formados en forma acelerada con los que se presentan después de una prolongada exposición en campo.

4.7.1 Evaluación del Deterioro en SAMD en la Primer Etapa del Ensayo.

Como se mencionó anteriormente, esta etapa se realizó a 300 ciclos (100 Horas), durante los cuales los dispositivos se encontraron expuestos a la atmósfera contaminada. Al retirar los dispositivos de la cámara es notorio el daño que sufrieron los discos en su estructura, una vez secos y diagnosticados se procede a la inspección a bajos aumentos en busca de evidencias que determinen la existencia de corrosión en la superficie del disco principalmente, lo cual ayudara a comprobar si realmente la corrosión atmosférica es factor o no en las fallas producidas en el funcionamiento del disco.

En todos los dispositivos se observan muestras de condensado en la carcasa del disco, así como en la tarjeta controladora (Figura 4.5). Una inspección a primera vista muestra el deterioro sufrido en los pines y componentes electrónicos que constituyen al disco (Figura 4.6), esto es producto del limitado espesor del recubrimiento que tienen estos elementos lo cual da lugar a la formación de celdas galvánicas.



(a)



(b)

Figura 4.6 (a) Apariencia del disco duro después de ser retirado de la cámara de pruebas aceleradas, evidencia de condensado en la carcasa del disco. **(b)** Tarjeta controladora del mismo disco en la cual se aprecian depósitos de condensado en la periferia, así como daño en algunos componentes electrónicos.



(a)



(b)

Figura 4.7 (a) Estado en el cual se encuentran los pines IDE después del ensayo, se aprecian depósitos de condensado en las puntas, así como en la periferia de cada pin. **(b)** Es notorio el deterioro sufrido en los pines de alimentación, en la periferia se puede observar escurrimiento sobre la periferia de la estructura metálica.

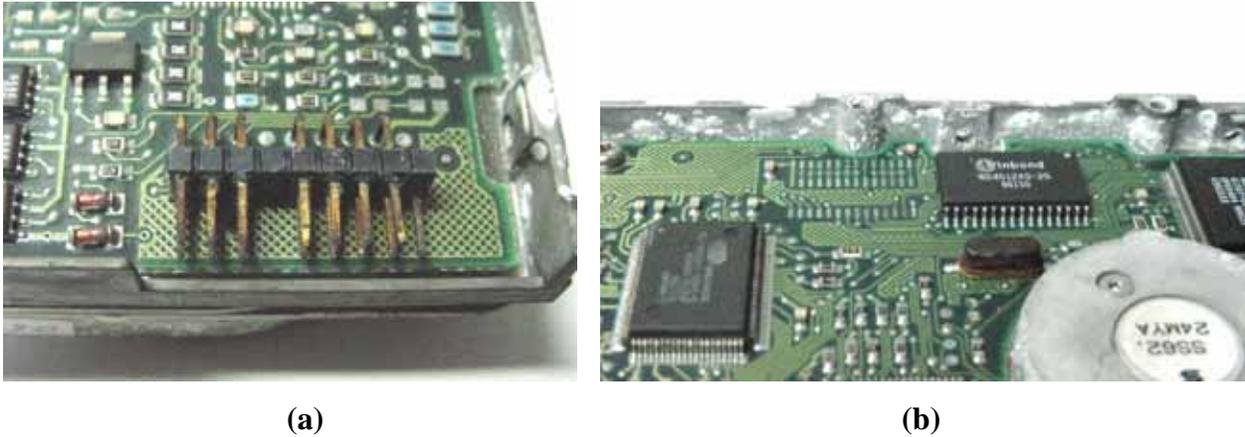


Figura 4.8 (a) Deterioro en Pines. (b) Depósitos de condensado en la estructura metálica del disco, corrosión en ciertos componentes de la tarjeta controladora del disco.

Al destapar los dispositivos para poder evaluar el deterioro sufrido por el ensayo, en lo que respecta a los componentes mecánicos metálicos, es evidente el daño sufrido, sin embargo en los componentes electrónicos no se tiene mayor daño. En la periferia de la carcasa se observa escurrimiento de condensado sobre todo en los barrenos en donde se colocan los tornillos. Lo anterior se puede observar en las Figuras 4.9, 4.10 y 4.11.



Figura 4.9 (a) Elementos internos que componen al disco duro. (b) En esta imagen no se observa deterioro en los circuitos integrados, ni en pistas.



Figura 4.10 (a) En el soporte del actuador es evidente la existencia de corrosión en su estructura. (b) En esta imagen, al tener una mayor amplificación, es más evidente el deterioro sufrido por corrosión en este elemento.



Figura 4.11 (a) Tapa del Disco duro, en general se encuentra en buenas condiciones. (b) En los barrenos se pueden apreciar marcas de condensado así como escurrimientos del mismo.

En el caso de la superficie del disco, la inspección se realiza con el estereoscopio en donde se buscaran evidencias de la existencia de corrosión.

Una vez inspeccionados los dispositivos se observa que todos los discos sometidos al ensayo, tienen evidencia de corrosión en la superficie del plato, lo cual es hasta cierto punto lógico de acuerdo a las condiciones que se manejaron para esta prueba (condiciones extremas).

Lo anterior se verifica al observar las imágenes tomadas de la superficie de cada dispositivo, de acuerdo a la región en que se encontró el deterioro (Figura 4.12, 4.13, 4.14).

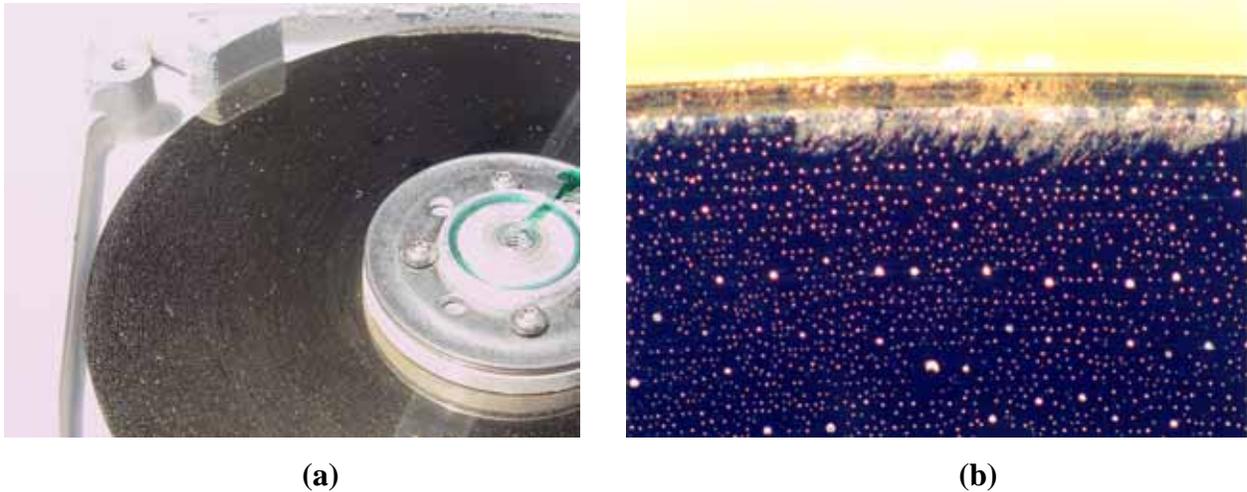


Figura 4.12 (a) Imagen de la superficie del disco al ser destapado después del ensayo de corrosión. (b) Evidencia de condensado en la periferia del disco imagen tomada a 25X.



Figura 4.13 (a) Superficie de SAMD con depósitos de condensado y residuos salinos. (b) En este caso tenemos un claro depósito corrosivo el cual se encuentra sobre la superficie del disco, siendo la única marca significativa de deterioro.



(a)

(b)

Figura 4.14 (a) Marcas de condensado sobre la superficie notándose discontinuidad en la capa de carbono. (b) Uno de los problemas encontrados después del ensayo fue la adherencia de la cabeza de lectura/escritura al plato, en este caso se tiene la marca del desprendimiento de la misma sobre la superficie del disco. Esto sugiere la conveniencia de la inspección a detalle de la cabeza de lectura/escritura.

Una vez identificadas las zonas con mayor deterioro y en donde se tiene evidencia de deterioro por corrosión sobre la superficie del disco, se procede a seccionar cada región, la cual se inspeccionará con ayuda del microscopio electrónico de barrido.

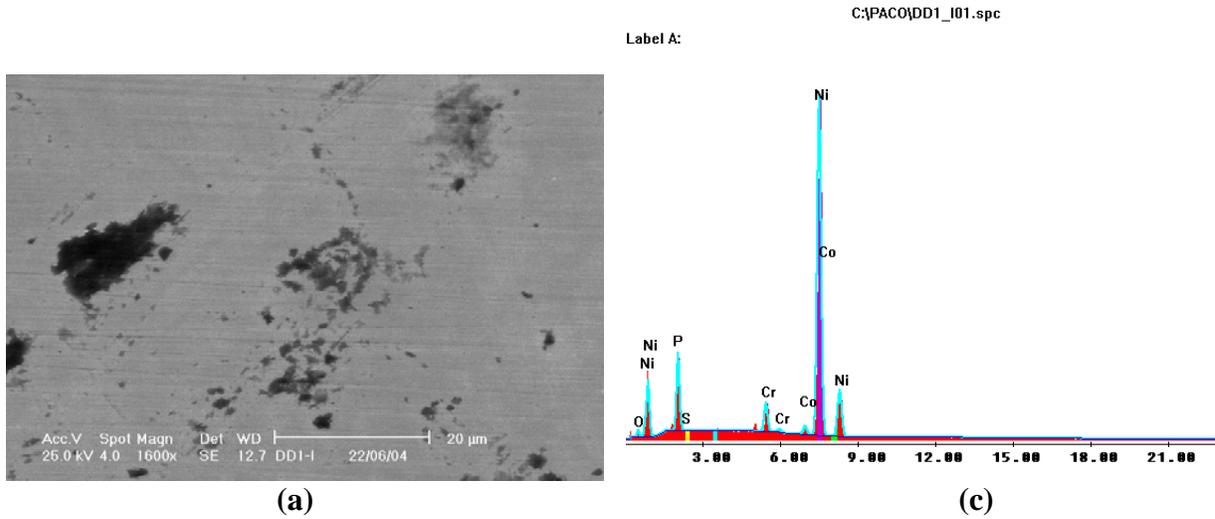
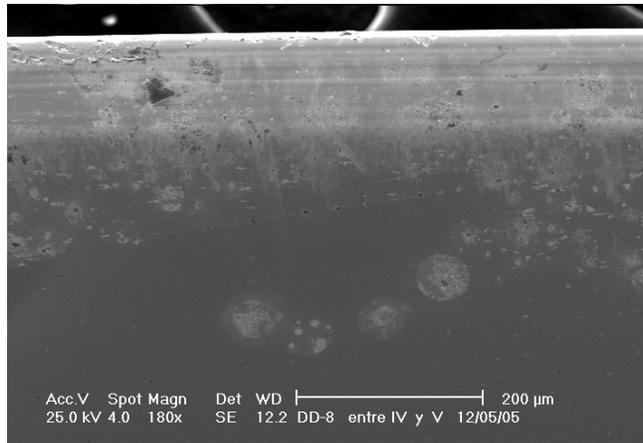


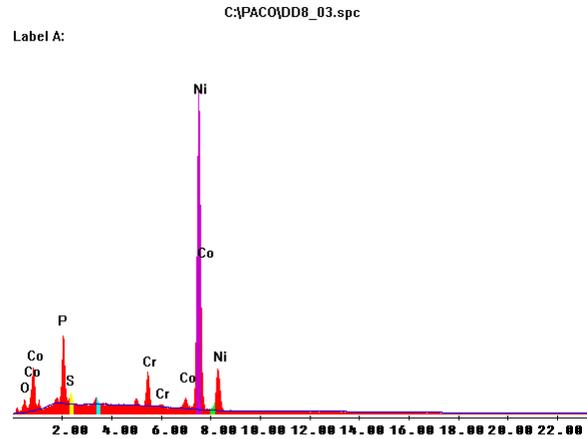
Tabla 4.2 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Element	Wt %	At %
O K	1.29	4.27
P K	8.05	13.72
S K	0.11	0.18
CrK	3.46	3.52
CoK	1.85	1.66
NiK	85.24	76.66
Total	100	100

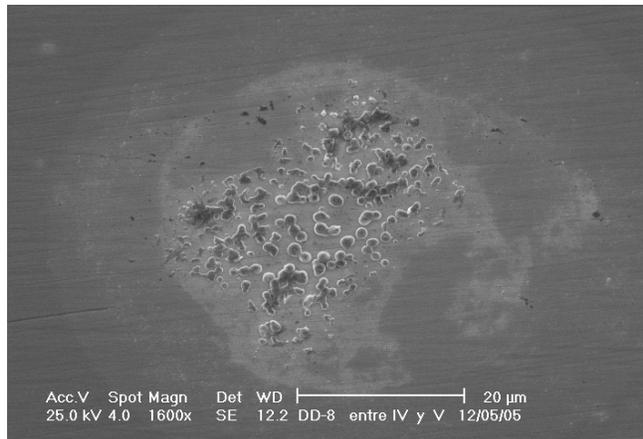
Figura 4.15 (a) (b). Imágenes de la superficie del disco en donde es notorio el deterioro sufrido, se aprecian depósitos y cambios de tonalidad significativos (c) Espectro de la superficie del SAMD analizada, siendo el níquel el elemento más representativo.



(a)



(c)



(b)

Tabla 4.3 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Element	Wt %	At %
O K	2.69	8.55
P K	7.4	12.16
S K	1.19	1.88
Cl K	0.03	0.05
Cr K	3.99	3.9
Co K	2.63	2.28
Ni K	82.08	71.18
Total	100	100

Figura 4.16 (a) Periferia del disco duro donde se aprecia notable deterioro además de presentar marcas de condensado. (b) Marcas de condensado, en la zona central de la imagen se aprecia brote de productos de corrosión en la superficie del disco (c) Espectro de la superficie del SAMD analizada.

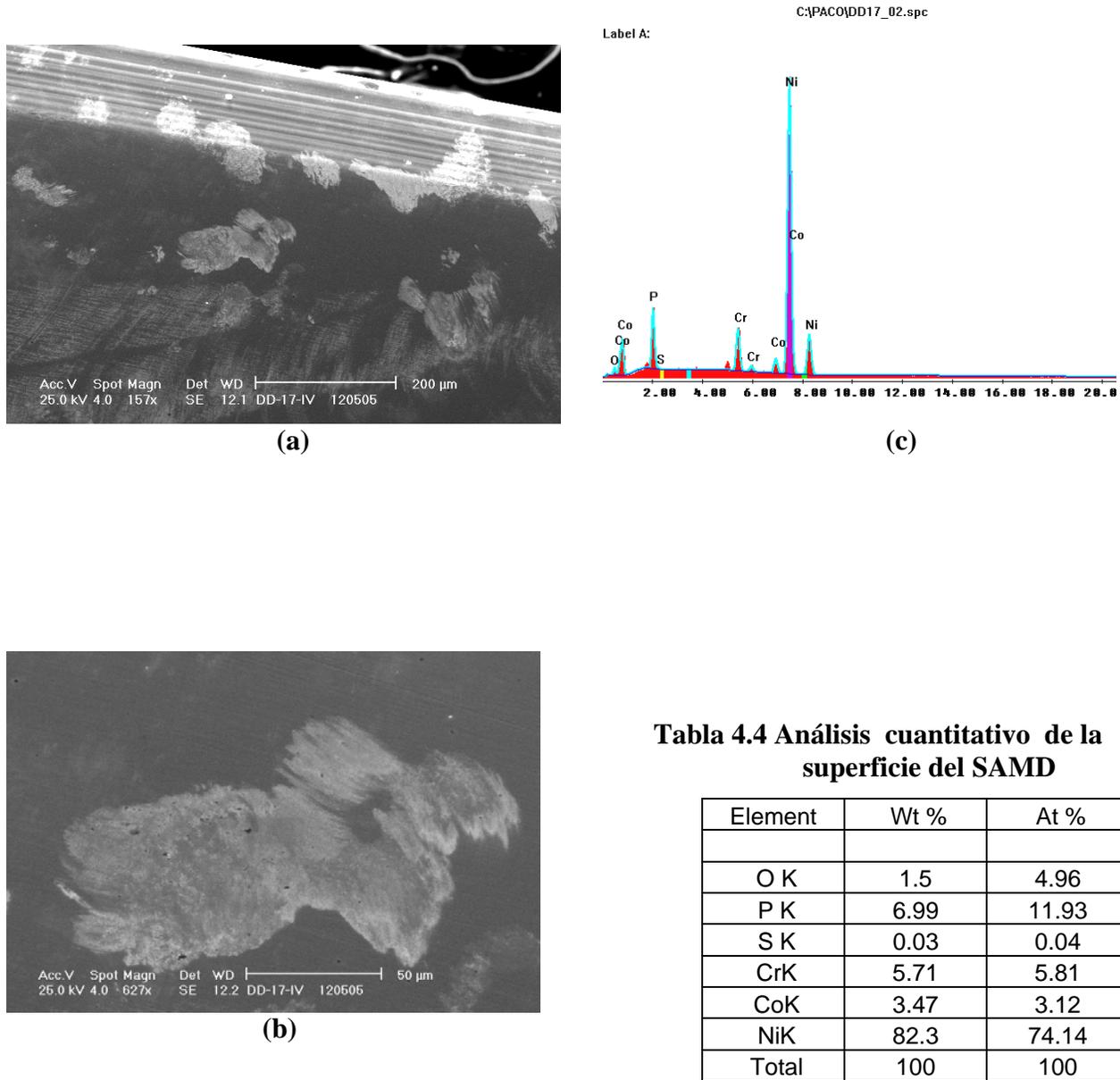


Tabla 4.4 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Element	Wt %	At %
O K	1.5	4.96
P K	6.99	11.93
S K	0.03	0.04
CrK	5.71	5.81
CoK	3.47	3.12
NiK	82.3	74.14
Total	100	100

Figura 4.17 (a) Marcas de condensado sobre la periferia del disco duro. (b) Imagen tomada a mayor aumento de una de las marcas de condensado en donde se aprecia desprendimiento de material de la superficie del disco. (c) Espectro de la superficie del SAMD analizada.

4.7.2 Evaluación del Deterioro en SAMD en la Segunda Etapa del Ensayo.

La segunda etapa del ensayo de simulación acelerada por corrosión atmosférica, se realizó a 150 ciclos (50 Horas). De igual forma los dispositivos al término del ensayo se dejaron secar a condiciones ambientales, se diagnosticaron, se inspeccionaron a simple vista procediendo a una inspección en estereoscopio y posteriormente mediante microscopía electrónica.

Al retirar los dispositivos, en algunos de estos no fue tan notorio el deterioro sufrido en la carcasa a diferencia de los dispositivos sometidos en la primera prueba, lo cual es atribuible al tiempo de exposición que en este caso fue menor. En esta etapa del ensayo algunos de los dispositivos se protegieron en los pines IDE y de alimentación (Figura 4.18), al igual que en la primera etapa la posición en la que se colocaron los discos dentro de la cámara fue en forma horizontal.

Cabe mencionar que al momento en que se practicó el diagnóstico a cada uno de los discos, en algunas unidades se detectó que el disco intentaba girar o bien lo hacía con dificultad, lo cual se detectó mediante la vibración y ruido que se escuchaba en el interior del dispositivo, además de detectar sobrecalentamiento en algunos circuitos integrados.



Figura 4.18 Apariencia de discos duros después de haber sido sometidos a la prueba de simulación acelerada por corrosión.

Al inspeccionar a simple vista los dispositivos que fueron sometidos al ensayo, en algunos casos tanto tornillos como en la carcasa se tienen evidencias de corrosión, en los tornillos es notoria la presencia de depósitos, sin embargo este fenómeno no fue observado en todas las unidades sometidas al ensayo (Figura 4.19). De la estructura exterior del disco los elementos más dañados son los componentes electrónicos, ya que en su mayoría se pueden encontrar marcas y depósitos

de condensado, en específico en las terminales de los circuitos, lo cual es un factor importante con respecto al tipo de fallas que pudiesen ocasionar el mal funcionamiento del disco duro (Figura 4.20).



Figura 4.19 (a) En esta imagen es notorio el deterioro sufrido sobre la carcasa de disco, así como el óxido existente en los tornillos. **(b)** Vista de la Tarjeta controladora del disco en donde se aprecia el daño sufrido en el soporte de sujeción así como en circuitos integrados principalmente.



Figura 4.20 (a) En lo que respecta a la carcasa son notorias las marcas de condensado. **(b)** A diferencia del disco duro mostrado en la imagen anterior, en este caso la tarjeta controladora se encuentra en posición invertida, solo se observan los circuitos impresos.

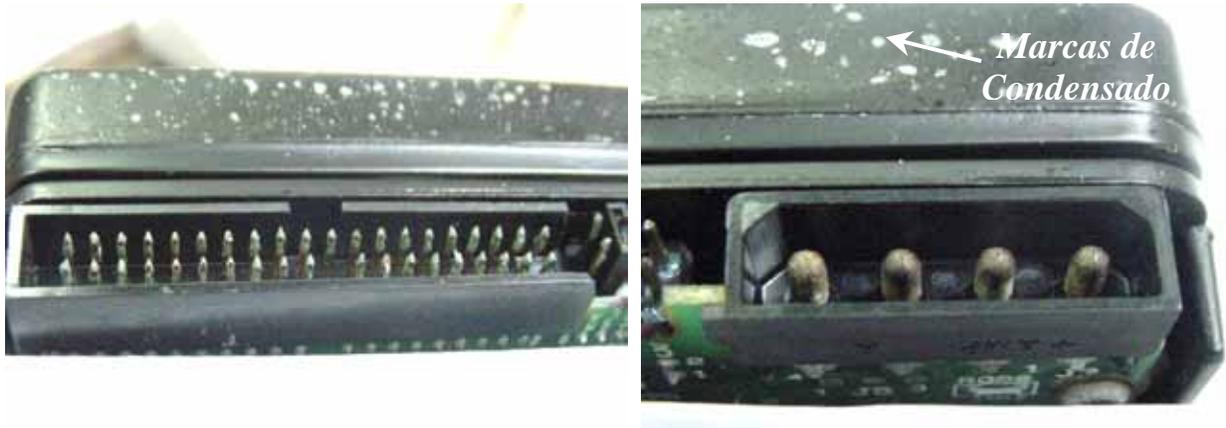


Figura 4.21 Deterioro sufrido tanto en pines IDE como en pines de alimentación del disco duro. Se aprecian depósitos de condensado y sulfatos en cada uno de los pines IDE.



Figura 4.22 (a) Al destapar la tarjeta controladora del disco, se aprecia que los componentes electrónicos están cubiertos por una esponja cuya función es proteger dichos elementos. (b) En la parte que conecta a la tarjeta con el actuador del disco, en terminales de conexión y soldadura de estos elementos, no se aprecia deterioro alguno.

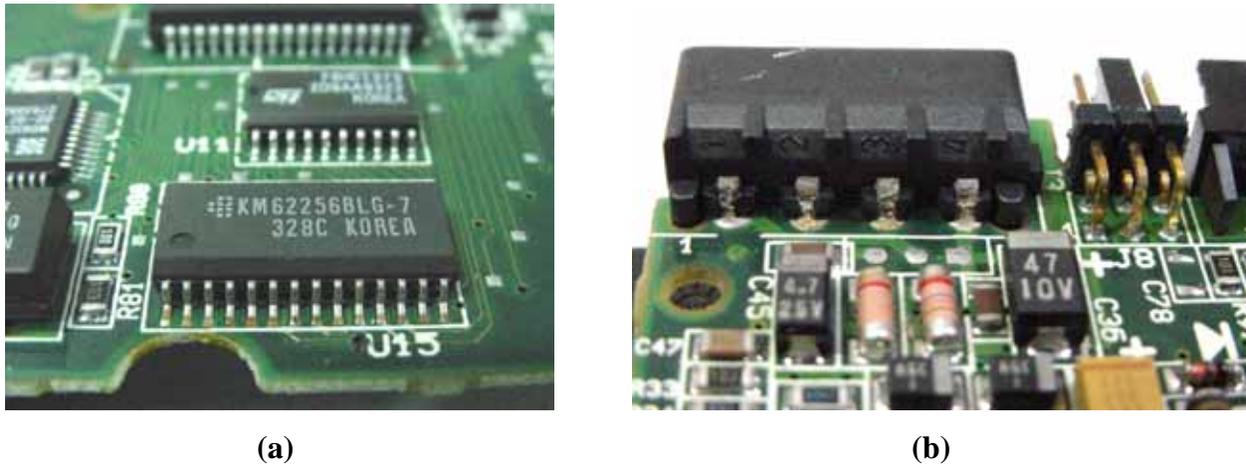


Figura 4.23 (a) Depósitos corrosivos en las terminales del circuito integrado, en la mayor parte de los circuitos se aprecia este fenómeno. (b) Se aprecia la presencia de sulfatos en las terminales de conexión con la tarjeta, deterioro en pines.

Una vez inspeccionados a simple vista, se procede a destapar las unidades para realizar la evaluación en su interior y de la superficie del disco principalmente. El procedimiento a seguir es el mismo de acuerdo a la metodología planteada, inspección en estereoscopio, seccionamiento de las zonas con posible deterioro por corrosión e inspección en microscopía electrónica.

Al destapar cada dispositivo, en general en la mayor parte de los discos no se encontró deterioro significativo a simple vista en los componentes internos tanto electrónicos como mecánicos (Figura 4.24a), encontrando solamente ciertos depósitos de condensado en los barrenos donde son colocados los tornillos. En el caso de algunas unidades, la evidencia más significativa que se puede percibir a simple vista es en la periferia de la estructura del disco y en los tornillos de sujeción de la tarjeta controladora del disco, en donde se localizan residuos de condensado, dicho fenómeno afecta al disco duro ya que las partículas que pudiesen desprenderse se pueden depositar en la superficie magnética causando inconvenientes en su funcionamiento (Figura 4.24b).

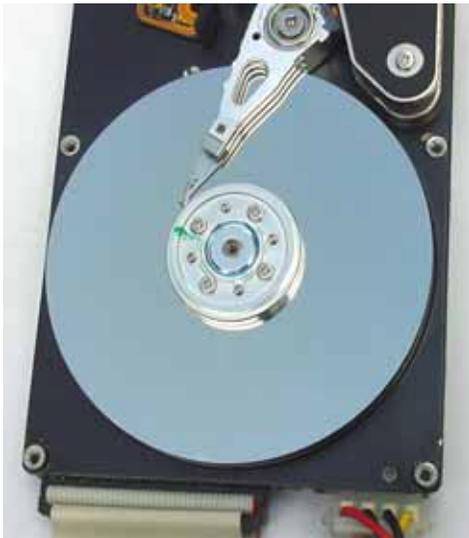
En general la superficie del disco tiene buena apariencia sin encontrar marcas de condensado sobre su superficie (Figura 4.24c, Figura 4.24d), no obstante se inspecciona a detalle para corroborar la existencia de corrosión en los dispositivos.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.24 Como se aprecia en las imágenes (a) y (b) la apariencia de los componentes internos del dispositivo, se encuentran en buen estado, encontrando solamente ciertos depósitos de condensado en barrenos. En la Imagen (c) se tiene un acercamiento del plato del disco (a), en donde no se aprecia deterioro alguno a simple vista en componentes mecánicos. A diferencia de la imagen (c), en el disco que se muestra en la imagen (d) se aprecian los depósitos de condensado sobre tornillos y en la periferia de la estructura de la carcasa, sin embargo la superficie del disco se observa en condiciones aceptables.

Con base a la inspección realizada en el estereoscopio de la superficie magnética, en sí el daño no es muy notorio, sin embargo en ciertas zonas como la periferia del disco y la parte central, se encuentran ciertos depósitos y marcas de condensado, además de existir evidencia de que la cabeza de lectura/escritura se encuentra adherida a la superficie del disco.

En las Figuras 4.25, 4.26, se muestran las zonas inspeccionadas a bajos aumentos y el deterioro encontrado en la superficie del disco.

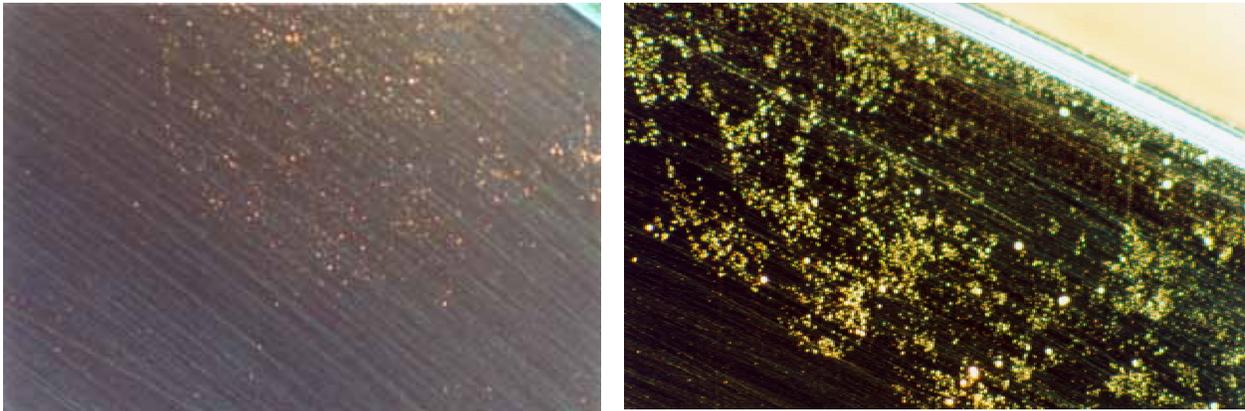


Figura 4.25 Deterioro sufrido en la periferia del disco, en la imagen de la derecha se observan depósitos, ocasionando discontinuidad en esta capa de la superficie.

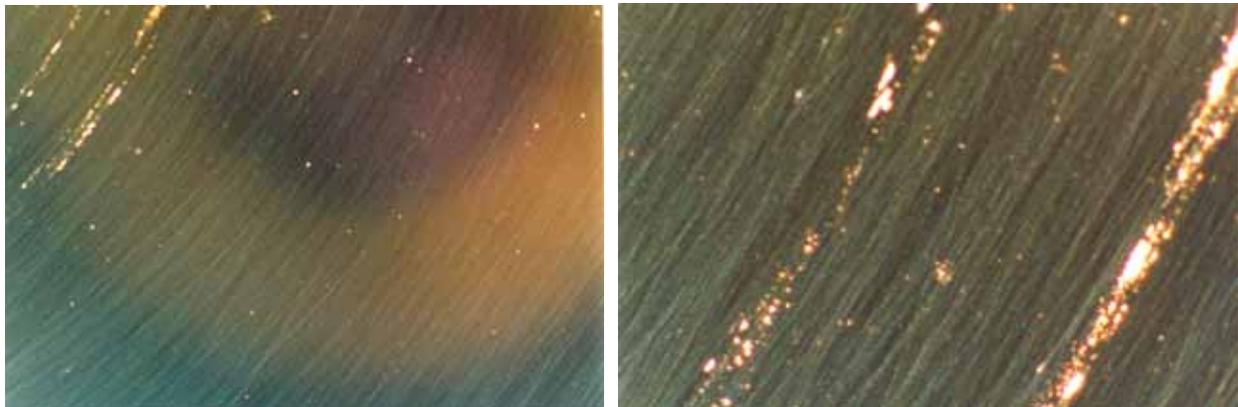
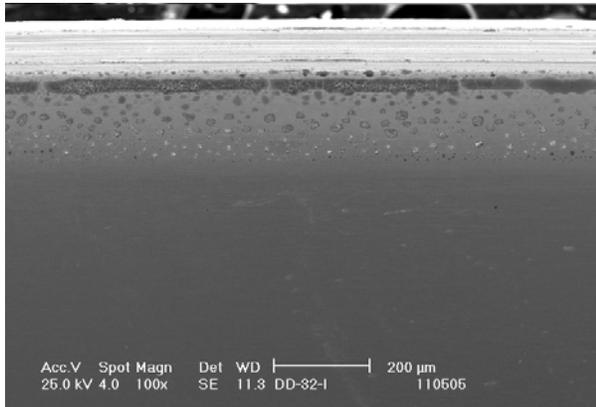
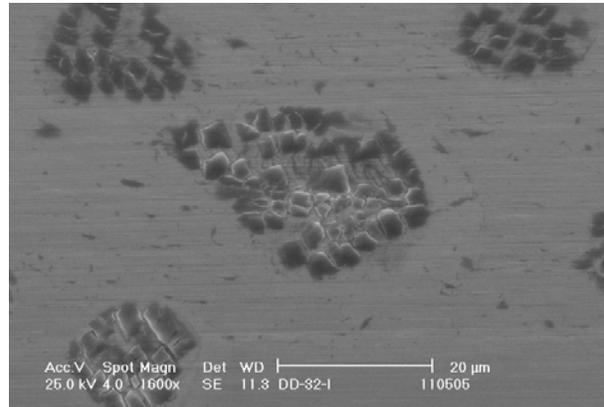


Figura 4.26 En la imagen de la izquierda se aprecian marcas ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura. En la imagen de la derecha se tienen las mismas marcas a mayores aumentos observándose con mayor detalle el desprendimiento de material.

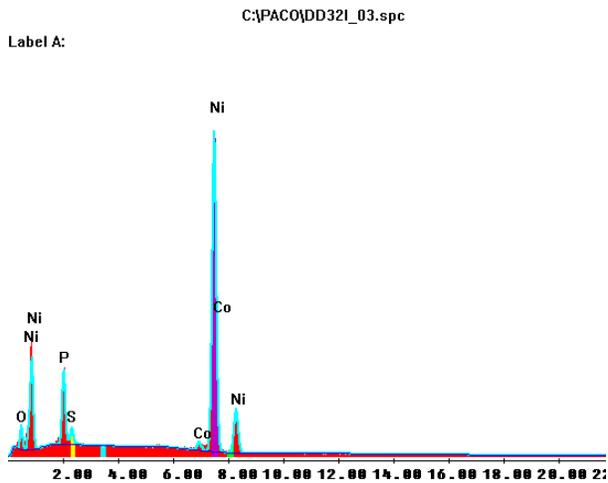
Siguiendo con la inspección de los discos, al tener identificadas las regiones de deterioro y una vez seccionadas, se realizó el análisis en microscopía electrónica. Lo cual confirma la existencia de corrosión en la superficie magnética del disco. En las imágenes 4.27, 4.28, 4.29 se observa con mayor detalle el daño sufrido en la superficie del disco, en donde es notoria la acumulación de condensado así como el desprendimiento de material de la superficie del disco.



(a)



(b)

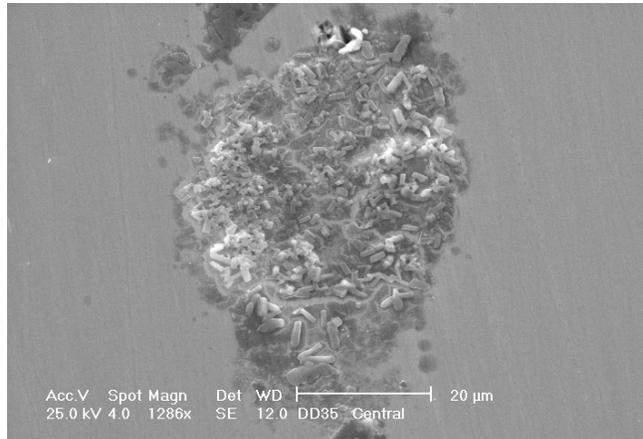


(c)

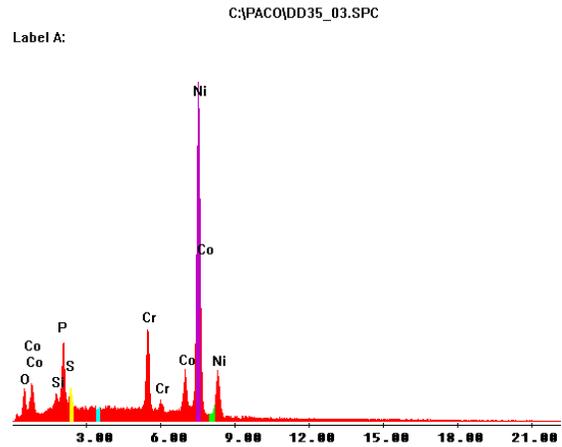
Tabla 4.5 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Elemento	Wt %	At %
O K	4.74	14.34
P K	8.14	12.73
S K	1.58	2.39
CoK	1.86	1.52
NiK	83.68	69.02
Total	100	100

Figura 4.27 (a) En la imagen se aprecia el deterioro sufrido en la periferia el disco; en la imagen (b) se observa con mayor detalle el daño ocasionado causando el levantamiento de material de la superficie. El espectro (c) corresponde a la imagen (b) de la zona de levantamiento de material. El elemento más representativo en el espectro es el níquel, lo cual coincide con los análisis previos en la primera etapa.



(a)

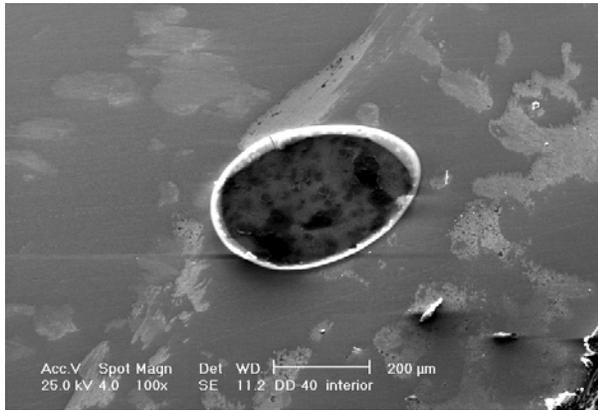


(b)

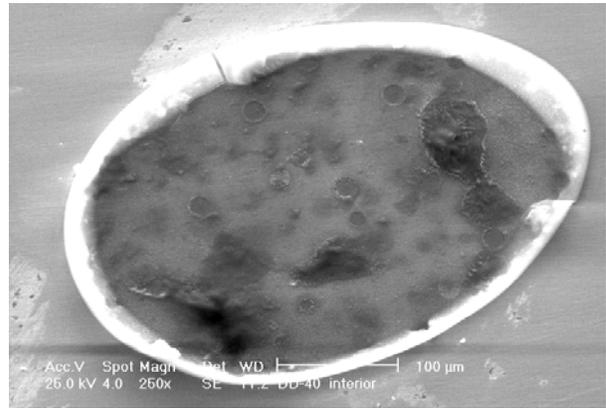
Tabla 4.6 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Figura 4.28 (a) Se aprecia claramente depósitos sobre la superficie en forma de hilos, en el espectro de la derecha (b) El elemento mas representativo es el níquel, siendo el más afectado en esta región. A su vez en la **Tabla 4.6**, se tienen los elementos cuantificados en esa región de análisis.

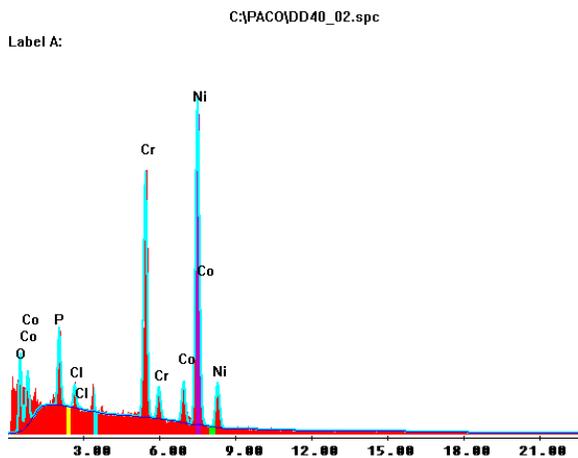
Elemento	Wt %	At %
O K	5.02	14.97
SiK	1.74	2.94
P K	6.01	9.26
S K	1.76	2.62
CrK	8.06	7.38
CoK	7.65	6.19
NiK	69.75	56.63
Total	100	100



(a)



(b)



(c)

Tabla 4.7 Análisis Cuantitativo de la superficie del SAMD

Elemento	Wt %	At %
O K	8.85	24.67
P K	5.04	7.25
ClK	1.3	1.63
CrK	20.93	17.95
CoK	6.5	4.92
NiK	57.38	43.57
Total	100	100

Figura 4.29 En la imagen (a) se tiene otro tipo de manifestación del daño sufrido en la superficie del disco, teniendo marcas de condensado, desprendimiento de material y un depósito en la parte central de la imagen. En la imagen (b) se aprecia mayor detalle del depósito. El espectro (c) corresponde a la imagen (b), así como el análisis cuantitativo de la tabla 4.7

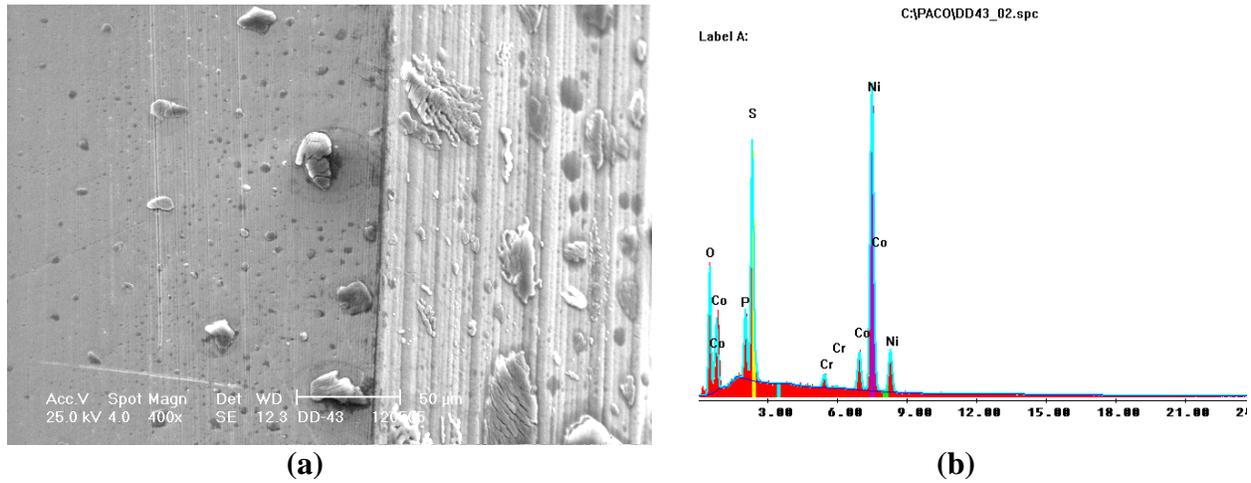
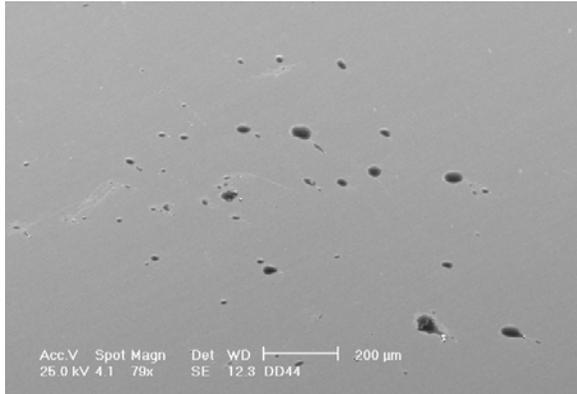


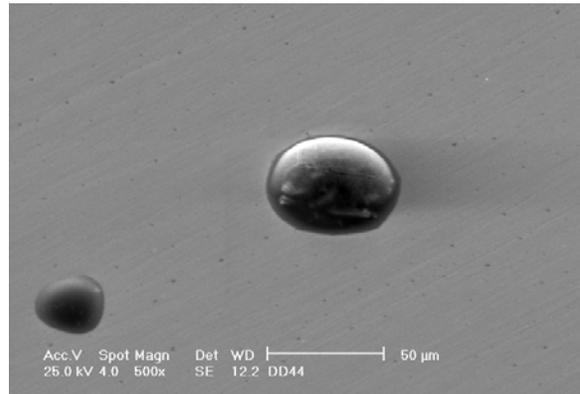
Tabla 4.8 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Figura 4.30 (a) Acumulación de condensado en la periferia del disco, así como en la superficie del mismo. El espectro **(b)** muestra, además del níquel la presencia de azufre, siendo un elemento importante en el deterioro del disco. En la cuantificación se tiene además del níquel y azufre la presencia de oxígeno lo cual nos confirma la existencia de corrosión en esta zona.

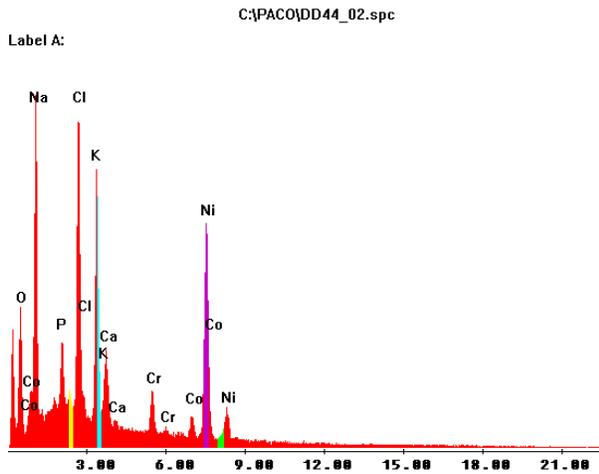
Elemento	Wt %	At %
O K	18.45	41
P K	4.39	5.04
S K	14.22	15.77
CrK	1.18	0.8
CoK	6.11	3.69
NiK	55.65	33.7
Total	100	100



(a)



(b)

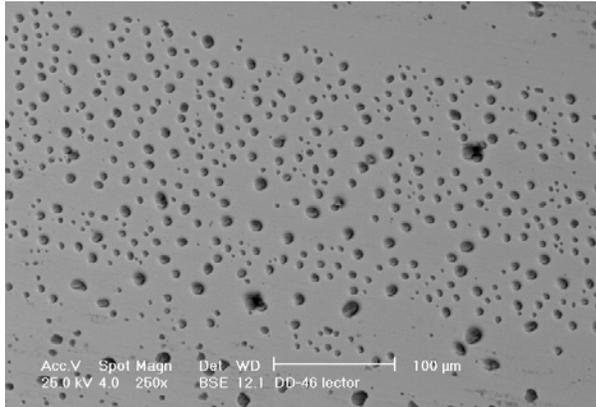


(c)

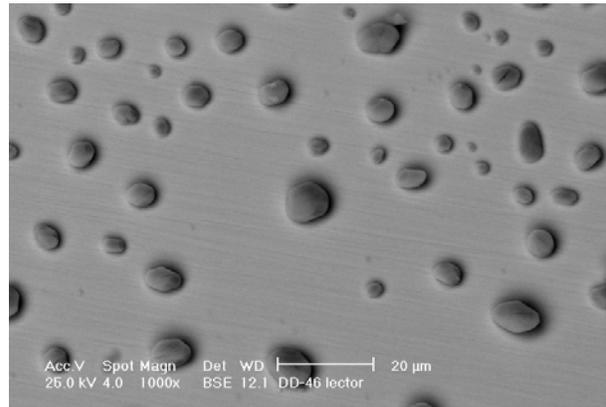
Tabla 4.9 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD

Elemento	Wt %	At %
O K	14.75	27.09
NaK	28.51	36.43
P K	3.14	2.98
ClK	10.87	9.01
K K	9.18	6.9
CaK	2.71	1.98
CrK	2.71	1.53
CoK	2.35	1.17
NiK	25.78	12.9
Total	100	100

Figura 4.31 En (a) y (b) se observan residuos de color oscuro a diferencia de los encontrados en otros dispositivos, los cuales son producto de condensado de color claro, en este disco no se encontraron daños significativos en la superficie, solo estas marcas, en la segunda imagen se puede apreciar la geometría en forma esférica del residuo. De acuerdo al espectro (c), se tiene la presencia de cloro, oxígeno y como en casos anteriores níquel.

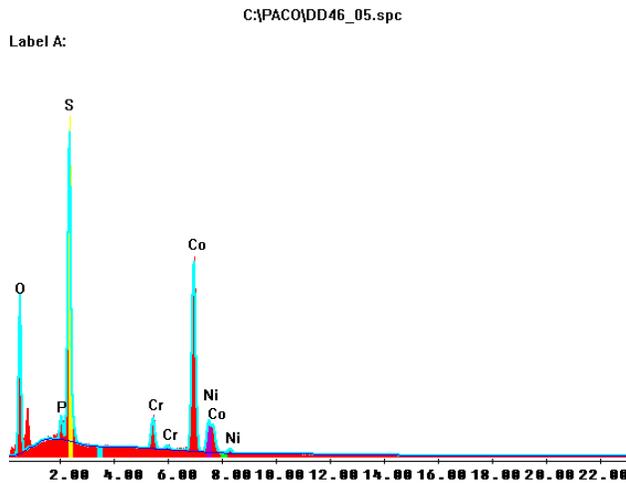


(a)



(b)

Tabla 4.10 Análisis cuantitativo de la superficie del SAMD



(c)

Elemento	Wt %	At %
O K	27.1	51.9
P K	1.74	1.73
S K	20.92	19.99
CrK	3.6	2.12
CoK	39.83	20.71
NiK	6.81	3.55
Total	100	100

Figura 4.32 En este caso en la imagen (a) y (b) aparecen las mismas marcas solo que en esta ocasión se localizaron debajo de la cabeza de lectura/escritura, por lo demás no se tiene daño significativo alguno. En el espectro mostrado (c) el material más representativo es el cobalto, así como el azufre siendo un contaminante importante de la superficie.

De acuerdo a la inspección realizada a los sistemas de almacenamiento magnético de datos, como se pudo apreciar en las imágenes tomadas tanto en estereoscopio así como mediante microscopia electrónica se confirma la presencia de corrosión sobre la superficie magnética, en algunos casos en menor proporción que en otros, esto es atribuible a las condiciones a las cuales se llevó a cabo la prueba de simulación acelerada, en primer instancia se tiene que los dispositivos sometidos en la primer prueba sufrieron daños sumamente importantes, afectando en su totalidad en su operación. A diferencia de estos dispositivos, los sometidos en la segunda etapa sufrieron un daño significativo pero no tan notorio en la estructura del plato, sin embargo a pesar de esto solo una unidad quedó en condiciones de operación de acuerdo al diagnóstico practicado.

Cabe mencionar que de acuerdo a los análisis químicos a las zonas deterioradas, el elemento más significativo fue el níquel, seguido del cromo, teniendo en todos los casos en mayores o menores proporciones oxígeno siendo indicio de la existencia de corrosión, además de encontrar ciertos contaminantes que aceleran el deterioro en la superficie del disco tales como el azufre y cloro.

Capítulo 5.

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

Este trabajo se considera como una primera etapa, de un proyecto que seguirá en desarrollo, el cual pretende analizar la problemática del deterioro que se produce bajo las condiciones ambientales típicas de la República Mexicana. Lo anterior marcó el antecedente para considerar la importancia en el análisis del daño que causa la corrosión atmosférica en los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos (discos duros) de computadoras personales.

Como primer paso se establecieron las bases para la evaluación del daño que sufren los SAMD por corrosión atmosférica; hasta el momento se ha logrado establecer una metodología para el análisis de los discos duros y con esto evaluar el deterioro sufrido tanto en condiciones normales de operación, como una vez sometidos a la simulación acelerada del deterioro por corrosión atmosférica.

La forma en que se puede corroborar el planteamiento que hace mención la metodología con respecto al análisis y evaluación del deterioro en los dispositivos se verifica en los resultados, teniendo en los dispositivos que han sido expuestos al ensayo por corrosión atmosférica de forma acelerada condiciones muy semejantes a las observadas en los dispositivos que se analizaron en condiciones normales de operación.

De acuerdo a lo planteado en la literatura con relación al deterioro por Corrosión Atmosférica que sufren los Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos, se tiene que éste se presenta en la superficie de disco, afectando el funcionamiento de los mismos, sin embargo al realizar la inspección y la evaluación tanto de los dispositivos diagnosticados con falla mecánica como los sometidos a pruebas aceleradas de corrosión, no se encontraron daños significativos en la superficie de almacenamiento magnético como se esperaba, aun cuando los ensayos se realizaron a condiciones extremas, las cuales difícilmente se podrían encontrar durante la exposición este tipo de dispositivos en condiciones normales de operación sin embargo, los sistemas de

almacenamiento magnético de datos no solo están constituidos por el plato, sino que su funcionamiento también involucra la tarjeta controladora, circuitos integrados, y elementos mecánicos.

Cabe mencionar que los resultados, son de tipo cualitativo debido a la complejidad que se tiene para la realización de las pruebas y el modelado del fenómeno, ya que las condiciones atmosféricas son variables dependiendo de la región y tipo de clima en el cual se encuentren en operación los dispositivos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el deterioro que sufren estos dispositivos se encuentra principalmente en los componentes electrónicos. En el caso de los dispositivos que no han sido sometidos a pruebas de simulación acelerada, en circuitos integrados e impresos, se encontró acumulación de polvo en terminales y en algunos casos presencia de depósitos en las terminales de los circuitos, mientras que al ser analizada la superficie del disco solo en algunos casos se tiene desprendimiento de la capa de carbono teniendo con esto discontinuidades, sobre la superficie lo cual conlleva al deterioro por corrosión formando celdas galvánicas en esa zona, siendo el níquel y cobalto los materiales más afectados y vulnerables a este fenómeno.

En los SAMD que fueron sometidos a la simulación acelerada por corrosión, los resultados no varían mucho con respecto a lo obtenido en los discos duros que no fueron sometidos al ensayo, en este caso el deterioro se manifiesta en mayor proporción en los elementos mecánicos que componen el disco duro (como el soporte del brazo y el propio brazo) creando las condiciones para que el desprendimiento de material se deposite en la superficie del plato, dando lugar a colisiones con las cabezas de lectura/escritura. El daño es evidente también en los componentes electrónicos y tarjeta controladora. Al realizar el diagnóstico una vez retirados los discos duros del simulador de corrosión, en la mayor parte de los dispositivos se determinó algún tipo de falla, tomando en cuenta que en algunos casos existió sobrecalentamiento de los circuitos integrados y en otros no giraba el disco, debido esto a que se encontraba adherido con la cabeza de lectura/escritura, quedando solo una unidad en condiciones de operación.

Se pudo constatar a simple vista que la razón de la adhesión de la cabeza se debió a la formación de depósitos en la superficie del plato. Al forzar la separación de la cabeza del plato, se

desprendió el material magnético que ocupaba el área de la cabeza. Tras revisar ésta área afectada y su contorno por microscopía electrónica se confirmó la existencia de depósitos de corrosión. Cabe mencionar que en el resto de los dispositivos se encontraron evidencias de corrosión sobre la superficie del disco, así como depósitos de condensado y salinos, lo cual debido a las condiciones en que se llevo a cabo la prueba.

En todos los casos es notorio el deterioro en circuitos impresos, pines y circuitos integrados del disco duro representando alrededor de un 50% de las fallas que causan el mal funcionamiento de estos dispositivos.

Si bien el deterioro no se da principalmente en la superficie del disco duro, la formación de depósitos en superficies de contacto en los componentes electrónicos, provocan la falta de continuidad afectando el funcionamiento del disco, teniendo pérdida de información en los SAMD.

Lo anterior indica que se tiene que realizar mejoras en el tipo de sellado ya que no se garantiza que esté totalmente hermético, lo cual se corrobora al tener residuos de condensado en el interior del disco y el deterioro de los elementos mecánicos. El tipo de sellado varía de acuerdo al fabricante encargado de la manufactura del disco, teniendo en algunos casos un mejor sellado que en otros y por consiguiente un mayor o menor deterioro en el interior de los discos duros.

La aplicación del análisis de falla dentro de la metodología en la determinación de las causas fundamentales que se presentan en campo, permiten el desarrollo de mejoras en los diseños y en los procesos de manufactura de los SAMD.

5.2 RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos, se han considerado las siguientes recomendaciones:

- 1.- Mejorar la hermeticidad del sistema, ya que con esto se minimizaría la cantidad de partículas que pudiesen introducirse al disco, así como la humedad, humo de cigarro entre otros factores que afectan el funcionamiento del disco.
- 2.- Mejorar el encapsulado durante el proceso de manufactura de los circuitos integrados con la finalidad de evitar el deterioro de los conectores de oro así como mejorar la calidad de los recubrimientos de los mismos.
- 3.- Garantizar la resistencia a la corrosión en los elementos estructurales del sistema, buscando alternativas de materiales que puedan sustituir a los elementos existentes siendo resistentes a la corrosión, sin dejar de tomar en cuenta el peso y propiedades que no afecten el funcionamiento del disco duro.
- 4.- Mejorar el acabado superficial del brazo que sostiene la cabeza.

REFERENCIAS

LIBROS

1. Cerrud, S., Jacobo, V., Ortiz, A., Schouwenaars, R. Corrosión y Protección, Facultad de Ingeniería UNAM, 2003
2. Marcus, P. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, Marcel Dekker Publisher, 2002
3. Leygraf, C., Graedel, T. Atmospheric Corrosion, John Wiley & Sons, New York, 2000
4. Bhushan Bharat. Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices, Springer-Verlag 1990
5. Guttenplan, J. D. Corrosion in the Electronics Industry. Metals Handbook, ASM International, Vol. 13,1987
6. Mariaca, R.L., Genesca, J., Uruchurtu, Ch., J. Corrosividad Atmosférica, Plaza y Valdez Editores- UNAM, 1999
7. Roberge, P.R., Handbook of Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill, USA, 2000
8. Callister, W.D., Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté, Tomo II, 2000
9. White, E., Slensky, B. Dobbs. Case Histories and Failures of Electronics and Communications Equipment. Metals Handbook, ASM International, Volumen 13,1987
10. Rice, D.W., Cappell, R. J., Kinsolving, W., Laskowski, J. Indoor Corrosion of Metals., Journal of the Electrochemical Society, Vol.127, 1980
11. Rice, D.W., Peterson, P., Rigby, E.B., Phipps, P.B.P., Cappel, R.J. and Tremoureux, R.: Atmospheric Corrosion of Copper and Silver. Journal of the Electrochemical Society. Vol 128, No 2. 1981.
12. Rice, D.W., Phipps, P.B.P., Tremoureux, R.: Atmospheric Corrosion of Nickel. Journal of the Electrochemical Society. Vol 127, No 3. 1980
13. Abbott, W. Atmospheric Corrosion of Control Equipment. The Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc. NACE International, 1993
14. Guttenplan, J., Hasimoto, L. Corrosion Control for Electrical Contacts in Submarine Based electronic equipment. Materials Performance, Vol. 18, 1978

15. Gouda, V. K., Carew, J. A., Riad, W.T. Investigation of Computer Hardware Failure due to Corrosion. *British Corrosion Journal*, Vol. 24, 192, 1989
16. ISO 9223:1992 (E). Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres-Classification. International Standard Organization, 1992
17. ISO 9226:1992. Corrosion of Metals and Alloys, Corrosivity of Atmospheres-Determination of Corrosion Rate of Standards Specimens for the Evaluation of Corrosivity. International Standard Organization, 1992
18. 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
19. Zakipour, S. Tidblad, J., Leygraf C. Atmospheric Corrosion Effects of SO₂ , NO₂, and O₃, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol 144,3513, 1997 (17)
20. Meeker, W. Q., Escobar, L.S. *Statistical Methods for Reliability Data*, John Wiley & Sons Inc, 1998
21. Abbott, W. The Development and Performance Characteristics of Flowing Mixed Gas Test Environments, *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, vol.11, 1989
22. 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
23. Wesshler, Ch., Hodgson, A., Wooley, J. *Indoor Chemistry: Ozone, Volatile Organic Compounds and Carpets*. Environmental Science and Technology. American Chemical Society Vol. 26. No 12, 1992
24. Arroyave, C., Morcillo, M., The Effect of Nitrogen Oxides in Atmospheric Corrosion of Metals., *Corrosion Science*, Vol. 37, 293, 1995 (27)
25. JEIDA-32, Japanese Electronic Industry Development Association, Standard on H₂S, Japón 1974.
26. JEIDA-25, Japanese Electronic Industry Development Association, Standard on SO₂, Japón 1974.

27. 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 (18)
28. Ortiz, A., Simulación Acelerada de la Corrosión Atmosférica en Equipo Electrónico, Tesis Doctoral, Posgrado de Ingeniería UNAM 2004
29. Strandberg, H., Johansson, L. Role of O₃ in the Atmospheric Corrosion of Copper in the Presence of SO₂. Journal of the Electrochemical Society Vol. 144, No. 7, 1997

INTERNET

30. <http://www.dataclinic.co.uk/hard-disk-failures.htm>
31. http://www.brienposey.com/kb/hard_disk_failure_1.asp
32. <http://www.hddtech.co.uk/Standardfailures.htm>
33. <http://www.fortunecity.com/marina/reach/storage.html>