



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE FALLAS QUE POR EFECTO  
DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA SE  
PRESENTAN EN DISCOS DUROS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**P R E S E N T A:**

**ALVARO ENRIQUE CONTRERAS GARCÍA**



**DIRECTOR DE TESIS  
DR. ARMANDO ORTIZ PRADO**

**CD. UNIVERSITARIA**

**2008**



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO</b> .....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Fundamentos de Corrosión.....	5
1.2.1 Clasificación del Fenómeno de Corrosión.....	5
1.3 Costos debidos a la Corrosión.....	6
1.4 Conceptos Básicos de Corrosión Atmosférica.....	7
1.5 Etapas de la Corrosión Atmosférica.....	9
1.6 Efecto de la Temperatura.....	9
1.7 Tipos de gases Atmosféricos y su Efecto en la Corrosión Atmosférica.....	9
1.8 Efecto de las Partículas.....	11
1.9 Corrosión en Interiores.....	11
1.10 Efecto de la Corrosión atmosférica en Dispositivos Electrónicos.....	12
<b>CAPÍTULO 2 UNIDADES DE ALMACENAMIENTO MAGNETICO DE DATOS - DISCOS DUROS</b> .....	14
2.1 Principios de Operación del Almacenamiento Magnético.....	14
2.1.1 Tipos de dispositivos de Almacenamiento Magnético de Datos .....	16
2.2 Definición de Disco Duro .....	17
2.3 Estructura de un Disco Duro .....	17
2.3.1 Organización de la Información.....	18
2.3.2 Componentes de un Disco Duro .....	19
2.4 Funcionamiento Básico de un Disco Duro .....	23
2.5 Evolución Tecnológica en el Diseño, Manufactura y Materiales de los Discos Duros .....	23
2.5.1 Introducción.....	23
2.5.2 Diseño y Materiales Empleados en la Fabricación de Discos.....	27
A) Medio Magnético.....	28
B) Cabeza de Lectura/Escritura.....	32
C) Tarjeta Controladora.....	36
1) Circuitos Integrados.....	37
2) Tarjeta de Circuitos Impresa.....	39
3) Conectores Electrónicos.....	40
4) Materiales Usados en el Encapsulamiento electrónico.....	40

### **CAPÍTULO 3 DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS EN DISCOS DUROS.....41**

3.1	Introducción .....	41
3.2	Falla Electrónica .....	42
3.3	Falla Mecánica .....	42
	3.3.1 Efectos de la miniaturización en la IMCP .....	44
	3.3.2 Efectos de la contaminación en la IMCP .....	47
	A) Generación de Partículas.....	47
	B) Vapores y Compuestos Orgánicos Volátiles .....	50
	C) Absorción de Humedad.....	51
3.4	Falla Lógica.....	53
3.5	La Corrosión Atmosférica como causa de Falla en componentes de un Disco Duro.....	53
	3.5.1 Problemas más Comunes en la Fabricación de Equipo Electrónico.....	54
	3.5.2 Tipos de corrosión en Dispositivos Electrónicos .....	55
	3.5.3 Problemática .....	57

### **CAPÍTULO 4 DETERMINACIÓN DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISCOS DUROS.....61**

4.1	Introducción.....	61
4.2	Mecanismos a través de los cuales se genera Corrosión Atmosférica en los Discos Duros.....	64
4.3	Metodología para Determinar el Efecto de la Corrosión Atmosférico en el Deterioro de los Discos Duros .....	67
	4.3.1 Metodología para la Evaluación del Deterioro en UDD.....	72
4.4	Evaluación y Efecto de la presencia de Corrosión Atmosférica en Discos Duros .....	75
	A) Inspección Visual.....	75
	B) Inspección a Bajos Aumentos (1 a 32X).....	76
	C) Inspección por Microscopía Electrónica.....	79
	1) Análisis Químico de la Superficie de los Platos de los Discos Duros.....	80
	2) Análisis Químico de las Cabezas de Lectura/Escritura de los Discos Duros.....	82

### **CAPÍTULO 5 SIMULACIÓN ACELERADA DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISCOS DUROS.....86**

5.1	Introducción.....	86
5.2	Justificación e Importancia de los Ensayos de Simulación Acelerada en Discos Duros.....	87
5.3	Requerimientos Necesarios de un Ensayo para la Simulación Acelerada por Corrosión Atmosférica.....	89
5.4	Diseño y funcionamiento de la Cámara de Simulación Acelerada de Corrosión Atmosférica.....	89

5.5	Definición de los Requerimientos para la realización del Ensayo de Simulación Acelerada por Corrosión Atmosférica.....	92
5.6	Ensayos de Simulación Acelerada por Corrosión Atmosférica en Discos Duros.....	95
5.7	Determinación de la Existencia de corrosión en Discos duros.....	97
	5.7.1 Evaluación del Deterioro en Unidades de Disco Duro para 50 Ciclos .....	98
	A) Inspección Visual .....	98
	B) Inspección a Bajos Aumentos (1 a 32X) .....	100
	C) Inspección por Microscopía Electrónica .....	102
	1) Análisis Químico de la Superficie de los Platos de los Discos Duros .....	102
	2) Análisis Químico de las Cabezas de Lectura/Escritura de los Discos Duros .....	106
	5.7.2 Evaluación del Deterioro en Unidades de Disco Duro para 100 Ciclos.....	107
	A) Inspección Visual .....	107
	B) Inspección a Bajos Aumentos (1 a 32X) .....	109
	C) Inspección por Microscopía Electrónica .....	111
	1) Análisis Químico de la Superficie de los Platos de los Discos Duros .....	111
	2) Análisis Químico de las Cabezas de Lectura/Escritura de los Discos Duros .....	114
	3) Análisis Químico en Terminales de Conexión (pines) .....	116

**CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....118**

**REFERENCIAS.....123**

---

## **ABREVIATURAS**

UDD - Unidad de disco duro  
IMCP - Interfase magnética Cabeza-Plato  
EM - Espacio magnético  
DLC - Del inglés: Diamond-like Carbon  
CMR - Cabezas de lectura/escritura del tipo Magnetoresistiva  
CPC - Capa protectora de Carbono  
TCI - Tarjeta de Circuitos Impresa  
CI - Circuito Integrado  
C. de L/E - Cabeza de Lectura y Escritura  
TC - Tarjeta Controladora de la Unidad de Disco Duro  
DES - Descarga Electrostática  
AT - Aspereza Térmica

# INTRODUCCIÓN

La corrosión es la degradación de los materiales para adoptar estados más estables en la naturaleza, siendo la corrosión metálica un fenómeno electroquímico provocado por el ambiente. Se puede considerar a la corrosión atmosférica como una forma o un tipo de corrosión que resulta de la interacción de una atmósfera natural y un material metálico expuesto en la misma. Por atmósfera natural debe entenderse tanto la exterior como la interior. Las características físicas más importantes de una atmósfera natural son la temperatura y la humedad relativa. Por lo tanto, los factores que afectan principalmente a los materiales desde el punto de vista de su exposición a la atmósfera son los climáticos y químicos.

Los materiales expuestos a la atmósfera sufren daños directamente por corrosión, como por ejemplo problemas derivados de la propia interacción con la humedad, gases contaminantes, cloruros y agentes catalíticos como el ozono y la luz ultravioleta. Estos daños dependen de la composición característica de la atmósfera (tipos de contaminantes y su concentración), variación de la temperatura, así como de la sensibilidad de cada material a las condiciones del ambiente.

Los principales contaminantes gaseosos, desde el punto de vista de corrosión atmosférica son el O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y el Cl en varias formas. Estos se encuentran en cantidades abundantes en regiones donde existe una alta densidad de población, y/o concentraciones de plantas productivas. Además de los contaminantes mencionados, juegan un papel fundamental el grado de humedad del ambiente y la variación de temperatura.

En las últimas tres décadas se han logrado grandes avances en el perfeccionamiento de los métodos analíticos para estudiar y cuantificar los productos de corrosión y tener una respuesta completa con relación a los parámetros ambientales y su relación con los efectos producidos por la corrosión. Esto lleva a un conocimiento integral acerca de los productos de la corrosión, así como los parámetros ambientales que intervienen. Sin embargo, aún no son completamente conocidas las velocidades con que ocurren las reacciones en los procesos de corrosión, esto resulta ser bastante complejo, ya que se involucran reacciones químicas no solo con la superficie del metal, sino también con los productos de corrosión de manera simultánea. Entender los procesos de deterioro de los materiales es esencial para la conservación de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Cuando se habla de corrosión, se hace referencia a la degradación, disminución o pérdida de las propiedades de interés que debe presentar un material cualquiera en la aplicación específica a la que ha sido destinado, como resultado de la interacción con el medio al que se encuentra expuesto. Los problemas de corrosión en componentes y dispositivos electrónicos en la industria electrónica, son ocasionados por la interacción de los factores climáticos y ambientales.

Dentro de las diversas condiciones ambientales, la humedad y los contaminantes atmosféricos, principalmente las sustancias ionizables, son hace mucho tiempo, reconocidas como notables fuentes de problemas de confiabilidad en equipos, componentes y empaquetamientos electrónicos. Los principales mecanismos de degradación, que pueden ser causados por esos parámetros, son los procesos de corrosión de los materiales metálicos (revestimientos, conductores, conectores etc.), que pueden ser inducidos por la humedad en conjunto con los contaminantes ambientales y las alteraciones de las propiedades físicas y eléctricas de los materiales poliméricos y cerámicos (aislantes, encapsulantes, etc.), debido a la absorción de agua.

El buen desempeño de los componentes electromecánicos, durante la vida útil proyectada, depende de su capacidad de soportar la agresividad ambiental en cada una de las etapas de su ciclo de vida. En regiones con condiciones climáticas adversas, los fabricantes y usuarios conviven con problemas de confiabilidad y degradación acelerada, que se encaminan a soluciones de alto costo y baja eficiencia, tales como mantenimiento preventivo y correctivo más frecuentes, acondicionamiento ambiental energéticamente costoso, refuerzo en el encapsulamiento y selladura de componentes sensibles e inutilidad de elementos funcionales.

El hecho de que un producto no satisfaga alguno de los aspectos de su calidad intrínseca, normalmente se representa con una falla que puede resultar en consecuencias con diferentes grados de gravedad, pudiendo ir desde pérdida de información personal, fallas en la computadora de viaje de un vehículo hasta grandes pérdidas financieras y de vidas humanas relacionadas por ejemplo con la falla de los sistemas de seguridad de las aeronaves y vehículos.

Como resultado, los fenómenos de corrosión se han constituido en un serio problema científico y tecnológico, relacionado con muy diversos frentes de la actividad humana. La importancia que posee el problema de la corrosión, en cualquiera de sus formas es muy grande ya que no solo es el daño directo que este fenómeno pueda provocar, también provoca inconvenientes colaterales que pueden transformarse en accidentes fatales o en paros de la producción, entre otros.

Quizás la incidencia más significativa se encuentra en los aspectos económicos, técnicos, ambientales y de la salud. Afectan a las personas, a las empresas y a las más diversas comunidades. Los daños causados por la corrosión y degradación de los materiales representan una pérdida significativa en términos económicos de un rango de 2 al 5% del producto interno bruto (P.I.B.) de un país industrializado como son los Estados Unidos o la Comunidad Económica Europea. De esta cantidad, aplicando diferentes técnicas de prevención se pueden ahorrar aproximadamente un 40%, el resto es imposible de evitar. Cabe mencionar que esta cifra aumenta al 8% en países en vías de desarrollo como el caso de México. Por esta razón se derivan suficientes elementos que justifican el estudio de los mecanismos que provocan el deterioro de los materiales por efectos ambientales.

Durante las últimas dos décadas, la producción mundial del sector electrónico ha crecido más rápido que cualquier otro sector industrial. Esto ha suscitado una competencia del mercado mundial, que ha conllevado a desarrollar avances tecnológicos, principalmente en el área de la electrónica, donde se fabrican cada vez, componentes más pequeños, robustos y con una mayor cantidad de operaciones. La tendencia a la miniaturización de la tecnología es líder en el desarrollo de equipos electrónicos como los teléfonos celulares, organizadores electrónicos personales y microcomputadoras, principalmente. Los materiales usados en componentes electrónicos, son a base de aleaciones de aluminio (circuitos integrados con pequeños conductores), contactos de cobre electro-plateados con níquel, oro para mejorar la resistencia a la corrosión. Las características de los equipos electrónicos modernos contemplan factores de alto voltaje, rapidez en las operaciones, corrientes muy pequeñas, miniaturización y son extremadamente sensibles a los agentes corrosivos. Esto puede llevar a generar algunas fallas técnicas debido a los agentes contaminantes atmosféricos que atacan los materiales metálicos de los dispositivos electrónicos. Los dispositivos electrónicos sufren de una variedad de problemas en las áreas de conducción de sus películas superficiales por contaminantes del aire. Cuando se combinan los agentes atmosféricos con variaciones de humedad y temperatura, los materiales metálicos electrónicos, disminuyen la resistencia a la corrosión de los conectores y rutas de conductividad. Esto origina la formación de filamentos metálicos, que crecen entre las rutas de conducción en circuitos rígidos y flexibles y entre terminales metálicas (pines) o uniones.



En 2002, por ejemplo, se estimó que más del 90% de toda la nueva formación producida se guardó en medios magnéticos, la mayoría de esta información en los discos duros. Es por consiguiente crítico mejorar la comprensión de estos componentes y qué factores son asociados a las fallas. Esta comprensión puede ser particularmente útil para mejorar el diseño de sistemas del almacenamiento así como del desarrollo de formas y estrategias de mantenimiento.

Es por esto que se planteó desarrollar este trabajo de tesis que comienza con una introducción general, en su primer capítulo, a los conceptos básicos referentes a la corrosión y sus implicaciones de que ella surgen haciendo especial énfasis en la influencia hacia los componentes electrónicos. El segundo capítulo presenta las características básicas del almacenamiento magnético además de la estructura, funcionamiento, materiales y evolución tecnológica que han sufrido las unidades de almacenamiento magnético mejor conocidos como discos duros. En la tercera parte se plantea una clasificación de las principales fallas que se presentan en los discos duros así como su modo y mecanismos de falla y su relación con el fenómeno corrosivo. El capítulo cuarto está dedicado a la determinación evaluación y efecto, si es que existe, que tiene la corrosión atmosférica en los discos duros en servicio, esto mediante la implementación de una metodología propuesta para tal efecto. La quinta parte de este trabajo se enfoca en el planteamiento de un ensayo de simulación acelerada de corrosión atmosférica en discos duros analizando las principales diferencias de esta prueba con los resultados obtenidos en la sección anterior. Finalmente la última parte de esta tesis está enfocada a analizar los resultados obtenidos del estudio, y el efecto que tiene la corrosión atmosférica en los componentes de un disco duro. De los resultados obtenidos, dar a conocer datos y propuestas que contribuyan a minimizar los efectos negativos debidos de la interacción con el medio ambiente.

## **OBJETIVOS:**

- Identificar los efectos de ambientes naturales y agresivos sobre los componentes electrónicos de la unidad de disco duro (UDD).
- Conocer, clasificar, y describir las fallas más comunes en UDD, causadas por la agresividad ambiental así como por ensayos acelerados de corrosión atmosférica.
- Realizar un análisis e inspección de cada uno de los especímenes encontrados en campo, evaluando el deterioro sufrido por agentes tales como humedad del ambiente, cambios de temperatura, partículas contaminantes, gases corrosivos.
- Simular, a través de ensayos acelerados, los procesos de la corrosión atmosférica bajo ambientes industriales y urbanos en UDD.
- Divulgar metodologías, resultados, conclusiones y recomendaciones para contribuir al conocimiento de los mecanismos del deterioro por efecto de la corrosión atmosférica en UDD.

# CAPÍTULO 1

## *MARCO TEÓRICO*

---

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

El proceso de corrosión o deterioro de un material está presente desde la etapa de su obtención hasta el final de su ciclo de vida para el cual fue concebido. La acción del medio ambiente así como el uso continuo de los materiales pueden provocar en ellos una serie de alteraciones que se reflejan en una pérdida gradual de sus propiedades tanto físicas como químicas lo cual se traduce en una disminución de su vida útil. Como ejemplo, los metales utilizados en ambientes agresivos como en medios ácidos, agua salada, temperatura y humedad cambiante, incluso en atmósferas urbanas se ven sometidos a procesos de oxidación y corrosión que provocan su deterioro y la pérdida progresiva de sus propiedades iniciales que dan como resultado la presencia de una falla en su funcionamiento con diferentes niveles de gravedad que van desde su inutilidad hasta grandes pérdidas económicas e incluso humanas.

La presencia de ciertos contaminantes atmosféricos refuerza la corrosión por consiguiente la reacción de la superficie en presencia de humedad forma especies corrosivas y/o productos de corrosión. Sus propiedades son diferentes para cada metal y por lo tanto la conducta corrosiva varía. Hay también una gama amplia de micropartículas atmosféricas que incluyen varios compuestos de sulfatos, cloruros, nitratos, sodio, amonio, potasio, magnesio, y calcio. Estas partículas se depositan en las superficies y reaccionan con la humedad para formar electrolitos corrosivos. Los iones de sulfato y amonio son los que más se encuentran en las partículas provenientes de ambientes externos y de interiores. Otra fuente de contaminación son los gases químicos de los materiales orgánicos.

La corrosión en la industria electrónica se ha vuelto un problema característico de los recientes años debido a los sistemas sumamente complejos que se han desarrollado además de una creciente demanda en su fiabilidad<sup>1</sup>. Los adelantos tecnológicos han producido el desarrollo de componentes sofisticados con espacios más estrechos entre ellos, en consecuencia niveles sumamente bajos de contaminantes corrosivos puedan causar su falla, es por ello que en los dispositivos electrónicos, los problemas de deterioro son a escala pequeña, se presentan en pequeños componentes como contactos, conectores, circuitos integrados o sus componentes, su origen puede ser eléctrico, magnético, mecánico o químico, y en este último caso, lo usual es que sean problemas de corrosión atmosférica [Knotkova D, et al., 1995].

El desempeño de un producto en el tiempo sin incidentes y bajo condiciones indicadas es conocido como confiabilidad el cual incluye las expectativas del usuario por la calidad del producto, una vez que esas expectativas son cumplidas, la confiabilidad de un producto pasa a depender principalmente de su interacción con el medio ambiente durante su ciclo de vida como son: las etapas de fabricación, transporte, instalación, operación e inutilidad.

---

<sup>1</sup> Se define como fiabilidad a la probabilidad del buen funcionamiento de algo.

Los efectos ambientales sobre el equipo electrónico pueden ser de naturaleza física, química o biológica y resultan de la acción de uno o más parámetros ambientales que de forma separada o en forma conjunta exceden un valor límite, en el cual dicho equipo sufre deterioro. La incorporación de dispositivos electrónicos en todos los sectores de la sociedad da como resultado que esos dispositivos estén expuestos a todos los ambientes existentes y deban soportar las más variadas condiciones climáticas, manipulación y operación. Es por ello la importancia del estudio de su comportamiento para diferentes condiciones de uso y condiciones ambientales.

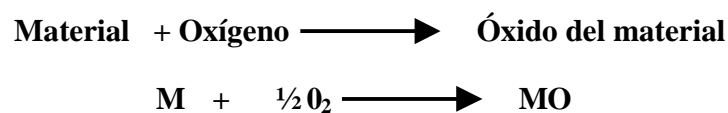
## 1.2 FUNDAMENTOS DE CORROSIÓN.

La corrosión metálica es el deterioro que ocurre cuando los metales se exponen a ambientes reactivos. El término corrosión se aplica a aquellos procesos que conducen a la destrucción química o electroquímica de un metal. Desde un punto de vista físico se considera a la corrosión por sus efectos en los diferentes metales, en las sustancias que quedan y en particular en el caso de la ingeniería en la alteración y destrucción de materiales metálicos que da como resultado la incapacidad de funcionar bajo las sollicitaciones aplicadas. Es preciso mencionar que el término solo es aplicable a los metales ya que para los polímeros y cerámicos el término usado es el de degradación; en el deterioro de los materiales metálicos siempre existe un medio agresivo circundante que hace referencia a los procesos de corrosión. Todos los materiales metálicos expuestos a la atmósfera presentarán deterioro a causa del fenómeno corrosivo, ya que se ven afectados por la humedad, gases contaminantes, cloruros, agentes orgánicos volátiles; actuando el ozono y la luz ultravioleta como catalizadores además se debe considerar también la presencia de partículas atmosféricas [Cerrud S, et al., 2003].

Uno de los factores que determina principalmente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. Compuestos como son el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y el Cl en diferentes formas se consideran los agentes corrosivos más comunes desde el punto de vista de la corrosión atmosférica, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) proveniente del empleo de combustibles que contienen azufre [Gold G., 1990].

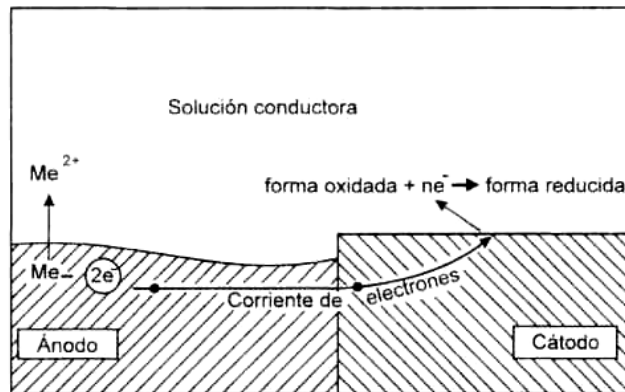
### 1.2.1 CLASIFICACIÓN DEL FENÓMENO DE CORROSIÓN.

En *corrosión química* o directa, no se requiere la existencia de un medio de conductividad electrolítica, se da una reacción química entre el metal y el medio ambiente, como por ejemplo, cuando un material se combina con el oxígeno, transformándose en óxidos:



Este tipo de corrosión ocurre fundamentalmente a elevadas temperaturas, en donde no existe la posibilidad de que se presente una película de humedad sobre el material metálico.

Para que ocurra *corrosión electroquímica*, se requiere la existencia de un medio de conductividad electrolítica, que permita la formación de pilas electroquímicas, en donde el metal se disuelve en las partes anódicas, y en las zonas catódicas se produce el proceso catódico. En la Figura 1.1, se muestra un esquema de éste tipo de corrosión.



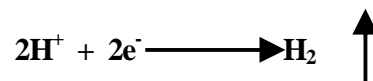
**Figura 1.1** Esquema del mecanismo de corrosión electroquímica. [Rocha J., 2003]

La reacción en la zona anódica siempre será la disolución del material metálico, de acuerdo a la siguiente reacción genérica:



Donde: M es el material metálico, y n es el número de electrones que participan en la reacción.

En la zona catódica, son muchas las posibilidades de reacciones de reducción, empero, las más importantes pueden ser:



Que corresponde a la descarga de hidrógeno en medios ácidos o en medios sin  $O_2$ .

El proceso anódico y el proceso catódico pueden ocurrir muy cerca uno del otro o muy lejos, pero para que se lleve a cabo la corrosión se deben presentar ambos procesos y la existencia del medio. Este proceso es espontáneo, debido a que los cambios químicos en el ánodo y el cátodo individualmente generan un potencial eléctrico, y que al unirse, se produce una diferencia energética entre ellos.

### 1.3 COSTOS DEBIDOS A LA CORROSIÓN.

Las pérdidas generadas por los procesos corrosivos son considerables, y se incrementan al introducir sistemas que eviten el deterioro que dependerá de las necesidades y aplicaciones para las que ha sido diseñada una pieza de un determinado material. El fenómeno que genera mayor porcentaje de pérdidas en corrosión es la corrosión atmosférica, puesto que existe una gran cantidad de material metálico expuesto a diferentes atmósferas.

Según reporta la literatura están entre el 2 y 5% del producto interno bruto (PIB) para los países industrializados como Estados Unidos o la Comunidad Económica Europea, la corrosión atmosférica representa un 50% de estas cantidades. Es por esta razón que es necesario conocer los fenómenos de corrosión atmosférica, cuyos factores influyen fuertemente en el proceso y como enfrentarlos.

Algunas de las más importantes fuentes de costos indirectos son:

- Paradas de plantas y equipos
- Pérdida de sustancias
- Pérdida de eficiencia
- Contaminación
- Sobrediseño

Dentro del campo de la corrosión, importante es la prevención y la elección adecuada de los materiales a utilizar en un entorno determinado, y en función de las características de su atmósfera, es la de diseñar planes de mantenimiento que prevengan y protejan del ataque corrosivo.

A pesar de la alta sensibilidad de los componentes y equipos electrónicos, sus problemas de corrosión muchas veces pasan desapercibidos y no son detectados, porque se maneja la idea de qué simplemente el dispositivo falló y es necesario sustituirlo. Por otro lado, la vida en servicio de la mayoría de los componentes, aunque pueda ser baja, logra superar el período de vigencia tecnológica del equipo, de manera que éste se torna obsoleto y es descartado antes de ser deteriorado por el ambiente. Las anteriores son razones de suficiente peso como para no tener datos claros de los costos globales que son muy difíciles de determinar en muchos casos, ocasionados por la corrosión de los materiales usados en la electrónica.

#### **1.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.**

Se define a la corrosión atmosférica como el deterioro sufrido en los materiales metálicos que se encuentran en contacto con el aire, y por ende, con los constituyentes y contaminantes de éste produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas, cambios en la geometría de las estructuras y componentes que les hacen perder la función para la cual estaban diseñados ocasionando pérdidas:

- 1) Directas, como el cambio de estructuras y equipos corroídos.
- 2) Indirectas, como la pérdida de producción por suspensión temporal de las instalaciones, sistemas productivos y la contaminación de los bienes creados.
- 3) De recursos naturales.
- 4) De bienestar y vidas humanas.
- 5) De la eficiencia.
- 6) Sobredimensionamiento.

## 7) Aumento de los costos de explotación.

Este proceso se desarrolla en medio acuoso y su mecanismo es electroquímico. Se realiza no solamente una transferencia de masas durante la reacción química, sino también un intercambio de partículas cargadas (electrones y iones) en la interfase metal (conductor electrónico) y electrolito (conductor iónico). El flujo de electrones (corriente eléctrica) ocurre debido a la formación de múltiples celdas galvánicas en la superficie del metal.

Los factores más significativos que promueven la corrosión atmosférica son [Roberge P, 2000]:

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

Considerando las características de los fenómenos que dan lugar a la Corrosión Atmosférica se pueden distinguir las siguientes situaciones [Leygraf C., et al., 2000]:

- a) *Corrosión atmosférica seca.* En este caso no existe evidencia visible de la capa de electrolito sobre la superficie del metal sometido a corrosión. La composición de la solución varía sensiblemente en función del tiempo.
- b) *Corrosión atmosférica bajo condiciones de humedad moderada.* En este caso hay evidencia de una capa de electrolito pero su influencia depende del periodo de exposición.
- c) *Corrosión atmosférica bajo condiciones de humedad apreciable.* Las condiciones de las reacciones son similares al caso (b). Se considera que el espesor del electrolito es suficiente para que la composición de éste no se modifique por efecto de las reacciones de reducción y oxidación.

La corrosión atmosférica puede ocurrir básicamente en dos formas:

*Corrosión uniforme (corrosión general):* La corrosión uniforme es típica para la corrosión de aceros al carbono bajo y cobre. Esta forma de corrosión se desarrolla en una forma similar sobre toda la superficie del metal, con velocidad uniforme.

*Corrosión Localizada:* Usualmente ocurre en lugares específicos de la superficie metálica, donde el proceso de la corrosión se agrava más con el tiempo, representándose en una corrosión acelerada. Este tipo de corrosión se conoce como Corrosión por Picadura y se puede observar en aluminio y sus aleaciones, zinc, aceros inoxidable, níquel y otros metales.

Cabe mencionar que para que se presente el fenómeno de corrosión atmosférica, además de los contaminantes mencionados, es necesaria la presencia de la humedad en el ambiente y la variación de temperatura. La severidad de la corrosión atmosférica varía específicamente dependiendo del ambiente; comúnmente estos ambientes se clasifican como Industrial, Urbano, Marino, Rural o combinaciones de éstos. 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.

### **1.5 ETAPAS DE 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 fase acuosa se ejerce no solamente como medio propicio para las reacciones electroquímicas, sino también como un solvente para los constituyentes atmosféricos sean gases o partículas. El tiempo requerido para lograr un estado estable de corrosión puede tomar varios años.

En etapas subsecuentes del proceso la fase acuosa actúa no solamente como un medio propicio para las reacciones electroquímicas, sino también como un solvente para los componentes atmosféricos, sean gases o partículas.

### **1.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA.**

La cinética de la corrosión está intrínsecamente ligada con la temperatura, por lo que se considera que cuando ésta se incrementa, la velocidad de corrosión también lo hace. Por otra parte 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. Cabe destacar que 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 el caso de atmósferas interiores, cuando se cuenta con sistemas de acondicionamiento de aire, se pueden presentar problemas si los sistemas no cuentan con deshumidificadores, ya que al enfriar el aire (sin eliminar la humedad) se incrementa la humedad relativa, todo lo cual se traduce en un incremento de la agresividad del ambiente.

### **1.7 TIPOS DE GASES ATMOSFÉRICOS Y SU EFECTO EN LA GENERACIÓN DE LA CORROSIÓN.**

El impacto de las actividades humanas en la atmósfera es evidente, esto a causa principalmente por la generación de gases que se liberan a la atmósfera cambiando su composición y produciendo un efecto apreciable sobre las personas y el medio ambiente, resultado de dichas actividades se pueden mencionar por ejemplo el adelgazamiento de la capa de ozono y el cambio climático global entre otros. Se sabe de ocho gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ , ácidos orgánicos) que existen comúnmente en la atmósfera tienen efecto en la generación del fenómeno de la corrosión además de otros reactivos de importancia para este trabajo. A continuación se mencionan las particularidades de los ocho gases que influyen de manera significativa en la generación del fenómeno corrosivo y otros constituyentes reactivos del medio ambiente.

**Tabla 1.1. 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”**

	<b>CONSTITUYENTE</b>	<b>FUENTES COMUNES</b>
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono	Respiración de las biocenosis y, sobre todo, en las combustiones de productos fósiles (petróleo y carbón). El nivel de CO <sub>2</sub> en la atmósfera esta aumentando, debido el desarrollo industrial.
O <sub>3</sub>	Ozono	Procesos atmosféricos fotoquímicos que involucra óxidos de nitrógeno e hidrocarburos oxigenados, emisiones de automóviles, filtros electrostáticos, etc. Molécula formada por 3 átomos de oxígeno y es una forma alotrópica del oxígeno. Químicamente es muy activo, es un oxidante muy fuerte, al ser muy sensitivo a la radiación ultravioleta, puede dar lugar a un átomo de oxígeno que al combinarse con una molécula de agua forma radicales hidróxido.
NH <sub>3</sub>	Amoníaco	Por acción de las bacterias aunque también es manufacturado. Es una fuente importante de nitrógeno. Es soluble en el agua, por lo que se puede presentar como depósito húmedo, y al combinarse con el (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> da lugar al sulfato de amonio ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). La elevada solubilidad del amoniaco da origen a variaciones de su concentración en la atmósfera.
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrógeno	Conformado por el nitrógeno y oxígeno que incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ). El término NO <sub>x</sub> se refiere a la combinación de estas dos sustancias. Las fuentes principales de emisión antropogénica la quema de combustibles fósiles. La concentración de NO <sub>2</sub> contribuye a la formación de lluvia ácida y al deterioro de equipo electrónico ya que éste acelera la corrosión del cobre, plata y afecta al oro.
H <sub>2</sub> 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 <sub>x</sub>	Óxidos de azufre	Combustión de combustibles fósiles, emisiones de autos, fusión de minerales, manufactura de ácido sulfúrico, humo de tabaco. Se le considera uno de los gases más importantes para la corrosión atmosférica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire.
HCl	Ácido clorhídrico	Emisiones de automóviles, combustión, procesos oceánicos, combustión de polímeros. Es un líquido altamente corrosivo que ataca a la mayoría de los metales obteniendo como sub-producto el hidrógeno y por ende de suma importancia en el origen de la corrosión atmosférica.
A. fórmico HCOOH y A. acético CH <sub>3</sub> COOH	Ácidos orgánicos	La combustión incompleta de madera, de vegetación en general y las reacciones fotoquímicas del smog. Son corrosivos a la mayoría de los metales industriales. Son altamente solubles en agua, en donde se disuelven parcialmente.
C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>	Hidrocarburos	Emisiones de automóviles, procesamiento de combustibles fósiles, humo de tabaco, tratamiento de agua, microbios, fuentes naturales, molinos de papel.
HF	Acido Fluorhídrico	Manufactura de: fertilizantes, aluminio, cerámicos, aceros, dispositivos electrónicos, combustibles fósiles.
N <sub>2</sub>	Nitrógeno orgánico activado	Emisiones de automóviles, desperdicio de animales, combustión de vegetales, aguas negras, pulpa de madera.
CO	Monóxido de carbono	Combustión, emisiones de automóviles, microbios, árboles y pulpa de madera
Cl <sub>2</sub> , ClO <sub>2</sub>	Cloro Dióxido de cloro	Manufactura de cloro, manufactura de aluminio, molinos de papel, descomposición de desechos, productos de limpieza
HBr, HI	Componentes Halogenados	Emisiones de automóviles
Cl <sup>-</sup>	Iones cloro	Contenido de aerosoles, procesos oceánicos, procesamiento de minerales.
	Polvo	Cristal de roca, combustión, fuentes industriales diversas.



## 1.8 EFECTO DE LAS PARTÍCULAS.

La dinámica, composición y comportamiento de las partículas (líquidas o sólidas) que se encuentran suspendidas en la atmósfera es un problema complejo, sin embargo es necesario conocer su comportamiento a consecuencia del efecto que tiene en la velocidad de corrosión una vez depositadas en la superficie.

Las partículas se producen por la condensación de gases de baja volatilidad seguida de coalescencia o por efectos mecánicos (partículas de grandes dimensiones). Al igual que con los gases las partículas se depositan cuando entran en contacto y son retenidas por la superficie (depósito seco). De acuerdo a su génesis 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.

Las partículas desde el punto de vista de su origen se clasifican en:

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

Una de las características de las partículas que más influye en su efecto sobre el deterioro de las superficies metálicas, sobre las cuales se depositan, es su comportamiento higroscópico, transformándose así de sólidos a gotas con una elevada concentración de contaminantes [Guttenplan J., et al., 1978]. 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.

Su carácter higroscópico modifica las condiciones de las superficies sobre las cuales se depositan, de tal forma que si las partículas están distribuidas en la superficie, pueden dar lugar a capas de varios cientos o miles de moléculas de agua de espesor, situación que modifica sensiblemente la química de las reacciones, de una película de pequeño espesor a química de capa gruesa, condición a la que habrá que adicionar la concentración de las especies corrosivas en el electrolito.

## 1.9 CORROSIÓN EN INTERIORES.

En general, la corrosión y el deterioro de materiales en atmósferas interiores son notablemente inferiores respecto a la intemperie. La corrosión atmosférica en interiores tiene lugar bajo los mismos principios que en atmósferas abiertas; sin embargo, su velocidad es, en general, considerablemente inferior. Las precipitaciones están ausentes (lluvia, nieve, etc.). La presencia de humedad por condensación o formación de rocío se debe a la absorción de la humedad del aire. La corrosión en interiores varía en función de la deposición en la superficie de gases y partículas. La humedad relativa interior depende de las condiciones de ventilación, de la existencia o no de aire acondicionado o calefacción, de la presencia de deshumificadores, del aislamiento térmico y otros factores.

Los componentes electrónicos están en su mayor parte en condiciones interiores y de esta manera protegidos de una exposición directa del ambiente exterior. En este caso el proceso de diseño desempeña un papel importante, como una etapa preliminar de su manufactura, pues fallas por corrosión en circuitos impresos, circuitos integrados u otros componentes, han sido detectados, incluso en ambientes con niveles de humedad y contaminación extremadamente bajos. Ya que la corrosión ocurre cuando humedad está formada sobre la superficie del metal (tiempo de humectación), el aspecto de diseño adecuado de los equipos electrónicos recibe una gran atención actualmente, para que se reduzcan las posibilidades de entrada y condensación de humedad.

Sin embargo, el proceso de humectación depende también de otros factores, incluyendo la temperatura del material, los contaminantes atmosféricos, la naturaleza del material y su actividad, rugosidad y composición, el complejo temperatura-humedad relativa del medio ambiente, etc.

### **1.10 EFECTO DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.**

La agresividad del ambiente depende de varios factores que al combinarse dan lugar a la presencia de fallas o deterioro considerable en los materiales, así mismo las propiedades de estos juegan un papel determinante en la velocidad con que el deterioro puede mostrarse.

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 son determinantes en las fallas detectadas en dispositivos electrónicos.

Los contactos eléctricos, circuitos impresos, y conectores son sumamente sensibles a la exposición atmosférica corrosiva y contaminación de la superficie asociadas con el ataque corrosivo. La presencia de menos de 1 microgramo de producto de corrosión en la superficie de un conector es en algunos casos, una cantidad suficiente para interrumpir el flujo de electrones entre los contactos, dando como resultado un componente inservible. Los contaminantes de la superficie que afectan el funcionamiento de electrónica están casi por todas partes: zonas con niveles altos de contaminación atmosférica, áreas de almacenamiento, ambientes industriales, oficinas comerciales y ambientes húmedos.

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, ácido sulfhídrico, 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. Principalmente, el deterioro electrónico es debido al crecimiento de filamentos de óxidos en los materiales metálicos, dichos filamentos pueden ser compuestos metálicos o inorgánicos. Aunque este comportamiento todavía está bajo la investigación, se sabe que es una forma de recristalización inducida relacionada a las imperfecciones metalúrgicas y ocurre bajo la influencia de esfuerzos.

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.

El buen funcionamiento de los dispositivos depende en gran manera de los requerimientos de la circuitería donde se encuentra el componente, y en general, las fallas inducidas por corrosión no se pueden definir de una manera confiable [Cerrud S., et al., UNAM 2003]. Las fallas en los dispositivos electrónicos se dan no solo de manera permanente sino también temporal o intermitente, las causas de estas fallas cumplen diferentes mecanismos que las ocasionan, sin embargo, tienen particular interés las fallas producto de la corrosión atmosférica en estos equipos.

Se define a la problemática de la corrosión en la industria electrónica, de acuerdo a las siguientes tendencias en el diseño [Guttenplan J. et al., 1978]:

- Mayor número de componentes por unidad de área, los cuales son cada vez más pequeños y el espaciado 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.

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

- 1) Resistencias de contacto producto de la formación de depósitos no conductores.
- 2) Pérdida de la continuidad por corrosión en las pistas o elementos conductores.
- 3) 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 componentes de la Unidad de Disco Duro (UDD).

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. De lo expuesto anteriormente se puede concluir que cualquier elemento electrónico está expuesto al deterioro por corrosión ambiental, cabe mencionar que algunas industrias y ambientes favorecen a ésta, en general se puede hacer referencia al equipo instalado en zonas costeras semitropicales o tropicales, en ciudades con un alto grado de industrialización y como consecuencia de contaminación [Cerrud S., et al., UNAM 2003].

# CAPÍTULO 2

## *UNIDADES DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO DE DATOS - DISCOS DUROS*

### 2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO.

La tecnología de almacenamiento magnético se fundamenta en el magnetismo y en la inducción electromagnética. 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  $\text{Wb}/\text{m}^2$ . El número de líneas de flujo dentro del material se incrementa debido a su permeabilidad relativa  $\mu_r$  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  $H$ . La curva de magnetización inicial (0-3) es mostrada en la figura 2.1(a). El valor inicial de la permeabilidad relativa cuando  $H = 0$  es llamada permeabilidad inicial ( $\mu_i$ ) y es igual al valor de la pendiente de la curva inicial de magnetización. 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  $\mu_0$  es la permeabilidad del aire ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ ). 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 2.1(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 ( $\text{Wb}/\text{m}^3$ ). 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 2.1(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 2.1 (b) muestra el ciclo  $M$ - $H$  para un material magnético suave usado para el núcleo de la cabeza magnética. El núcleo del anillo tiene ahora una estrecha abertura como las que se encuentran en las cabezas de lectura/escritura (C de L/E). 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.

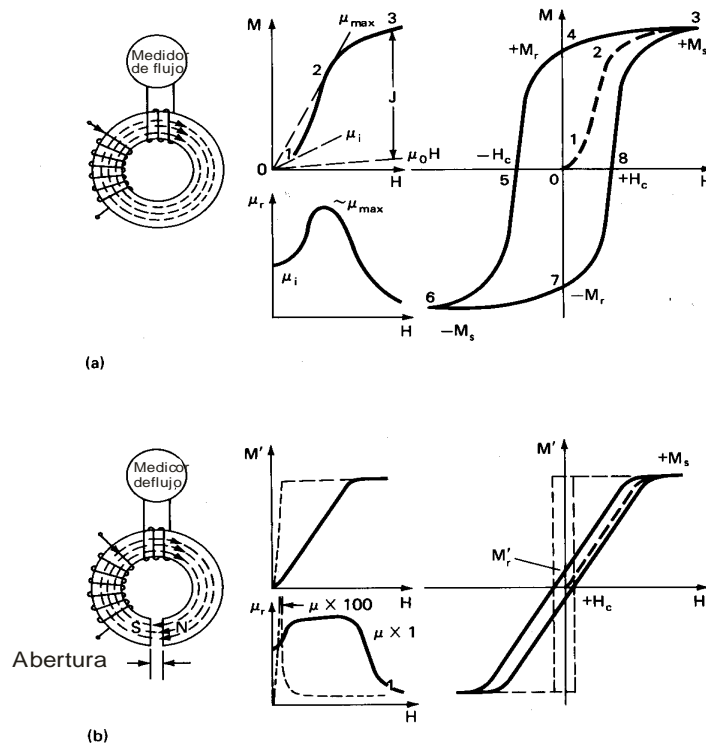


Figura 2.1 Curva de magnetización y ciclo de histéresis de materiales magnéticos duros [Bhushan B., 1990].

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.

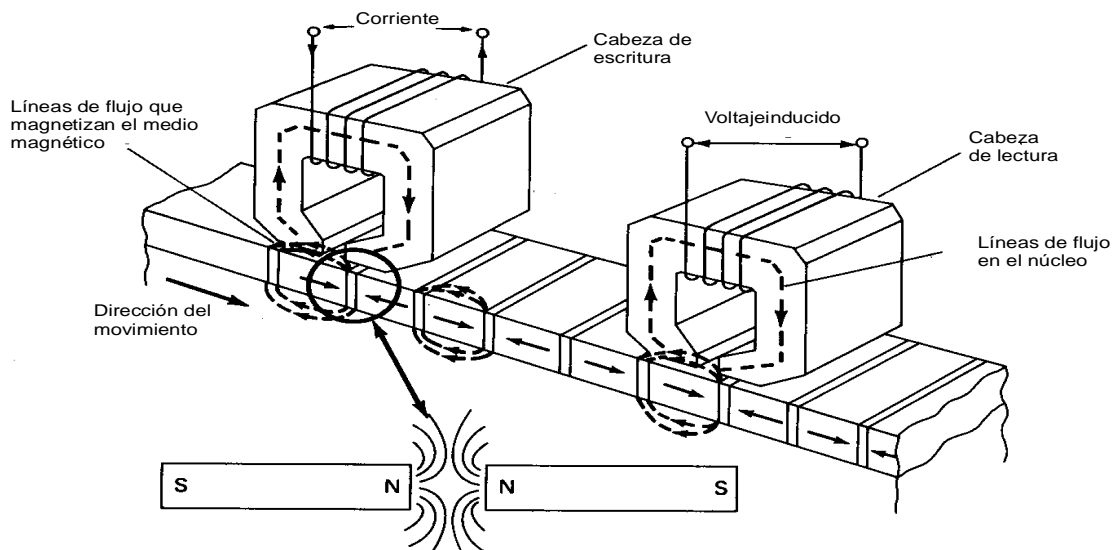


Figura 2.2 Principio de Lectura y Escritura [Bhushan B., 1990].

### 2.1.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO MAGNÉTICO.

En la actualidad se utilizan principalmente dos tecnologías para almacenar información: el almacenamiento magnético y el óptico. Los tipos de almacenamiento óptico son: CD-ROM y DVD. Los tipos de almacenamiento magnético son: Discos flexibles, Discos duros, Cinta magnética.

Es claro que para los dos tipos de almacenamiento se tiene la misma finalidad (el almacenamiento de información), pero se diferencian en muchos aspectos tales como: la forma de almacenamiento de la información - ya que mientras los procesos de lectura / escritura en el almacenamiento magnético se efectúan a través de la acción de un campo magnético, en el almacenamiento óptico es realizada por efecto de un rayo láser -, la tecnología para su manufactura, modo y capacidad de almacenamiento, tiempo de acceso y transferencia de la información, seguridad, mantenimiento de los datos así como en el costo de fabricación.

Cabe mencionar que en este trabajo se enfocará en el principio del almacenamiento magnético utilizado por las unidades de almacenamiento magnético de datos o discos duros.

Los dispositivos de almacenamiento magnético más comunes (unidades de disco flexible, disco duro y de cinta), utilizan técnicas similares para leer y escribir información debido a que todas ellas emplean el mismo medio (el material donde se almacenan los datos). Las superficies de los discos flexibles, los discos duros y las cintas magnéticas están cubiertas con un material o película magnéticamente sensible. Esta película está compuesta de diferentes materiales magnéticos: óxido de hierro, de cromo, de hierro-cobalto, de cobalto-níquel, etc. Las partículas ferromagnéticas conservan su magnetismo aunque desaparezca el campo que las magnetizó. Los datos se almacenan cambiando el sentido del campo magnético de dicha sustancia. Disponen de una cabeza de lectura y escritura (C. de L/E) que graba la superficie del disco. Esta C. de L/E está conformada por un electroimán capaz de inducir campo magnético o detectar el sentido del campo magnético. La C. de L/E se mueve radialmente mientras que el disco gira en un sentido. Las C. de L/E de tipo inductivas consisten en un elemento 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. 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 elemento de material magnético. 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. Para leer la información de una superficie magnética, el proceso se invierte. Las C. de L/E pasan sobre el disco o la cinta sin flujo de corriente en el electroimán.

Debido a que el medio de almacenamiento tiene una carga magnética pero la cabeza no, el medio de almacenamiento carga al imán en la cabeza, lo cual causa el flujo de una pequeña corriente a través de la bobina en una u otra dirección, dependiendo de la polaridad de las partículas. La unidad de disco o cinta registra la dirección del flujo cuando el medio de almacenamiento pasa por la C. de L/E.

La gran mayoría de los dispositivos de almacenamiento masivo utilizan alguna forma de media de rotación y soportan el acceso aleatorio de los datos en esa media esto significa que los componentes siguientes están presentes en alguna forma dentro de casi todos los dispositivos de almacenamiento masivo: Plato o medio magnético, C. de L/E de datos y brazos de acceso.

### 2.2 DEFINICIÓN DE DISCO DURO.

Los Discos Duros, también llamados discos rígidos fijos - frente a los discos flexibles o por su fabricación a base de una capa rígida de aluminio y fijo por su situación en el ordenador de manera permanente -, son dispositivos capaces de almacenar información digital durante largos períodos de tiempo sin necesidad de recibir energía durante éste. Dicha información es grabada en una superficie magnética que posteriormente puede ser leída o reescrita. El disco duro es dispositivo de almacenamiento principal de la computadora. Un disco duro comparte muchas características físicas y operativas con un disco flexible. Sin embargo, presenta ciertas ventajas:

- Tiene un diseño complejo y ofrece una velocidad de acceso mayor
- Dispone de mucha capacidad de almacenamiento lo que supone un beneficio para albergar datos durante mucho tiempo.
- Almacena programas y archivos, así como el sistema operativo de la computadora.

Los discos duros son componentes electromecánicos ya que tienen un carácter mecánico y electrónico al mismo tiempo que permite el almacenamiento y recuperación de grandes cantidades de información. Los discos duros pertenecen y son el principal elemento de la memoria secundaria de una computadora, la memoria principal es la memoria RAM <sup>2</sup>.

### 2.3 ESTRUCTURA DE UN DISCO DURO.

En una unidad de disco rígido, el soporte está constituido por un plato de material rígido, habitualmente aluminio, revestido por ambas caras de una emulsión ferromagnética, denominada *sustrato* y se encuentra dentro de un recinto sellado. Sobre cada una de sus caras se desplaza radialmente una C. de L/E. Habitualmente, el disco duro no deja nunca de girar, aunque no se realicen accesos de lectura o escritura, ya que, desde que inicia su giro hasta que se estabiliza su velocidad transcurre un tiempo prohibitivo para el acceso en línea. Se dividen en círculos concéntricos cilindros (coincidentes con las pistas de los disquetes), que empiezan en la parte exterior del plato (primer cilindro) y terminan en la parte interior (último). Asimismo estos cilindros se dividen en sectores, cuyo número esta determinado por el tipo de disco y su formato, siendo todos ellos de un tamaño fijo en cualquier plato.

Los Cilindros como sectores se identifican con una serie de números que se les asignan, empezando por el 1, pues el número 0 de cada cilindro se reserva para propósitos de identificación mas que para almacenamiento de datos. Estos datos escritos como leídos en el disco, deben ajustarse al tamaño fijado del almacenamiento de los sectores.

---

<sup>2</sup> Del Ingles: Random Access Memory - Memoria de acceso aleatorio.

### 2.3.1 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

La superficie de un disco magnético debe ser organizada adecuadamente para permitir grabar en ella información de forma que posteriormente pueda ser localizada y recuperada con facilidad. Geométricamente, la superficie de un disco se divide en una serie de pistas concéntricas, cada una de las cuales consta de un número determinado de segmentos denominados sectores. En cada uno de los sectores del disco se pueden encontrar tres tipos de información:

- 1) Los datos propiamente dichos, que constituyen la información grabada en el disco.
- 2) Identificación de la pista y el sector
- 3) Sincronización de los circuitos de lectura/escritura.

A la forma de organizar esta información dentro de cada pista y sector se le denomina formato de pista. El objetivo del formato es conseguir localizar y recuperar cualquier información grabada con anterioridad sobre el disco.

Dado que entre la información grabada en cada pista se encuentra su propio número, el posicionamiento de la C de L/E sobre la pista deseada se realiza mediante un procedimiento de ensayo y error por aproximación hasta que el número de pista leído coincide con el buscado. Una vez sobre la pista deseada, se lee el contenido de ésta en busca del o los sectores deseados.

La capacidad del disco resulta de multiplicar el número de caras por el de pistas por cara y por el de sectores por pista, al total por el número de bytes por sector. La densidad de almacenamiento es la cantidad de información almacenada por unidad de área en [Gbits/in.<sup>2</sup>] y este es el resultado de constantes avances en las investigaciones sobre materiales y métodos de grabación de la información.

El cabezal (dispositivo de lectura y escritura) es un brazo alineado verticalmente que se mueve hacia dentro o fuera según convenga. En la punta de dicho brazo esta la C de L/E, que gracias al movimiento del cabezal pueden leer tanto zonas interiores como exteriores del disco.

La C de L/E nunca toca el disco, sino que pasa muy cerca. Si dicha cabeza llega a tocarlo, causaría muchos daños en el disco, debido a lo rápido que giran los platos (7 200 a 15 000 revoluciones por minuto y una velocidad de 120 km/h en el borde).

Para escribir, la C de L/E se sitúa sobre la celda a grabar y se hace pasar por ella un pulso de corriente, lo cual crea un campo magnético en la superficie. Dependiendo del sentido de la corriente, así será la polaridad de la celda, se mide la corriente inducida por el campo magnético de la celda. Es decir que al pasar sobre una zona detectará un campo magnético que según se encuentre magnetizada en un sentido u otro, indicará si en esa posición hay almacenado un 0 o un 1. En el caso de la escritura el proceso es el inverso, la cabeza recibe una corriente que provoca un campo magnético, el cual pone la posición sobre la que se encuentre la cabeza en 0 o en 1 dependiendo del valor del campo magnético provocado por dicha corriente.



### 2.3.2 COMPONENTES DE UN DISCO DURO.

#### 1. Carcasa.

Una caja metálica de aluminio o aleaciones de aluminio protege los componentes internos de las partículas de diversas fuentes que podrían obstruir la estrecha separación entre la C de L/E y los platos, además de provocar el fallo de la unidad a causa de la apertura de un surco en el medio magnético del plato.

#### 2. Platos.

Las Unidades de Disco Duro (UDD) están constituidos por un plato, el cual se disponen sobre un eje central sobre el que se mueve. Hay varios conceptos para referirse a zonas del plato; el cual tiene las siguientes características:

- Cara: Cada uno de los dos lados de un *plato*.
- Pista: Una circunferencia dentro de una *cara*; la *pista 0* está en el borde exterior.
- Cilindro: Conjunto de varias *pistas*; son todas las circunferencias que están alineadas verticalmente (una de cada *cara*).
- Sector: Cada una de las divisiones de una pista. El tamaño del sector es fijo, siendo de 512 bytes.
- Suele tener un diámetro de 2 ó 3 pulgadas y media.
- Está recubierto por una delgada capa de material magnético.
- Son de doble cara, y ambas están recubiertas con material magnético.

#### 3. Material de soporte magnético.

Está elaborado con una aleación de aluminio recubierta superficialmente con una capa de material magnético el cual cuenta con un coeficiente de rozamiento muy bajo y gran resistencia al calor.

#### 4. Brazos de Acceso.

El brazo de acceso debe ser capaz de dos cosas: (a) Moverse rápidamente y (b) Moverse con gran precisión sobre relativamente largas distancias. Además, el movimiento del brazo de acceso no es continuo debe acelerarse rápidamente a medida que se acerca al cilindro deseado y luego desacelerarse igualmente rápido para evitar disparar demasiado. El cabezal utiliza aire a presión desarrollado por los platos que giran para flotar sobre la superficie del plato.

Dicho cabezal que se dispone sobre el plato con gran precisión y a distancias pequeñas. Es el responsable de la lectura y escritura de los datos en los discos duros. La mayoría de discos duros incluye una cabeza a cada lado del plato, incluso pueden aparecer dos o más cabezas por superficie en grandes ordenadores pensados para una actividad en particular, permitiendo esto reducir la distancia de desplazamiento radial e incrementar el tiempo de búsqueda.

Una C de L/E consiste habitualmente en un electroimán diminuto, con un entrehierro que constituye la zona activa y una bobina que genera los campos magnéticos en el entrehierro al pasar corriente eléctrica a su través (durante la escritura) o donde se inducen corrientes eléctricas (durante la lectura).

La C de L/E no llegan a tocar la superficie de los discos, ya que debido a su gran velocidad de giro crean un colchón de aire sobre el que flotan, a una distancia muy pequeña, reduciendo así el desgaste del disco, esto se debe a que el plato gira a unas velocidades que oscilan entre 7200 y 15000 rpm. Esta velocidad hace que se forme una bolsa de aire entre el plato y la C de L/E. En el posible caso de un corte de energía eléctrica, se dispone de un mecanismo, un resorte, que impide que las cabezas toquen la superficie de los platos cuando detectan una reducción de su velocidad.

### **5. Motor de accionamiento del eje o de rotación de la unidad.**

Toda UDD debe poseer un motor de arrastre que mantenga una velocidad de giro constante, libre de variaciones. La importancia de este punto es evidente a la vista de los métodos empleados para sincronizar las señales de lectura y escritura. Si la velocidad de giro del disco no es perfectamente uniforme, pueden ocurrir errores de lectura y escritura.

Se alimenta de corriente directa gracias a un generador que lleva incorporado. El sistema de regulación de la velocidad se encuentra en la tarjeta controladora.

### **6. Motor de posicionamiento de los cabezales.**

Motor eléctrico de gran precisión cuya misión es mover el cabezal a través de la superficie del plato en sentido radial para situarse sobre el sector y el cilindro adecuado.

### **7. Tarjeta controladora - Interfase IDE-SCSI.**

La tarjeta controladora (TC) realiza varias funciones importantes, sin embargo al ir evolucionando los discos duros, más funciones se han agregado a la tarjeta controladora. Esto significa que los circuitos necesitaran ser más poderosos, contar con características de fiabilidad avanzada, tecnologías del cabezal más complicadas, interfases más rápidas entre otros nuevos atributos.

La TC del disco duro contiene un microprocesador, memoria interna, entre otras estructuras y circuitos que controlan lo que pasa dentro del disco duro. Los circuitos electrónicos de la TC realizan las siguientes funciones:

- 1) Controla el motor de accionamiento del eje o de rotación de la unidad, además se asegura que dicho eje de rotación corra a la velocidad correcta.
- 2) Controlando el movimiento del actuador (Motor de posicionamiento del cabezal).
- 3) Maneja todas las funciones de lectura/escritura.
- 4) Controla la energía suministrada a toda la unidad.
- 5) Controla la memoria interna (cache) de forma óptima.

Coordina e integra las funciones mencionadas en esta sección, así como el flujo de información de la interfase del disco duro, perfeccionando las demandas múltiples, convirtiendo los datos en la forma que la C de L/E lo requieren.

La velocidad de transferencia de información de la TC debe ser compatible con la de la unidad. Cuando se refiere a la interfase, se entiende al método utilizado por el disco duro para comunicarse con el equipo, que no es más que la TC. Esta interfase puede ser IDE o SCSI.



a)



b)



i

ii

iii

c)

**Figura 2.3.** (a) Aspecto de la carcasa del disco duro.  
(b) Tarjeta controladora del disco duro.  
(c) Conexiones: i)Pines IDE, ii)Jumper, iii)Pines de Alimentación)

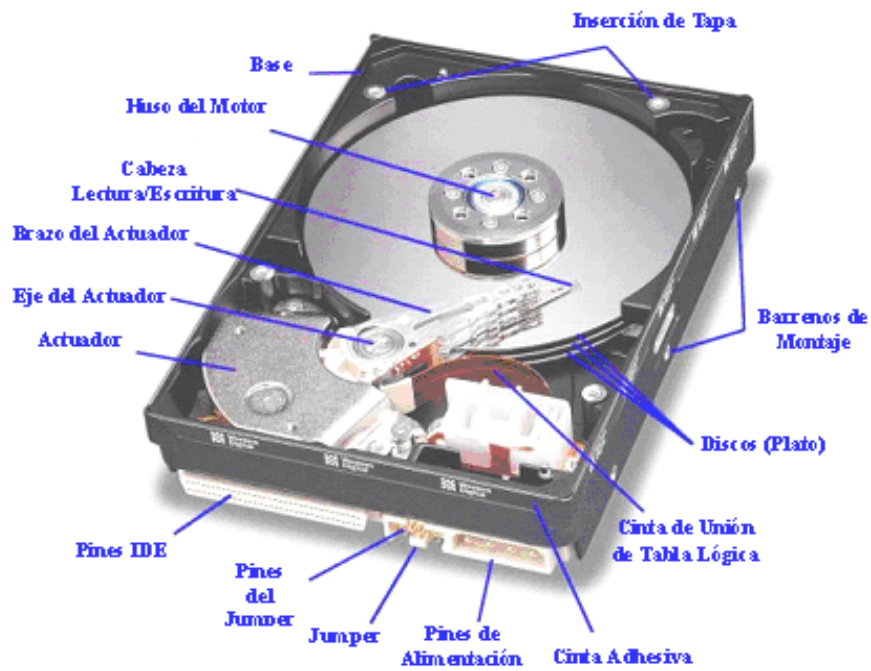


Figura 2.4 Aspecto Interno de un Disco duro



Figura 2.5 Disco Duro Desensamblado

## 2.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DISCO DURO.

Cuando se indica al sistema operativo a que deba leer o escribir un archivo, el sistema operativo solicita que el controlador del disco duro traslade el brazo del cabezal de lectura/escritura a la tabla de asignación de archivos (FAT). El sistema operativo lee la FAT para determinar en qué punto comienza un archivo en el disco, o qué partes del disco están disponibles para guardar un nuevo archivo.

A grandes rasgos se enumera a continuación el funcionamiento básico de un disco duro:

- 1) *Tiempo de posicionamiento*: Cuando se desea acceder a una información, es necesario posicionar el cabezal de lectura/escritura sobre la pista en que se encuentra dicha información.
- 2) *Tiempo de estabilización*: El cabezal se mueve obedeciendo a impulsos eléctricos. Debido a sus propiedades físicas (frecuencia propia de oscilación, etc.) será necesario que transcurra un tiempo desde que se le envía el último impulso hasta que se le puede considerar inmóvil sobre la superficie del disco y se puede proceder, por tanto, a leer o escribir información.
- 3) *Tiempo de latencia*: Una vez posicionado el cabezal, es necesario esperar a que el sector que contiene la información deseada o sobre el cual se desea escribir pase bajo él. Este tiempo es inversamente proporcional a la velocidad de giro del soporte.
- 4) *Tiempo medio de acceso*: Es el tiempo medio necesario para localizar la información buscada. Como ninguno de los tiempos anteriores (excepto el de estabilización) es fijo, los tiempos reales dependerán de la pista en que se encuentra la cabeza, de la pista a la que se desplaza y del sector al que se desee acceder.
- 5) *Velocidad de transferencia*: Una vez localizada la información, hay que proceder a la transferencia. La velocidad con que una unidad de disco es capaz de proporcionar o absorber información depende de su velocidad de rotación, del formato de grabación utilizado, del número de sectores por pista, del número de bytes por sector, etc.
- 6) *Sistema de Posicionamiento*: Un elemento importante del transporte de un disco duro es el sistema de que permite llevar las C de L/E de sobre la pista deseada, que recibe el nombre de sistema de posicionamiento.

## 2.5 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN EL DISEÑO, MATERIALES Y MANUFACTURA DE LOS DISCOS DUROS.

### 2.5.1 INTRODUCCIÓN.

La capacidad de un disco duro es en cierta forma la medida del volumen de información que puede almacenar y suele medirse en megabytes o gigabytes. Los discos duros modernos tienen bandejas de 3 pulgadas y media para computadoras de escritorio, y de 2 pulgadas y media para los portátiles y su capacidad se mide en gigabytes.

Las unidades más antiguas podían contener alrededor de 5MB y utilizaban platos de 12 pulgadas de diámetro. Algunos de los discos más antiguos usaban una interfaz a nivel de dispositivo, lo que provocaba que tuvieran muchos problemas de compatibilidad, integridad de datos y velocidad.

La interfaz de disco duro original utilizada en el IBM PC/ XT fue desarrollada por Seagate Technologies y suele conocerse como MFM (Modulación de frecuencia modificada). MFM usaba un método de codificación de disco con la interfaz ST-506. RLL (Longitud de ejecución limitada) es un esquema de codificación similar a MFM, aunque tiene un mayor número de sectores. RLL es un método de codificación utilizado habitualmente en discos magnéticos. La tarjeta controladora del disco integrada dentro de la unidad determina el sistema de codificación a utilizar.

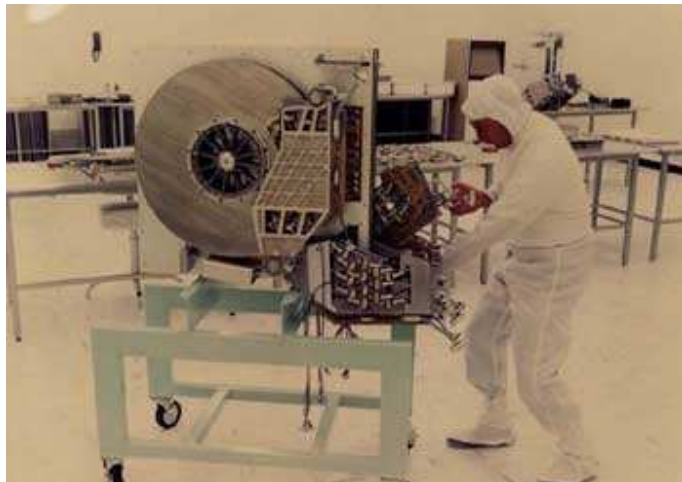
Los estándares de disco duro más habituales actualmente son:

- IDE (*Integrated device Electronics*).- La interfase IDE es la más usada hasta el momento, su nombre se refiere a como la tecnología IDE integra la electrónica del controlador en el dispositivo mismo. Esto significa que la lógica está integrada en chips incluidos en cada disco y no se necesita un controlador especial en la tarjeta madre para cada modelo de disco duro.
- SCSI (*Small Computer System Interface*).- Se refiere a una interfaz paralela utilizada normalmente para comunicar el computador con discos duros y dispositivos de cinta, aunque permite y de hecho se usa para otros tipos de dispositivos tales como scanners o grabadoras de CD'S.

Los discos rígidos han dominado el mercado de almacenamiento de información digital en medios regrabables durante los últimos 50 años. Absolutamente todas las tecnologías alternativas han sucumbido a la notable capacidad de estos para reducir sus dimensiones y guardar cada vez más bits en menos espacio físico. La evolución tecnológica de la informática avanza de forma acelerada; el diseño y desarrollo tecnológico de los discos duros ha sido muy notorio en las últimas dos décadas.

En 1956 IBM presentó su computadora RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control) que incluyó el primer disco rígido de la historia. El disco de la RAMAC estaba contenido en un gabinete del tamaño de un refrigerador y el motor que lo hacía funcionar tenía una potencia similar al de una pequeña mezcladora de cemento. El corazón del equipo eran 50 discos de aluminio cubiertos en ambas caras con una película, de óxido de hierro. Cada disco tenía 60cm de diámetro y giraba a 1200rpm. La lectura y escritura se realizaba con un par de cabezas que se desplazaban verticalmente de un disco a otro con un control neumático, y desplazándose radialmente accedían a una posición dada dentro del disco seleccionado. El enorme disco costaba decenas de miles de dólares, emitía un zumbido y necesitaba un ambiente de temperatura controlada.

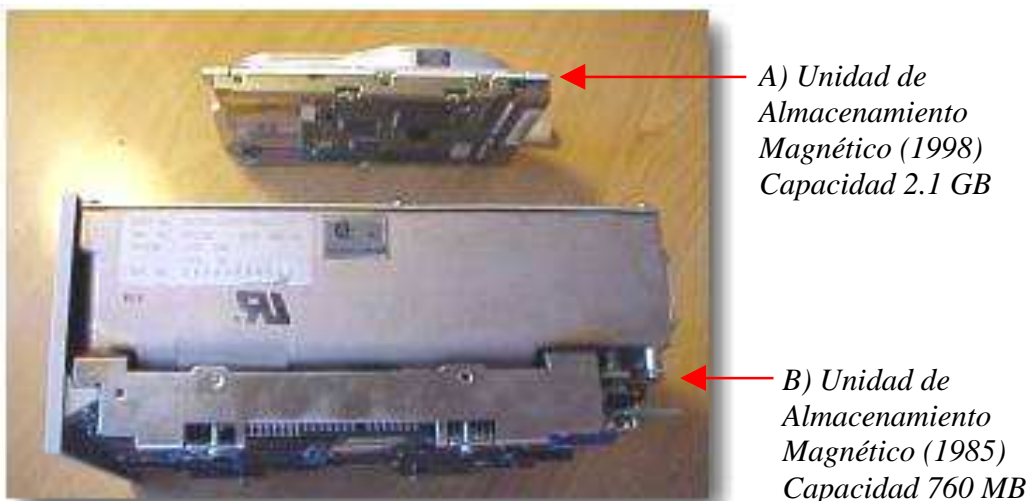
Desde entonces, la capacidad, el tamaño y rendimiento de las unidades de disco duro han variado espectacularmente, pero el mecanismo de funcionamiento sigue siendo esencialmente el mismo.



**Figura 2.6** Disco Duro de IBM Modelo 305 [1]



**Figura 2.7** Antiguo disco duro de IBM modelo 62PC de 64.5 MB, fabricado en 1979 [1]



**Figura 2.8**



**Figura 2.9** Es clara la reducción del tamaño de los discos duros y el aumento de su capacidad de almacenamiento debido a el avance tecnológico y a la miniaturización electrónica.[1]

Todas estas variaciones morfológicas se deben al continuo refinamiento de los materiales y al consiguiente aumento de la densidad acumulativa, así como a la mejora de los métodos de almacenamiento y al perfeccionamiento y optimización de los componentes electrónicos.

Los disco duros de hoy (especialmente los de mañana) se adentran en complicadas tecnologías y campos científicos (mecánica cuántica, aerodinámica, y elevadas velocidades de rotación).

La combinación de estas tecnologías permite que la capacidad de los discos duros aumente cerca del 60 % cada año; cada cinco años se multiplica por diez su capacidad.

El término *hard* (duro) es usado porque el disco interno que guarda la información en *hard drive* (disco duro) 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 la C de L/E. En la unidad de disco duro la cabeza no toca la superficie del disco, a diferencia de una unidad de disco flexible la cabeza de escritura hace contacto, causando desgaste en la superficie del plato.

Para mejorar las posibilidades del disco duro hay que acercar los cabezales a la superficie del disco. Los cabezales pueden escribir y leer dominios magnéticos menores, cuanto menor sean éstos mayor densidad de datos posible de cada plato. Pero cuanto más cerca estén los cabezales, mayor será la probabilidad de colisión con la superficie. Una solución es recubrir el plato con materiales protectores, rediseñar las características aerodinámicas de los cabezales, etc. Además el paso de una mayor cantidad de datos por los cabezales exige perfeccionar los componentes electrónicos, e incluso puede obligar a ampliar la memoria caché integrada. Además no hay que olvidar que los dominios menores son estables a las temperaturas de funcionamiento normales.



Los discos duros se han extendido recientemente más allá del almacenamiento de computación convencional (aplicaciones en las videocámaras, sistemas de audio-reproducción de video móviles, teléfonos celulares etc.). Sobre todo, altas densidades de almacenamiento y capacidades mayores son demandadas en los sistemas de audio- reproducción de video móvil. La cabeza de grabación magnética, dispositivo de suma importancia en una UDD consiste en un elemento que escribe la información sobre el medio magnético del disco duro y un lector que leen la información magnética escrita. Las cabezas de grabación magnética se fabrican usando la tecnología de deposición de película delgada y tecnología de litografía fina. Densidades de grabación por encima de los 250 Gb/inch<sup>2</sup> de capacidad son usadas en la actualidad. Actualmente se investigan y desarrollan en nuevos tipos de cabezas de la grabación magnéticas con densidades de grabación superiores. Algunas de estas nuevas tecnologías son: Cabeza de Túnel Magneto-Resistivo (TMR), Cabeza de corriente perpendicular al plano del tipo Magneto-Resistivo Gigante (CPP-GMR), y la Cabeza de Grabación Magnética Perpendicular (PMR).

Nuevas tecnologías van encaminadas a potenciar la resistencia de la superficie magnética de los platos con materiales antiadherentes derivados del carbono. También su tamaño ha disminuido notablemente, lo que ha permitido que estos dispositivos se encuentren dentro de teléfonos celulares o dispositivos de adquisición de datos.



**Figura 2.10** Disco Duro utilizado en sistemas de reproducción de audio - video móvil.  
[Toshiba Corporation 2005]

### 2.5.2 DISEÑO Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS DISCOS DUROS.

La industria de los discos duros está atravesando un periodo de crecimiento sin precedentes, pues la tecnología esta revolucionando todos los conceptos de cantidad de información almacenada y costos por megabyte, aspectos más generales que se tienen en cuenta en la elaboración de estos dispositivos.

Sin embargo a pesar de de que los discos tienen un diseño superior para: eliminar la posible contaminación filtrada, estructuras interiores más rígidas, técnicas de montura especiales diseñadas para eliminar la vibración y golpes se deben mejorar los procesos de manufactura de cada componente, mejorar los filtros para evitar la reclusión de partículas externas al interior, mejorar los métodos usados para evitar la adsorción de humedad al interior, mejorar la tecnología de los lubricantes usados en la superficie del plato, mejorar los componentes mecánicos o en su caso reemplazarlos por medios electrónicos entre otros.

Básicamente el corazón de esta tecnología lo constituyen tres componentes principales:

- El medio de almacenamiento magnético o plato.
- El transductor magnético o cabeza de lectura y escritura
- La Tarjeta Controladora que engloba los CI, conectores y la TCI.

Estos tres elementos se relacionan muy directamente, al punto que las características y desarrollo de uno, determinan el óptimo diseño y desempeño del otro.

### **A) MEDIO MAGNÉTICO (PLATOS).**

Las características fundamentales que debe tener un medio magnético son: poseer un alto campo coercitivo (para evitar que se invierta la magnetización), ser estable magnética y térmicamente, y estar formado por granos muy pequeños cristalinamente orientados, magnéticamente aislados y de alta anisotropía magnética<sup>3</sup> o sea que se magneticen fácilmente en alguna dirección preferencial. Tienen que ser también resistentes a la corrosión y al uso

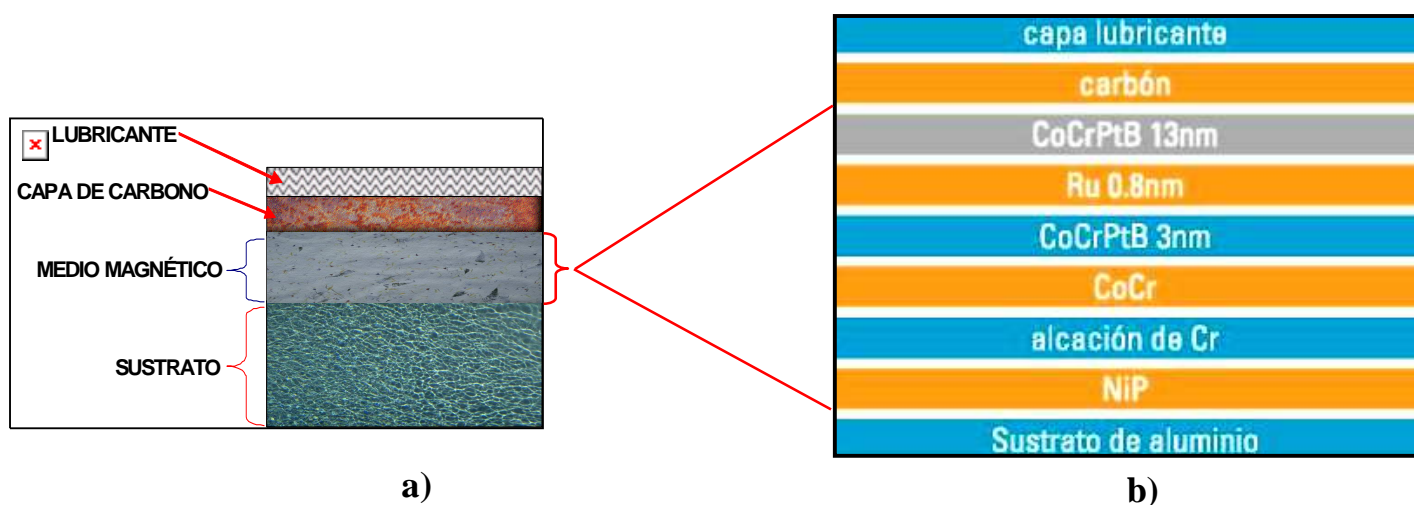
En los primeros discos rígidos se utilizaron óxidos de hierro magnéticos que se depositaban con técnicas químicas o simplemente se pintaban sobre el sustrato. Sin embargo, a medida que se fue incrementando la densidad de información se hizo necesario cambiar a materiales con mejor desempeño y agregar capas adicionales que ayudan, por ejemplo, a mejorar la estabilidad magnética o a evitar la corrosión. Actualmente el medio magnético de un disco consta de unas siete capas, como se indica en la figura 2.11, y cada una de ellas cumple una misión específica. Es necesario fabricar multicapas en condiciones muy controladas para que cumpla con los requerimientos mencionados anteriormente.

Actualmente la tecnología más utilizada en la fabricación del medio magnético es la técnica de deposición conocida como *sputtering*<sup>4</sup>. Consiste en hacer incidir átomos ionizados de argón contra un blanco del material que se desea depositar. Las moléculas (o átomos individuales) son arrancados del blanco y se depositan sobre un sustrato. Para evitar contaminaciones indeseadas todo el sistema debe estar en alto vacío (con presiones menores a la diez millonésima de la presión atmosférica).

---

<sup>3</sup> Propiedad de los imanes que representa la energía por unidad de volumen necesaria para invertir la dirección del momento magnético asociado a un elemento de memoria.

<sup>4</sup> Deposición Catódica. Proceso de revestimiento por recubrimiento en el que iones cargados positivamente son acelerados por un campo eléctrico hacia la superficie de un blanco (material de revestimiento).



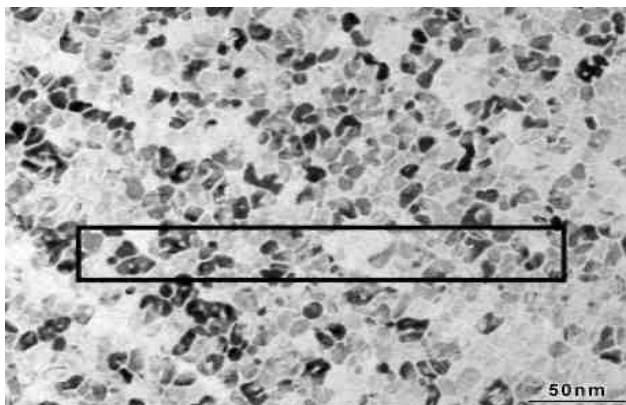
**Figura 2.11** (a) Esquema de una multicapa utilizada como medio de almacenamiento de datos en un plato rígido magnético. (b) Se aprecia que el medio magnético es un conjunto de multicapas cada una con su composición propia predominando el Co y Cr. De todas ellas la capa gruesa de CoCrPtB (cobalto, cromo, platino y boro) es la que guarda la información [2].

Como sustrato y soporte de las capas se usa un disco de aluminio o de vidrio, generalmente de 8,9 o de 6,3cm de diámetro. 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<sup>2</sup>. Esta superficie es obtenida por torneado con diamante y pulida. Sobre el sustrato se deposita una película de NiP para darle una mejor terminación a la superficie. En la superficie superior se deposita una capa de carbono amorfo tipo diamante que es muy delgada y cumple la función de proteger a la capa magnética y tiene las siguientes propiedades: 1) Retarda la corrosión., 2) Reduce el desgaste físico. Sin embargo su aplicación aumenta el espacio magnético (EM) entre el plato y la C de L/E. Sobre ella se deposita una delgadísima capa de un espesor promedio a una molécula (~1.5 nm) de perfluoropolieter (PFPE) como lubricante para también reducir el deterioro y corrosión. Las capas de cromo (Cr) y cromo cobalto (CoCr) tienen como objetivo lograr que la película magnética crezca en forma epitaxial, es decir, que los granos de cobalto tengan su eje de magnetización fácil paralelo al plano de la película. De este modo, tanto la energía magnetostática como la cristalina favorecen que la magnetización quede en este plano. La capa siguiente de cobalto-cromo-platino-boro (CoCrPtB) de 3nm junto con la delgadísima capa de rutenio (Ru) (0,8nm, menos de tres capas atómicas) se han introducido muy recientemente en la estructura de multicapas y su función es mejorar la estabilidad magnética.

La capa magnéticamente activa, es decir donde se guarda la información, es una aleación de CoCrPtB (similar a la capa estabilizadora) en forma de película delgada de unos 15nm de espesor. Los dominios magnéticos en esta capa apuntan en dirección opuesta a los de la capa delgada de CoCrPtB debido al acople antiferro-magnético mediado por la capa de Ru.

El elemento magnético es el cobalto y la función de los otros elementos químicos es, fundamentalmente, la de aislar sus granos para disminuir la interacción de intercambio entre ellos y lograr que el tamaño de grano sea lo más uniforme posible. El diámetro de los granos de cobalto en un medio real es menor a 10nm, como se muestra en la figura 2.12.

Este tamaño está en el límite de estabilidad magnética a temperatura ambiente en películas de este material. Actualmente se están estudiando compuestos de aleaciones ordenadas de cobalto-platino (CoPt) con anisotropías magnetocristalinas diez veces mayores que las del cobalto puro.

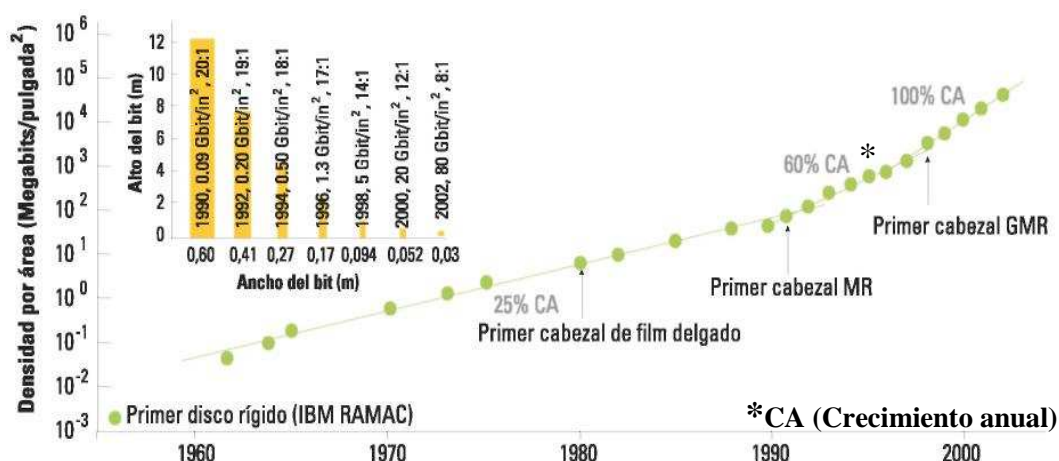


**Figura 2.12** Micrografía de alta resolución de un medio magnético moderno. [2]

La imagen de la figura 2.12 se obtuvo por microscopía electrónica de transmisión de campo brillante, proviene de una aleación de cobalto, cromo platino y boro. Los granos oscuros corresponden al cobalto cristalino. Las regiones claras que rodean a los granos magnéticos están compuestas por el resto de los elementos. El tamaño promedio de los granos magnéticos es de 8[nm]. Se ha superpuesto un rectángulo para indicar el tamaño aproximado de un bit de información (30[nm] x 250[nm]). La región de transición entre bits es de  $\sim 10$ [nm]. El interés en disminuir el tamaño de cada partícula magnética está estrechamente ligado a la carrera por aumentar la densidad de bits por unidad de área. El bit se define como la región en la que se puede invertir la magnetización sin afectar a las regiones vecinas. No está formado por un solo grano magnético, sino que cada bit contiene unos 1000 granos (algo menos en los medios más nuevos). Los bits son regiones rectangulares con una relación largo/ancho de aproximadamente diez, de modo que la anisotropía de forma favorece la alineación de la magnetización según la dirección más larga.

En los discos modernos el tamaño del bit es 250[nm] x 30[nm] (figura 2.13) y las regiones de transición entre bits (en donde no se guarda información) son de menos de 10[nm]. Si bien los granos están relativamente aislados, no están totalmente desacoplados y por lo tanto no es posible lograr que cada bit tenga el tamaño de un grano magnético. Debido a este acoplamiento la relación señal/ruido es proporcional al número de granos por bit; por lo tanto, si se desea disminuir el tamaño del bit se debe, necesariamente, reducir el tamaño del grano. En la actualidad, la industria del almacenamiento magnético usa principalmente aleaciones de cobalto, como cobalto-cromo o cobalto-níquel, que son usadas ampliamente como medio de almacenamiento magnético por su alto desempeño. Este revestimiento usado como medio magnético tiene aproximadamente 20 nm de espesor y normalmente contiene más de 75% porcentaje atómico de cobalto con pequeños porcentajes de Cr, Ni, Pt, Mo, Ta, Re, o P, y con coercitividad de  $\sim 3000$  Oe (Oersted). La rugosidad de la superficie del plato es del orden de 1 [nm].

La búsqueda continua para una densidad magnética más amplia no sólo pone mucho énfasis en la capa magnética, también en la capa protectora de carbono. Aparte del desgaste y protección a la corrosión, la capa protectora de carbono ultradelgada juega un papel vital en la reducción de la altura de vuelo entre el disco y la cabeza, que a su vez incrementa la densidad de almacenamiento.



**Figura 2.13** Evolución de la densidad de información. El tamaño del bit está íntimamente ligado a la densidad de la información por unidad de área. En el recuadro se observa que desde el año 1990 hasta la actualidad el área de cada bit se ha reducido en un factor 1000 con el consiguiente aumento en la densidad. Notar que la escala del eje vertical es logarítmica y que hay casi 7 órdenes de magnitud entre el valor del año 1956 y el de la actualidad. Junto a cada año se referencia la densidad de información por unidad de área y la relación alto-ancho de cada bit [3].

La tabla 2.1 muestra los materiales más comúnmente usados para discos duros y algunas condiciones de operación.

**Tabla 2.1** Condiciones típicas de operación y materiales comúnmente usados para la fabricación de los discos duros.[Bhushan B., 1990].

Dispositivo de almacenamiento	Presión normal [KPa]	Velocidad de deslizamiento [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 1.3-1.9 mm de espesor	Fenólico y Epóxico <sup>a</sup> / 1-2 m	Perfluoroalkil poliéter	Rociado/ 10-30 nm de espesor
				Al-Mg 1.3-1.9 mm de espesor, con una capa de 10-20 µm de espesor	Película delgada (metal) <sup>b</sup> / 25-100 nm	Carbono amorfo, SiO <sub>2</sub> y Perfluoroalkil poliéter	Rociado/ 20-40 nm
				Electrodeposición de Ni-P	Película delgada (óxido) <sup>c</sup> / 100-150 nm	Carbono amorfo, SiO <sub>2</sub> y Perfluoroalkil poliéter	Rociado/ 20-40 nm

<sup>a</sup>Partículas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son agregadas para incrementar su resistencia al desgaste

<sup>b</sup>Materiales magnéticos: CoCr, Co-Pt-Ni, Co-Pt-Cr por rociado y Co-P por electrodeposición

<sup>c</sup>Materiales magnéticos: γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por rociado

Partículas magnéticas usadas en un medio por partículas: γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co-γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO<sub>2</sub>, BaO·6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y Fe

## B) CABEZA DE LECTURA/ESCRITURA.

Las C de L/E son un componente sumamente crítico y determinante en el funcionamiento global del disco duro, ya que estas juegan un papel importante en el almacenamiento y recuperación de datos a la vez que son el componente más caro de un disco duro. El avance tecnológico de las C de L/E han permitido incrementar tanto la velocidad de giro del plato como la densidad de área. Las Nuevas tecnologías usadas en las C de L/E son el punto activador para aumentar la densidad de área, la velocidad de giro y reducir el tamaño de discos duros modernos.

La función de la C de L/E. en un disco duro es transformar las señales eléctricas a señales magnéticas, y viceversa cuando se desee leer algún archivo los. Las C de L/E son en esencia electroimanes diminutos que realizan esta conversión de la información eléctrica a magnética y viceversa. Cada bit de datos se graba en el medio magnético del plato que usa un método de la codificación especial que traduce los ceros y los unos en flujo magnético.

Originalmente una C de L/E era utilizada tanto para la lectura como para la escritura de información en los discos. Esta C de L/E de doble propósito funcionaba de forma inductiva con una bobina arrollada sobre una armadura ferromagnética toroidal. En modo de escritura una corriente eléctrica produce un campo magnético que graba la superficie del disco. En modo lectura las transiciones entre zonas del disco con distinta orientación magnética inducen una corriente sobre la bobina del cabezal. La C de L/E de hoy en día sigue siendo inductivo, pero para aumentar la sensibilidad el cabezal de lectura se ha separado y opera basado en un principio físico totalmente distinto.

A partir de 1980 las C de L/E ‘tradicionales’ (es decir aquellos en los que un fino alambre de cobre es enrollado sobre un material ferromagnético blando) fueron reemplazados por cabezales producidos íntegramente con técnicas de deposición de películas delgadas en alto vacío, litografía óptica y comido iónico o químico.

A estos nuevos dispositivos se los llamó ‘cabezales inductivos de película delgada’ ya que se reduce notablemente una de las dimensiones. En un cabezal de lectura inductivo la magnitud de la corriente inducida disminuye en forma proporcional al área del bit a ser leído, a la distancia cabezal-disco y a la magnetización remanente del medio. A fines de los años 80 estos efectos estaban limitando la densidad de información que podía leerse de un disco rígido.

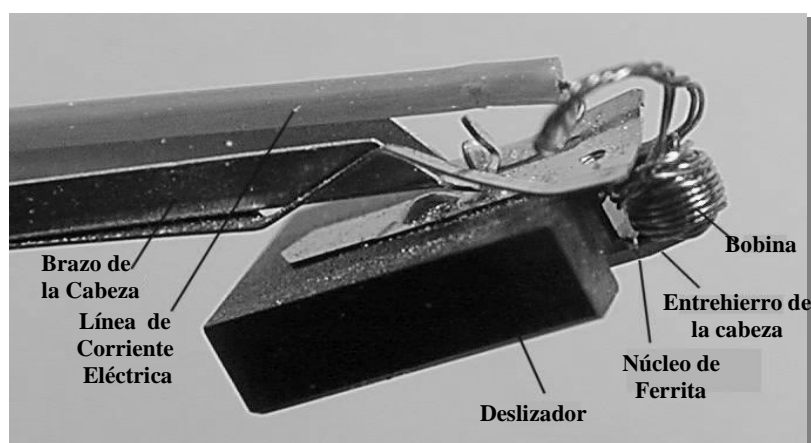
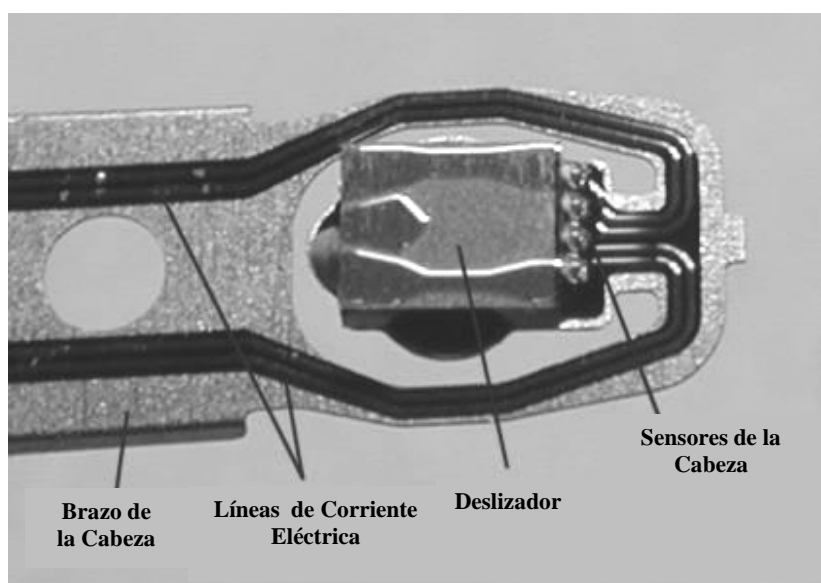


Figura 2.14 Cabeza de Lectura/Escritura de material ferromagnético blanco [1]

La solución la presentó IBM en 1991 con la aparición del cabezal de lectura magnetorresistivo (MR) de película delgada, basado en materiales cuya resistencia eléctrica cambia en presencia de un campo magnético. En 1997 la misma empresa presentó un cabezal de lectura aún más sensible basado en el efecto de magnetorresistencia gigante (GMR por sus siglas en inglés). Si bien el funcionamiento de ambos sensores se basa en el cambio de resistencia que se produce al aplicar un campo magnético, el principio físico subyacente es totalmente distinto.



**Figura 2.15** Cabeza de Lectura/Escritura de magnetorresistencia gigante. [1]

Los sensores magnetorresistivos (MR) explotan el hecho de que en algunos materiales la resistencia eléctrica depende de la orientación relativa entre la dirección de circulación de la corriente y la dirección en la que se orienta la magnetización. Por este motivo también se la llama magnetorresistencia anisotrópica. El material más utilizado es el Permalloy ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) con una variación de resistencia de aproximadamente un 2%, lo que implica un aumento de sensibilidad de casi un orden de magnitud con respecto a los cabezales inductivos. A las C de L/E que utilizan la propiedad de GMR se los denomina *válvula de espín* y son estructuras de multicapas especialmente construidas para detectar las transiciones magnéticas que se producen entre los bits.

La C de L/E más reciente tiene cuatro elementos fundamentales: a) una capa antiferromagnética que puede ser natural o sintética. Se utiliza una gran variedad de antiferromagnetos naturales, entre los más comunes se puede mencionar manganeso-platino (PtMn), manganeso-iridio (MnIr), óxido de níquel (NiO), y hierro-manganeso (FeMn). Los antiferromagnetos sintéticos más usados son las tricapas de CoFe/Ru/CoFe. En esta estructura las dos capas ferromagnéticas de CoFe se acoplan antiparalelamente al ser separadas por una delgadísima capa de Ru no magnético; b) una capa ferromagnética de dureza intermedia (normalmente CoFe) que se crece sobre la anterior y queda ‘anclada’ al antiferromagneto, es decir cuesta bastante revertir la dirección de la magnetización aplicando un campo magnético; c) un espaciador no magnético de cobre u otro metal noble que separa las dos capas ferromagnéticas, y d) una capa magnética de muy bajo campo coercitivo (que suele ser de Permalloy) que está libre para moverse en la dirección del campo magnético aplicado. Debido a que el tamaño de bit que debe leer el cabezal es cada vez más pequeño, las dimensiones del sensor se han reducido drásticamente.

Para los discos actuales con densidades de más de 30 giga-bits (mil millones de bits) por pulgada cuadrada el espesor total de la multicapa no supera los 15nm, y las dimensiones laterales son menores a los 200nm. Como ya se mencionó, el cabezal de escritura sigue utilizando el principio inductivo para funcionar. La transición de los cabezales tradicionales a los de película delgada tiene como mérito, además del incremento de la sensibilidad, la relativa simplicidad de fabricación que permite una producción masiva. Actualmente en un solo sustrato de silicio de seis pulgadas de diámetro se pueden fabricar alrededor de 30.000 cabezales en forma simultánea.

El material elegido como núcleo magnético es el Permalloy debido a su muy buena respuesta a altas frecuencias (la velocidad de escritura es de cientos de megahertz) ya que tiene una magnetostricción (deformación con campo magnético) casi nula. Se está investigando otro tipo de aleaciones magnéticamente blandas que, además de buena respuesta en frecuencia, permitan generar los campos magnéticos cada vez más altos que son necesarios para revertir la magnetización de bits magnéticos con campos coercitivos cada vez más grandes. Entre los materiales más estudiados están el CoFe y el FeTaN con magnetizaciones de saturación que duplican a la del Permalloy.

A pesar de que las funciones de lectura y escritura son independientes, las C de L/E están integrados en un solo elemento pues es de fundamental importancia mantener un preciso alineamiento geométrico. La complejidad extrema de última tecnología de un sensor magnetorresistivo utilizado como lector de discos rígidos puede observarse en el esquema de la figura 2.16.



**Figura 2.16** Válvula de espín utilizada como cabeza lectora de última tecnología que se utilizan actualmente para leer información de los discos rígidos. [2]

De la figura 2.16 se aprecian 13 capas: El sustrato suele ser un monocristal de Si sobre el que se deposita una delgada capa de tantalio (Ta). El platino-manganeso (PtMn) es un antiferromagneto natural (NAF de sus siglas en inglés) que sirve para anclar al antiferromagneto sintético (SAF) formado por la tricapa CoFeRuCoFe.



Sobre esta capa se deposita una delgadísima capa de óxido (NOL: Del inglés nano oxide layer) y encima se crece otra capa de CoFe que es la que queda anclada al SAF. El cobre sirve de espaciador y la bicapa de CoFe-NiFe es la capa libre que rota al aplicar un campo magnético.

Ambas capas de NOL, la que se ubica antes de la capa superficial de Ta y la que está entre las dos capas de CoFe, cumplen la función de ‘reflectores de espín’ y permiten aumentar considerablemente los valores de magnetorresistencia llegando a más del 15% en los sensores más avanzados. [2]

La característica principal de las C de L/E es el sensor magnético y su superficie aerodinámica la cual le permite volar sobre el plato a una distancia del orden aproximado de los 10 nanómetros [nm], es decir 10 millonésimas de milímetro.

Esto se logra gracias a bajos relieves grabados en procesos de “escarbado”, conocidos en la industria de semiconductores como “etching” (grabación). El sensor magnético debe contar con características muy robustas y precisas, y estas características se definen desde la fabricación misma de la oblea de silicio y su transformación a cabeza lectora., se fabrican las cabezas lectoras con una precisión del orden de los nanómetros ( $1 \times 10^{-12}$ ), es decir dimensiones que representan un reto muy alto para la maquinaria utilizada en la medición y procesamiento de las obleas de silicio en la industria electrónica.

El proceso de fabricación de las cabezas parte de cortar a alta velocidad (12,000 RPM) las obleas de silicio en secciones de 60 cabezas lectoras, con navajas de granos de diamante. Posteriormente se pule la superficie aerodinámica para lograr un acabado espejo de la misma, y evitar turbulencias cuando vuela sobre el plato o disco magnético. Un siguiente proceso denominado “Harmony” es el encargado de grabar dicha superficie aerodinámica a través de complejos equipos de alta tecnología, teniendo como resultado una superficie de hasta 3 niveles de grabado [Hitachi GST México, 2006].

La densidad de información que se puede almacenar en un disco rígido ha crecido en forma sostenida Este ritmo de crecimiento se ha incrementado recientemente más allá de lo previsto debido a la introducción de tecnologías revolucionarias basadas en descubrimientos realizados solo unos años antes de que el producto llegue al mercado. Con los sistemas actuales de grabación longitudinal se espera aumentar la densidad hasta unos 200 gigabits por pulgada cuadrada (casi un factor 10 comparado con un disco actual). Según el método tradicional de grabación de datos, discos duros graban y guardan datos de forma longitudinal sobre un plano horizontal. Con el sistema perpendicular sin embargo, los bytes se alinean de forma vertical, lo que permite disponer de mayor espacio y guardar más información. La migración a medios de grabación perpendicular permitiría llegar a valores de densidad de hasta 1 terabit por pulgada cuadrada (1 terabit = 1 billón de bits). Para aumentar aún más la densidad de bits se han propuesto medios prediseñados en los que los bits están formados por dominios magnéticos aislados en una matriz no magnética. Otros esquemas proponen adaptar los microscopios de fuerza atómica para guardar información en escalas de átomos individuales.

Según lo reportado en la literatura, hay varias clases de materiales magnéticos suaves que se emplean para la construcción de núcleos magnéticos de las cabezas. La tabla 2.2 lista algunos materiales comerciales usados en la tecnología de grabación, sus propiedades magnéticas y su dureza.

**Tabla 2.2** *Propiedades de materiales magnéticos blandos empleados para la fabricación de cabezas* [Bhushan B., 1990].

Material	Composición en masa	Permeabilidad		Coercitividad [Oe]	Magnetización de saturación $G=1 \times 10^{-4} \text{ T}$	Resistencia eléctrica [ohm-cm]	Microdureza Vickers [kg/mm <sup>2</sup> ]
		$\mu_i$	$\mu_{max}$				
Molibdeno Permalloy	79 Ni 17 Fe 4 Mo	20,000	100,000	0.05	87,000	100	120
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 <sup>a</sup> Ti <sup>a</sup>	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
Intuctivo (MR)	70 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 30 TiC	-	-	-	-	-	-

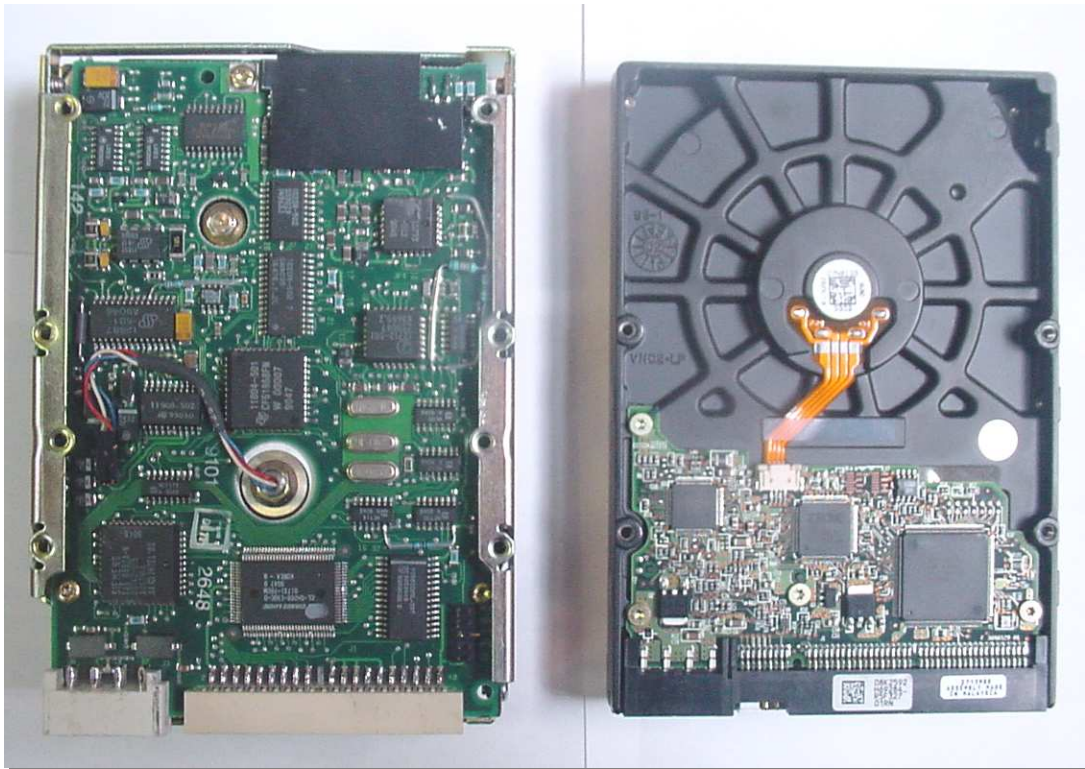
<sup>a</sup>Poca cantidad

### C) TARJETA CONTROLADORA

El espacio reducido entre los componentes en una tarjeta de circuitería impresa (TCI) debido a la miniaturización de dispositivo es factor que ha hecho fácil la interacción de componentes en los ambientes corrosivos.

En el presente se usan dispositivos electrónicos bajo condiciones de servicio que nunca se pensaron hace unos años. Simultáneamente, el aumento en el uso de la electrónica también ha acrecentado la demanda de la fiabilidad. La demanda en la miniaturización, multiplicidad de materiales utilizados, efecto de los residuos de fabricación junto con el ambiente imprevisible ha conllevado a serios problemas de corrosión. El consumo de la electrónica es un sector que ha ido en aumento dónde el entorno es sumamente variable.

El tamaño global de un equipo electrónico (Lap Tops, Teléfonos Celulares etc..) también ha estado disminuyendo en una proporción más rápida. El tamaño de los circuitos integrados se ha disminuido por un factor de 10 en el último par de años y el espacio entre los componentes de un circuito integrado se ha reducido hasta llegar a los 200 [nm] aproximadamente.



**Figura 2.17** Comparativo de la Miniaturización. Es claro que el tamaño y la distancia entre los elementos que componen una tarjeta controladora de Disco Duro han decrementado su tamaño de manera significativa.

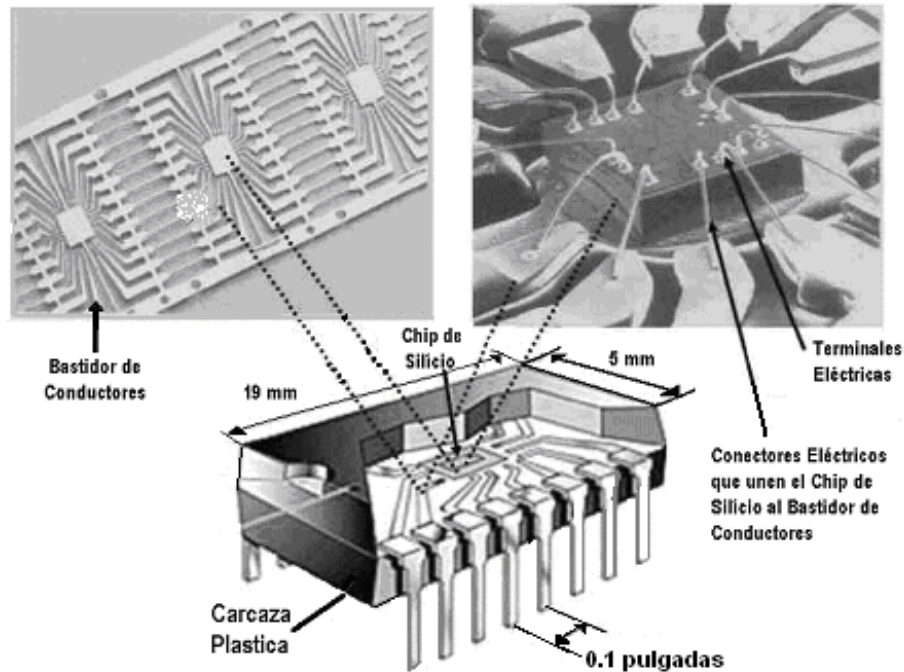
Componentes que conforman la Tarjeta Controladora de un Disco Duro:

**1) CIRCUITOS INTEGRADOS (CI):**

Un circuito integrado básicamente está hecho de silicio, aunque se usan otros metales como oro, plata, cobre, cinc, aluminio o sus aleaciones para varios propósitos como conectores, impulsores, terminales eléctricas etc.

Los Conectores se utilizan para el contacto eléctrico entre los diferentes elementos activos en la oblea de silicio. La Figura 2.18 muestra los diferentes componentes de un circuito integrado. La oblea de silicio consiste en semiconductores hechos por medio de compensación de impurezas. Los elementos del CI se conectan a la TCI usando un bastidor de conductores.

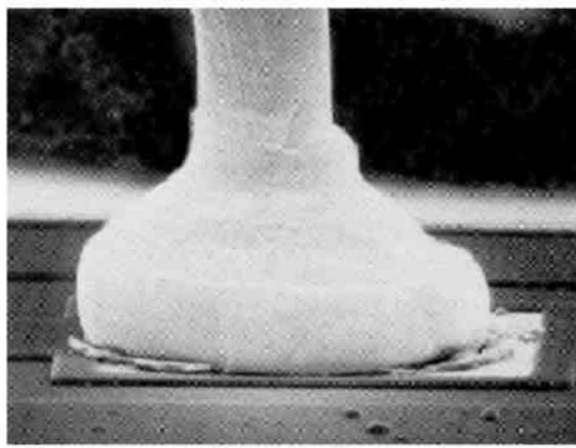
El bastidor de conductores es la conexión entre las terminales eléctricas de la oblea de silicio y el perímetro macroelectrónico de la circuitería de la TCI. Las terminales eléctricas de la oblea de silicio son hechas de oro y se conectan al bastidor de conductores mediante un proceso de unión usando un hilo metálico de oro o aluminio para la conexión eléctrica.



**Figura 2.18** Circuito integrado y los componentes relacionados [4].

El bastidor de conductores es a menudo hecho de aleaciones como  $\text{Cu/Zn}_{37}$ ,  $\text{CuFe}_2$ ,  $\text{FeNi}_{42}$  o  $\text{CuNiZn}$ . El final del bastidor que necesita ser unido a la oblea de silicio es selectivo tratado con 99.9% de oro o 99.9% de plata. El final del bastidor es tratado con un recubrimiento soldable para ser conectado a la TCI. Los CI son protegidos mediante un encapsulamiento en un cerámico.

Diferentes métodos son usados para unir el hilo metálico al bastidor de conductores. Estos son: Unión Ultrasónica (U/S), Unión termosónica (T/S) y Unión de termocompresión (T/C). Hay dos maneras de unir el hilo metálico a la oblea de silicio. Un proceso se denomina bola de unión y la otra cuña de unión.

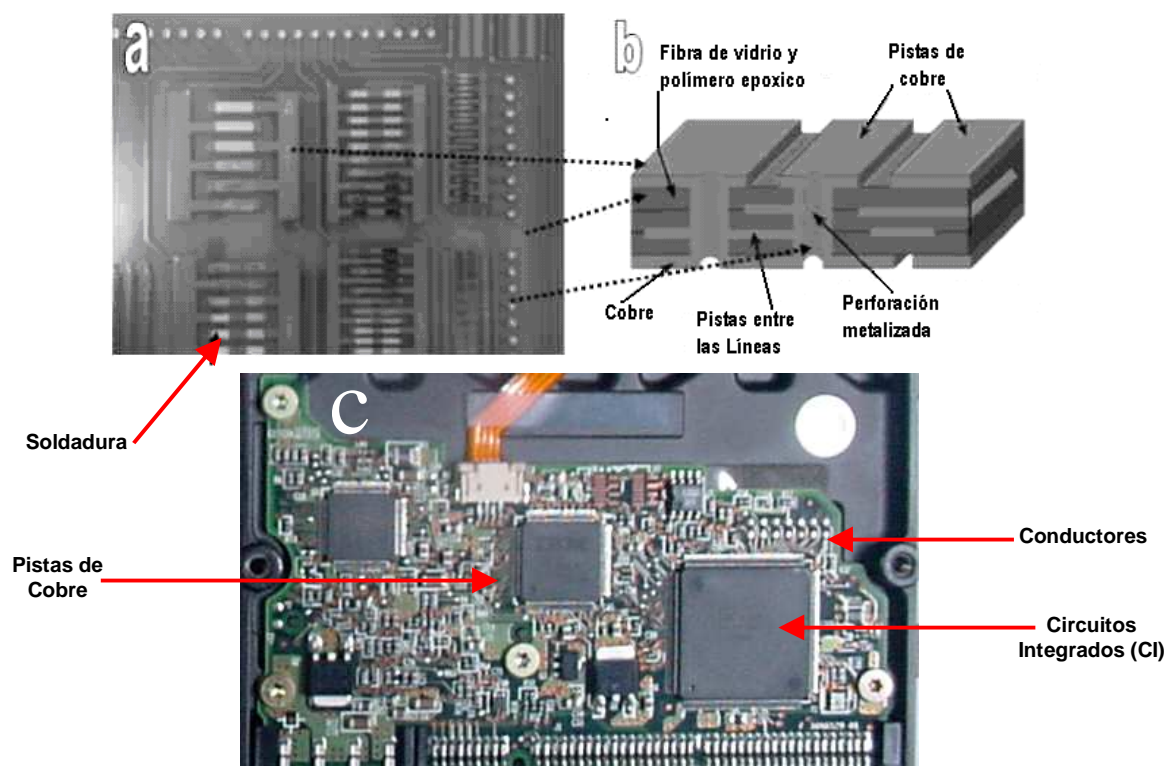


**Figura 2.19** Se muestra una bola que une el hilo metálico de oro al aluminio PVD recubierto en el chip de silicio [4].

El cuadro también muestra cómo el material es comprimido fuera del área de la interfaz. La bola de unión es posible con muchos materiales diferentes Au/Au, Au/Ni, Au/Ag, Al/Al, y Cu/Al por nombrar algunos. Pocos casos de corrosión han sido reportados informado en partes de la bola de unión, aunque la posibilidad de corrosión galvánica está presente.

## 2) TARJETA DE CIRCUITOS IMPRESA

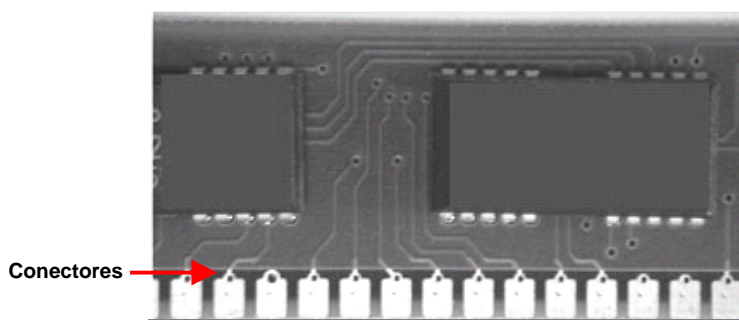
La TCI es una estructura macroelectrónica comparada con un Circuito Integrado, dónde se integran varias partes electrónicas (incluidos los CI) en una fibra de vidrio y polímero epóxico con líneas interconectadas como se muestra en la Figura 2.20c. Una TCI típica consiste en trayectorias de cobre conectadas e integradas en la fibra de vidrio reforzadas por el polímero epóxico (Figura 2.20a). La TCI puede estar fabricada de una serie de estructuras estratificadas (de doble a multicapa) con cada capa consistente en líneas del interconexión (Figura 2.20b). La línea de cada capa se conecta a las líneas siguientes a través de pequeñas cavidades recubiertas. Las conexiones son soldadas con un recubrimiento de Sn-Pb. Gracias a las propiedades conductoras del oro, una delgada película de dicho material es usada para los conectores. La Figura 2.20c muestra la TCI con varios componentes montados en ella.



**Figura 2.20** Descripción de una TCI: (a) TCI con las líneas de conexión, (b) Esquema del corte transversal de una TCI y (c) TCI con componente montados sobre ella. [4].

### 3) CONECTORES ELECTRÓNICOS:

Hay un espectro grande de materiales usados en los conectores electrónicos. La Figura 2.18 muestra un tipo de interfase de conexión usada en las tarjetas impresas con un recubrimiento de oro en la parte superior de dichos conectores. Los materiales clásicos usados para la electrónica de bajo-voltaje son el cobre y sus aleaciones que son los electrochapados con un metal noble como oro. La tabla 2.3 muestra algunas de las combinaciones de materiales usados para los conectores electrónicos.



**Tabla 2.3**

Materiales básicos	CuSn <sub>6</sub> CuBe <sub>2</sub> CuNi10S <sub>2</sub> X12CrNi
Superficie de conexión	Oro duro Paladio + oro duro Paladio/níquel + oro duro Níquel

**Figura 2.21** Unión entre pistas de cobre y conectores en la TC [Rajan A., et al., 2006]

El uso del paladio y las aleaciones paladio-níquel es decreciente debido al alto costo del paladio. Sin embargo un recubrimiento de oro o paladio es necesario para prevenir la difusión del níquel. Hoy en día los conectores electrónicos son principalmente manufacturados con un recubrimiento electrolítico devanado que es un proceso eficaz y barato para que sea posible hacer la deposición selectiva del metal noble exactamente en el área de contacto.

### 4) MATERIALES USADOS EN EL ENCAPSULAMIENTO ELECTRÓNICO.

Los materiales generalmente usados en el encapsulamiento electrónico son materiales metálicos o poliméricos. El material usado debe tener buena conductibilidad para alcanzar una buena protección a una posible Interferencia Electromagnética. Por consiguiente, si se usan polímeros, es necesario recubrir la superficie con un material metálico para aumentar la capacidad de protección; un recubrimiento grueso de cobre/níquel o aluminio es usualmente empleado. El recubrimiento de cobre/níquel es normalmente hecho por electrochapado, mientras que el recubrimiento de aluminio se lleva a cabo mediante el proceso de deposición física de vapor<sup>5</sup> (PVD). Los materiales metálicos comunes usados para las partes estructurales electrónicas se deben someter a un proceso de galvanizado/cromado. Recientemente se están usando metales ligeros como el magnesio en el empaquetamiento electrónico. Las partes hechas con magnesio son más ligeras y tienen una protección similar a la que ofrece el acero la EMI y pesa mucho menos, así que las estructuras ligeras pueden producirse con magnesio. Desde el punto de vista de la corrosión; algunas propiedades de los materiales de encapsulación son extremadamente importantes; en cuanto a la corrosión, el deterioro del propio material y el medio que lo rodea, se debe de considerar: la permeabilidad del agua, la humedad de la superficie, y probablemente la transferencia de calor.

<sup>5</sup> Del Inglés Physical Vapor Deposition (PVD): Proceso que bombardea la superficie con partículas de revestimiento para producir capas finas de revestimiento.

# CAPÍTULO 3

## *DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS EN DISCOS DUROS*

---

### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

Todo equipo electrónico es propenso a sufrir deterioro ya sea por efectos eléctricos, magnéticos mecánicos o químicos. En la actualidad y a medida que transcurre el tiempo, el avance tecnológico de los equipos electrónicos requiere del uso de una gran cantidad de componentes y un rápido procesamiento de señales, lo que da como resultado la necesidad de fabricar componentes más pequeños y espaciados más reducidos, así como elementos metálicos muy delgados. Antes de salir al mercado estos componentes tienen que superar las condiciones climáticas del lugar donde son manufacturados, ya que siempre existirán niveles extremadamente pequeños de contaminantes que provocan problemas de corrosión

En general se entiende que una falla ocurre cuando el producto deja de satisfacer alguna de sus especificaciones funcionales, además es útil entender la diferencia entre modo y mecanismo de falla: modo de falla se refiere al síntoma por el cual la falla es observada; mientras que su mecanismo describe el fenómeno o el proceso por el cual la falla es producida.

Las fallas en los equipos electrónicos se dan no sólo de manera permanente sino también temporal o intermitente, diferentes mecanismos las provocan, dependiendo de las condiciones atmosféricas de la zona e impactando de diversas maneras según la composición del material y de la función que éste desempeñe.

Puesto que los discos duros son dispositivos electromecánicos, están sujetos a varias limitaciones en su velocidad y rendimiento. Cada petición de Entrada/Salida requiere que los diferentes componentes del disco funcionen juntos para satisfacer la petición. El rendimiento general del disco duro está determinado por la suma del rendimiento de los componentes individuales mientras su estado físico sea óptimo, puesto que un mal uso o falta de mantenimiento de los mismos así como la acción de condiciones externas, pueden alterar su fisonomía y funcionalidad y por ende producir cambios que resultan en una disminución de su rendimiento.

Los componentes electrónicos son al menos un orden de magnitud más rápidos que los componentes mecánicos. Por lo tanto, son los componentes mecánicos los que tienen el mayor impacto en el rendimiento general del disco duro.

Por otro lado, los dispositivos electrónicos son formados por la asociación de diferentes elementos funcionales (componentes electrónicos, componentes mecánicos, medios magnéticos) que, a su vez, son constituidos de diferentes materiales, por lo tanto los procesos de deterioro deben ser examinados en esos tres niveles.

El deterioro en los discos duros se pueden presentar en dos formas, la primera es por medios electromecánicos entre los elementos que constituyen el disco y una segunda por medios ambientales o incluso a través de la combinación de estos fenómenos.

En general, los discos pueden fallar de tres formas: electrónica, mecánica y lógica. Así mismo pueden presentar fallas por combinación de efectos o bien a causa de la corrosión en la electrónica que puede causar fallas con consecuencias de diferentes grados de importancia, pudiendo variar desde cambios en la apariencia del producto, hasta fallas mecánicas y eléctricas que pueden terminar por inhabilitar el producto.

### 3.2 FALLA ELECTRÓNICA.

Las fallas electrónicas usualmente se relacionan a problemas de la tarjeta controladora del disco duro. La computadora puede sufrir una sobrecarga eléctrica que cause la descompostura o quemado de algún circuito integrado lo cual ocasiona que la TC sea indetectable al BIOS. Alternativamente, el problema puede ser relacionado con el firmware<sup>6</sup> - corrupción en el microcódigo en la tarjeta controladora del disco duro -. Una falla en el firmware puede proporcionar una variedad de síntomas que dependen del tipo de disco y severidad de la corrupción.

Cualquier disco duro puede fallar electrónicamente y en la mayoría de las fallas eléctricas los datos no se dañan y por lo tanto es recuperable la mayoría de las veces. La falla de los microcircuitos es otra causa común, atribuida al fabricante.

El deterioro en circuitos y dispositivos electrónicos es también causa de inconvenientes ya que normalmente los CI, son construidos a escalas reducidas, en el rango de fracciones de micras. Estas dimensiones minúsculas aplicadas a su manufactura son el mayor problema debido a que evidentemente esto facilita el daño de los microcomponentes.

Se debe evitar que el disco duro se coloque en zonas donde haya acumulación de calor dentro del Gabinete (CPU). Esta es una de las causas más frecuentes de las fallas de los discos duros, sobre todo cuando algunas piezas se dilatan más que otras.

### 3.3 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 el cabezal de lectura/escritura, en el motor, etc. Una de las fallas mecánicas más comunes es la colisión entre los componentes de la interfase magnética cabeza – plato (IMCP), con diferencias en la severidad, La IMCP consiste de: una capa protectora de carbono, una película lubricante encima de la capa protectora de carbono del plato, y la C de L/E junto con el espacio magnético entre el plato y la cabeza que es actualmente aproximadamente 10 [nm]. Cada uno de estos componentes afecta significativamente la densidad del almacenamiento de la UDD.

---

<sup>6</sup> Firmware: Programa que establece la lógica de más bajo nivel y controla los circuitos electrónicos de un dispositivo. Se considera parte del hardware por estar integrado en la electrónica del dispositivo, pero también es software, pues proporciona la lógica y está programado por algún tipo de lenguaje de programación.



Estas colisiones o contactos ocurren cuando las cabezas y el plato entran en contacto momentánea o continuamente. Las colisiones pueden ser causadas por movimientos de la computadora, electricidad estática, sobrecarga eléctrica, fallas en las cabezas (mecánicas), adhesión de la IMCP, contaminación debida a partículas con orígenes diversos depositadas en la superficie del plato, gases, compuestos orgánicos factores ambientales (condensación) etc. En este rubro se agrupan algunos de los inconvenientes que se producen por la corrosión y sus productos. Otra causa de falla mecánica es la caída de la C de L/E. a causa de colisiones, corrosión o por cambios en la presión interna de la UDD.

La UDD requiere un cierto rango de presión atmosférica para operar apropiadamente. La conexión al ambiente y la presión externa es por medio de un orificio el cual cuenta con un pequeño plástico autoadherible ubicado en la carcasa. Si la presión atmosférica es demasiado baja, no habrá bastante alzamiento para el vuelo de la cabeza, no estará en la altura apropiada, y hay un riesgo de su caída y la pérdida de datos.



a)



b)

**Figura 3.1** Película autoadherible (a), sobre el orificio (b) el cual nivela la presión interna de la UDD con la presión exterior.

La contaminación de la IMCP es considerada como la causa principal para degradar el desempeño del disco duro; aunque la carcasa dentro de la cual se encuentra el cabezal de Lec./Esc. y el medio magnético (plato) cuenta con un sellado exterior que protege principalmente el interior de la UDD del polvo, condensación, y otras fuentes de contaminación; la UDD requiere del flujo de aire para su óptimo funcionamiento; este flujo de aire pasa a través de un filtro interior para quitar cualquier contaminante sobrante de la fabricación, cualquier partícula o químicos que pueda haber entrado en el interior de la UDD de algún modo, y cualquier partícula generada internamente en el funcionamiento normal.

Cuando el disco gira a la velocidad que opera, la alta velocidad causa que el aire fluya por debajo de las cabezas y las eleva fuera de la superficie del disco - el mismo principio de alzamiento opera en las alas del avión y les permite que vuelen - El Aire se requiere para que las cabezas funcionen por lo tanto el interior de un disco duro no se mantiene bajo un vacío.

Este filtro especial permite pasar el aire entre el interior del disco y el exterior para igualar cualquier diferencia de la presión atmosférica que puede existir entre los dos ambientes. Esto permite mantener un equilibrio apropiado cuando el tiempo cambia, o el disco es llevado a una altitud diferente. El aire es un componente esencial para el funcionamiento del mecanismo de vuelo de las cabezas. A pesar de construir los discos duros en los cuartos limpios y tomando otras precauciones durante su fabricación, un filtro pequeño es colocado en el interior de la unidad como una medida de seguridad agregada. Este filtro se diseña para reducir las oportunidades que la contaminación de diversas fuentes termine en la superficie de los platos o bien obstruya la IMCP.



a)



b)

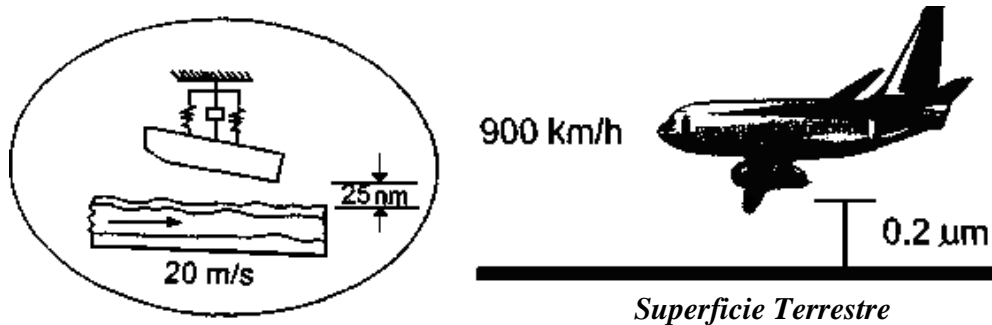
**Figura 3.2** (a) El Filtro es colocado en la tapa del disco duro, permitiendo igualar la presión y conserva el flujo de aire limpio tanto interno como externo (b).

La superficie de los medios magnéticos debe protegerse del daño debido a los contactos intermitentes con la C. de L/E y del daño de la corrosión debido al ambiente. Es por eso que se debe de entender y analizar los factores que influyen en el deterioro de la IMCP. Dos son los principales factores que son responsables de dicho deterioro los cuales son: Efectos de la miniaturización en la IMCP y Efectos de la contaminación en la IMCP.

### 3.3.1 EFECTOS DE LA MINIATURIZACIÓN EN LA IMCP.

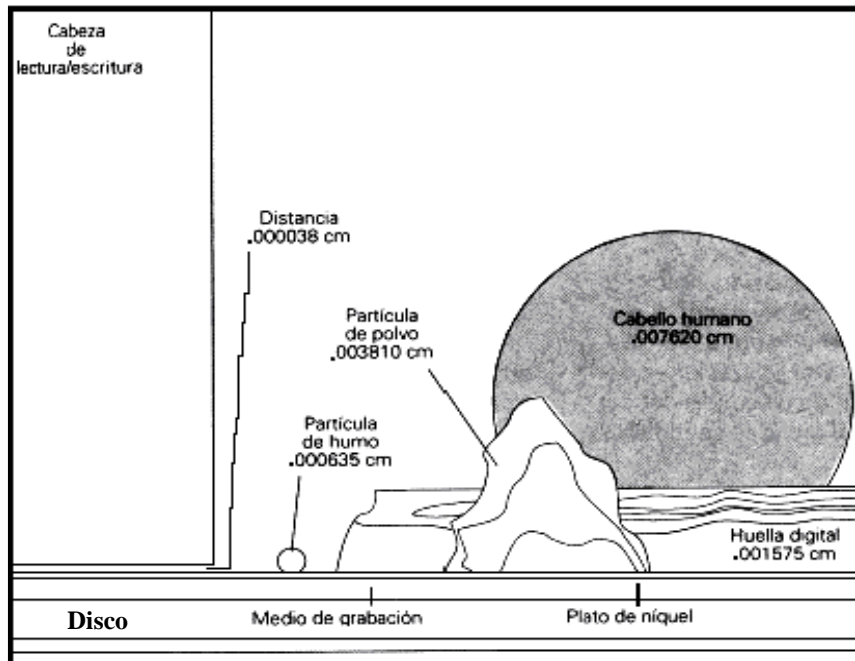
Las densidades del área de una cinta comercial y las UDD fabricadas en el año 2000 eran de  $1/2$  [Gbits/in.<sup>2</sup>] y 10 [Gbits/in.<sup>2</sup>], respectivamente; éstos datos aumentaron en el 2005 a 4 y 100 [Gbits/in.<sup>2</sup>], respectivamente. La superficie de las densidades del almacenamiento magnético del orden de 100 [Gbits/in.<sup>2</sup>] para una unidad de disco duro corresponde en rastrear densidades de 150Kbits a 200Kbits por pulgada (6 a 8 [Kbits/mm]) y densidades lineales de 500 a 600 [Kbits/in] (20 a 30 [Kbits/mm]). Así, la dimensión de un bit para estas densidades está en el orden de 160 [nm] x 40 [nm] [Bhushan B., 2006]. Debido a que el tamaño de bit que debe leer la C de L/E es cada vez más pequeño, las dimensiones del sensor y la distancia entre la C de L/E y el medio magnético(superficie del plato) se han reducido drásticamente pueden presentarse efectos como la posible colisión entre el medio magnético y la C de L/E y esto conlleva al deterioro físico del plato y la C de L/E donde en estas pequeñas zonas dañadas, las condiciones ambientales toman importancia para los procesos corrosivos, al generar una condición que influye en el deterioro de la superficie de los discos duros por efecto de la humedad depositada en la superficie del plato entre otros factores que contribuyen al fallo del disco duro.

Para los discos actuales con densidades de más de 30 gigabits (mil millones de bits) por pulgada cuadrada el espesor total de la multicapa no supera los 20 [nm], y las dimensiones laterales son menores a los 200nm. En los discos duros actuales, la separación entre la cabeza de lectura y el medio magnético tiene un valor aproximado de entre 20 a 50 [nm] y rugosidades con rangos de 1.5 a 10 [nm] entre la cabeza y el medio magnético [Bhushan B., 2006]. Como una analogía, la C de L/E vuela sobre la superficie del medio magnético con una altura de 25 [nm] y una velocidad relativa de 20 m/s. Esto es equivalente a un avión que vuela en un espacio físico de 0.2 [um] entre este y la tierra y una velocidad de 900 km/h (Figura 3.3). Esto es lo que una unidad de disco experimenta durante su funcionamiento.



**Figura 3.3** Analogía: Un cabezal que vuela sobre la superficie del disco comparado con el vuelo de avión que vuela sobre la tierra con un espacio físico mínimo [Bhushan B., 2006].

La atmósfera, tiempo del uso, y contaminación (externa e interna debida al uso) juegan un papel significativo en la confiabilidad y la vida útil de la IMCP, además el vuelo de la C de L/E debe ser insensible a los cambios en la presión atmosférica.



**Figura 3.4** [Norton P., 1995]

Como se puede ver en la figura 3.4, debido a que materiales como el cabello, huellas digitales y partículas de polvo o humo son mucho más gruesas que la distancia entre el disco y el cabezal de lectura / escritura existen colisiones entre estos lo que se traduce en daño permanente tanto en el disco como la cabeza de lectura.

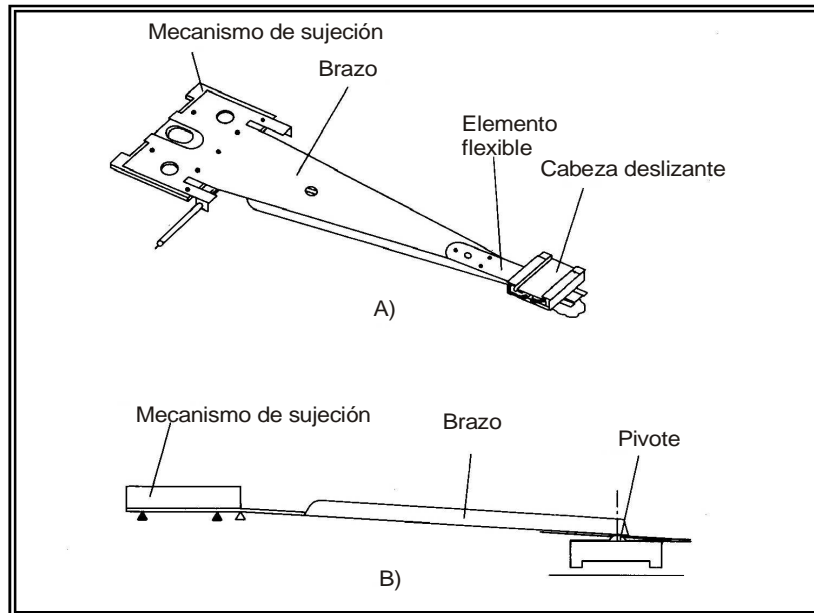


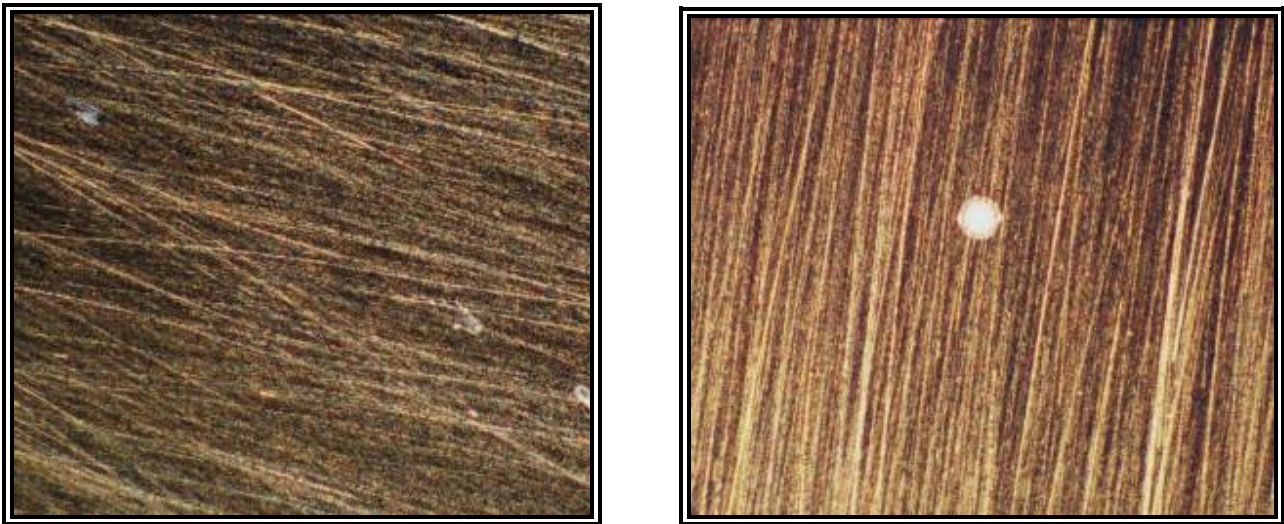
Figura 3.5 Esquema del Cabezal de Lectura/Escritura [Bhushan B., 1990]

El marcado avance tecnológico en los últimos 20 años de la industria del almacenamiento magnético no solo se ha presentado en el plato de los discos duros si no también en el Cabezal de Lectura/Escritura, prueba de ello es la miniaturización tanto del tamaño y por ende del peso de la C de L/E como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Proceso evolutivo en la miniaturización de la Cabeza. La Cabeza femto reduce las dimensiones lineales en un 30% y la masa en un 63% comparados a la cabeza de escritura pico. [Hitachi GST 2006]

Tipo de Cabeza	Mini 100%	Micro 70%	Nano 62%	Nano 50%	Pico 30%	Femto 20%
Año	1980	1986	1991	1994	1997	2003
<i>Dimensiones, [mm]</i>						
Longitud	4.00	2.80	2.50	2.00	1.25	0.85
Ancho	3.20	2.24	1.70	1.60	1.00	0.70
Altura	0.86	0.60	0.43	0.43	0.30	0.23

Según la reportado en la literatura, se plantea que un medio magnético con un acabado superficial liso presenta un aumento en la adherencia, fricción, y temperaturas de la interfase (medio magnético / cabezal de lectura/escritura), además al tener un espacio físico tan reducido en dicha interfaz puede existir contacto entre las rugosidades de los elementos en cuestión. [Bhushan B., 2006]



**Figura 3.6** Aspecto de la superficie del Plato (Medio Magnético) después de una serie de contactos con el deslizador de la C de L/E.. Se observa ralladuras severas que conllevan a la pérdida de material lubricante y desprendimiento de la capa protectora de carbono dejando al descubierto el material magnético e incluso el sustrato.

En la figura 3.6 se puede apreciar claramente el desgaste de las capas del plato a causa del constante contacto de la C de L/E de con la superficie de dicho plato que normalmente tienen una capa protectora y lubricante en su superficie que puede tolerar una cierta suma de sollicitaciones antes de que pierda esta característica protectora.

#### 3.3.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA IMCP.

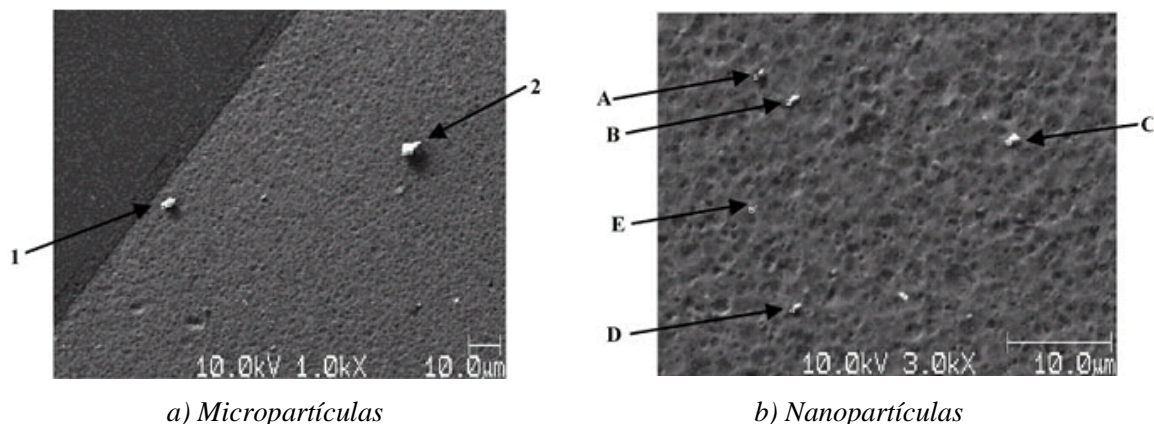
La integridad de la IMCP es susceptible a la contaminación que se da en el interior de la UDD, la cual tiene su origen del deterioro de componentes internos de la UDD. Éstos pueden venir de cualquiera o todos los componentes internos o externos de la UDD que contienen partículas, adhesivos, grasas, aceites, capas, películas orgánicas, y polímeros, además de la contaminación externa que tiene origen de fuentes muy variadas, las cuales se introducen en el interior de UDD. Esta contaminación influye en el deterioro progresivo de la IMCP a causa de la adhesión, fricción, carga tribológica, caída de la C de L/E, etc. Las fuentes más comunes de contaminación y su efecto en la UDD son:

##### A) Generación de Partículas.-

La contaminación por medio de Partículas, de origen externo y/o interno, compuestos orgánicos, gases volátiles se vuelve un problema importante en la actuación y durabilidad de unidades de disco duro, [Bhushan B., 1996]. La fuente de estas partículas podría ser los contaminantes de fabricación y ensamble o

bien partículas residuales generadas durante el funcionamiento del disco duro y de la contaminación del medio ambiente.

Muchos investigadores han informado que las partículas contaminantes son perjudiciales a la interfase magnética [Hiller B., 1995]. Se ha informado que se ha encontrado que la aglomeración de partículas suaves o duras en el área conica disminuyen la presión hidrodinámica y la altura de vuelo del cabezal, acarreando un aumento en el contacto de la IMCP y por consiguiente deterioro tanto de la C de L/E como de la superficie del plato [Uy J.C. 1990, Tokuyama M., et al. 1987,1994]. Además las concentraciones significantes de nanopartículas en la superficie dan lugar a anomalías friccionales e interacción acústica entre la cabeza y el plato [Karis T.E, et al.].



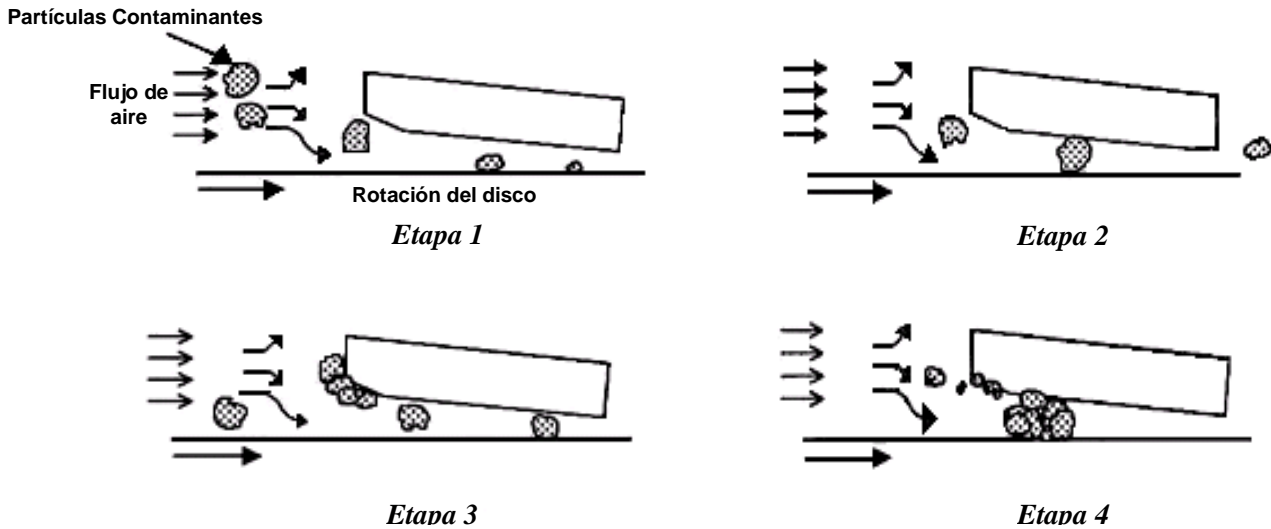
**Figura 3.7.** (a)(b) Micrografía mediante SEM de partículas adheridas al deslizador de la C de L/E. [Eui S., et al., 2000]

Las partículas de Contaminantes pueden entrar en la interfase magnética a través del flujo de aire y podrían incrustarse al plato y/o superficies de la C de L/E. El movimiento de las partículas contaminantes entre el deslizador de la C de L/E y el movimiento del plato es un factor importante para entender el inicio de la falla en la IMCP debido a la contaminación. El movimiento de estas partículas suspendidas es gobernado por el flujo del aire en y alrededor de la IMCP. El flujo de aire es afectado por la velocidad de giro del plato, textura de la superficie del plato y el tipo de cabeza usada. Además de estos factores, los materiales y tamaño de la partícula también juegan un papel importante en la falla de la IMCP.

El mecanismo de falla de la IMCP por las partículas aglomeradas se muestra en Fig. 3.8. Es mostrada la secuencia del modo falla de la interfase magnética.

En la etapa 1, las partículas aerotransportadas se aproximan a la IMCP y algunas de ellas se depositan en la superficie del plato. En la etapa 2, las partículas aerotransportadas impactan la superficie del plato y generan las partículas debido al desprendimiento de material. En etapa 3, partículas aerotransportadas y generadas por el desgaste de la superficie del plato se aglomeran en el borde de entrada debido a la presencia de lubricante. Las Partículas aglomeradas en el futuro en el borde de entrada se caerán cuando el tamaño de partículas aglomeradas exceda un valor crítico. En la etapa 4, estas partículas aglomeradas en el borde de entrada caen sobre la superficie del plato y entran en la interfase magnética por

lo que se aumenta el coeficiente de fricción. Una o más partículas aglomeradas dañan el plato y el cabezal, produciendo la falla definitiva de la interfase magnética.



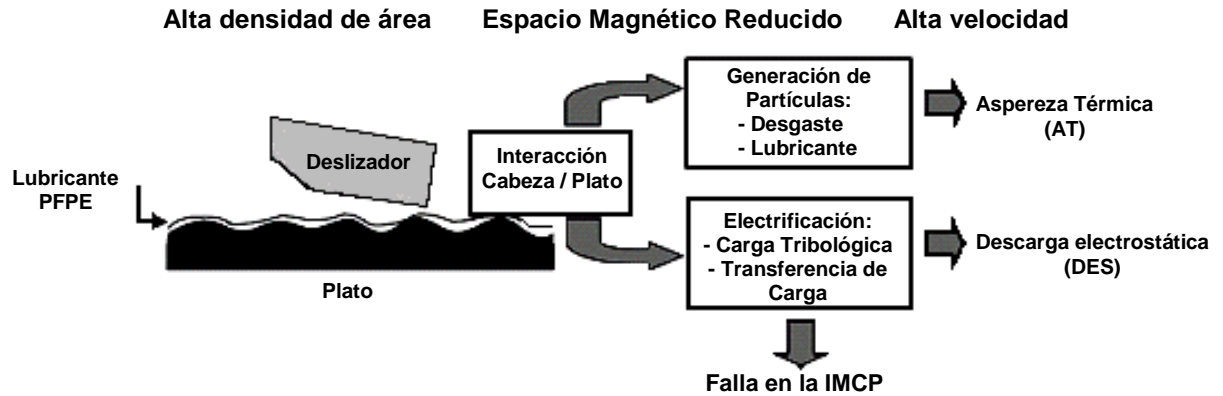
**Figura 3.8** Interacción entre las partículas y la IMCP [Eui S., et al., 2000].

La contaminación por partículas genera daños y deterioro causados por la interacción entre estas y la IMCP que va desde la deformación ligera hasta desprendimiento severo del lubricante y la capa protectora de carbono dejando al descubierto la capa magnética. La profundidad del conjunto de rayones generados en la superficie del plato y C de L/E obedecerá a la fuerza y a la acumulación de dichas partículas (qué dependerá del tipo del lubricante y de las propiedades del material de las partículas). Además, la generación de partículas, causa un fenómeno conocido como *carga tribologica* en la misma IMCP, sobre todo en los contactos durante la operación de despegue-aterrizaje (CSS)<sup>7</sup> de la C de L/E.

Por otro lado en la figura 3.9, se muestra que la generación o filtración de partículas contaminantes en la IMCP debidas a la remoción del lubricante y/o por el desgaste de los componentes propios de la UDD, o bien por procesos industriales, y el medioambiente del funcionamiento de la UDD pueden causar aspereza térmica (AT), problema que puede afectar seriamente la fiabilidad del plato.

Además, el aumento de carga tribologica en la interfase puede causar descargas electrostáticas (DES) y la desintegración del lubricante. A su vez, DES puede causar el deterioro o la fusión de las conexiones y sensores de las cabezas del tipo MR o GMR. [D. Y. Lee., et al., 2004].

<sup>7</sup> Del inglés: Contact - Start/Stop (CSS), Sitio donde se ubica la C de L/E cuando no realiza la función de Lectura/Escritura, en este sitio no se almacena ninguna información y se encuentra en la parte interna del plato.



**Figura 3.9** La interacción de la IMCP y partículas contaminantes pueden ocasionar la falla definitiva de la IMCP debido a problemas como la AT y la DES [D. Y. Lee., et al., 2004].

### B) Vapores y Compuestos Orgánicos Volátiles.-

La generación de vapores (externos) de los materiales de la UDD puede afectar el desempeño de la IMCP adversamente. El riesgo de la fiabilidad a causa de la contaminación por medio de estos vapores continúa aumentando a la par de la exigencia de la capacidad de almacenamiento, la reducción de la fuerza de vuelo de la C de L/E y de la aspereza de la superficie del plato.

La miniaturización y reducción del costo en la industria del almacenamiento magnético han causado una inclinación hacia técnicas de ensamble diferentes. El incremento en el uso de adhesivos y materiales de plástico están reemplazando las partes de metal en los productos actuales. Los gases producidos por materiales como los monómeros, solventes y aditivos puede afectar el desempeño de la IMCP por muchos mecanismos diferentes. La fricción estática, resistencia de uso, deterioro de la cabeza y plato y la generación de corrosión en el plato son todos los modos de falla que pueden exacerbarse por los gases.

La tensión que ejercen los gases producidos por cada componente dentro de la UDD sobre la IMCP debe entenderse completamente. Los Informes en la literatura de los efectos por la contaminación de gases en la IMCP se han concentrado en modelos compuestos como los plastificantes, ftalato<sup>8</sup>, siloxanos<sup>9</sup> e hidrocarburos. [Jesh S.M., et al., 1999].

La mayoría de estos materiales se diseñan para contener niveles bajos de contaminantes volátiles. Sin embargo, algunos componentes pueden ser fuente de cantidades grandes de compuestos orgánicos volátiles ya que ellos pueden absorber agentes de la atmósfera o bien de su empaquetamiento original y después descargarlo durante la activación térmica debido al funcionamiento de la UDD cerca del plato y/o de la IMCP. Varios materiales que son necesarios para el funcionamiento exitoso de la UDD son intrínsecamente fuentes de especies orgánicas volátiles.



<sup>8</sup> Grupo de compuestos químicos principalmente empleados como plastificadores.

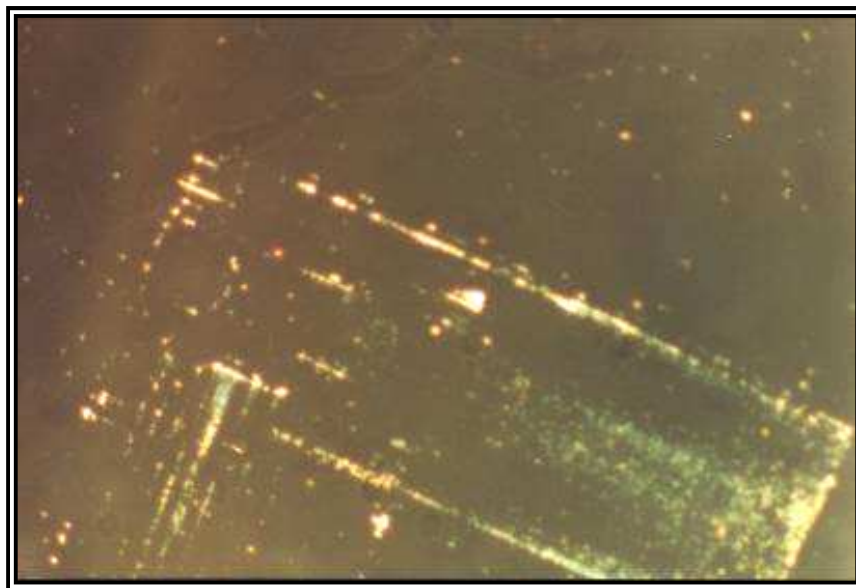
<sup>9</sup> Grupo de metilos unidos a un átomo de silicio.

### C) Absorción de Humedad.-

Las condiciones de alta humedad en el medio ambiente pueden ocasionar la entrada de humedad hacia la UDD. Esta humedad puede ocasionar la corrosión de los componentes internos y el deterioro de propiedades como la resistencia eléctrica, la conductividad térmica, la resistencia física y el tamaño. La acumulación extrema de humedad en la TC puede producir cortocircuitos, baja conductividad etc.; en el interior de la UDD puede provocar fricción, generación de partículas y sobre todo la adhesión de la IMCP ya que la película de agua formada en la superficie del plato se incrementa no linealmente teniendo una humedad alta y causando adhesión de la interfase magnética. Además de la humedad, la adhesión y la fricción son fuertemente afectadas por el grado de aspereza de la superficie, la conformidad geométrica entre el deslizador y plato, propiedades físicas y químicas del lubricante y su espesor, propiedades físicas y químicas del deslizador de la C de L/E, materiales de la capa protectora del plato, cambios de temperatura y la presencia de una película lubricante delgada en la superficie del plato.

Según lo reportado en la literatura [Bhushan B., 2006], un medio magnético liso tiende a adherirse a la cabeza magnética lisa. La adherencia del líquido lubricante con el medio magnético, que es especialmente mayor cuando la película del lubricante líquido presenta humedad que es absorbida por la IMCP (en la interfase se presentan rangos de temperatura de entre 56°C y 81°C). La fuente del líquido es principalmente la película lubricante en la superficie del plato y los contaminantes líquidos presentes en el medio ambiente.

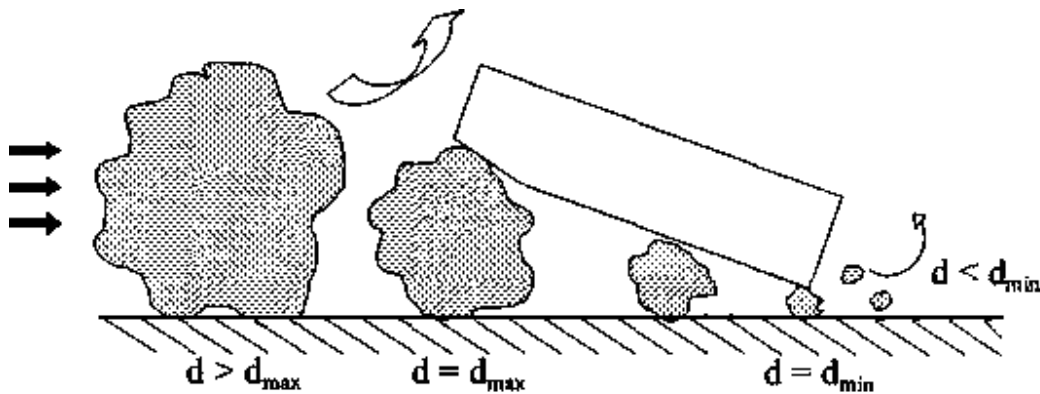
La altura de vuelo baja y la velocidad del disco pueden aumentar la probabilidad de levantar líquido lubricante significativamente. Este hecho, junto con la existencia de una superficie del disco lisa, tiene como consecuencia una probabilidad alta de adhesión sobre todo durante la operación de despegue-aterrizaje de la C de L/E.



**Figura 3.10** Se aprecia la adhesión del deslizador de la C de L/E en la superficie del plato provocando desprendimiento de material.

Al presentar el Cabezal una altura del vuelo baja (25 [nm] o menos) y el plato contar con una velocidad alta (7200 RPM o superiores), existe la posibilidad de que se presente Adhesión durante las paradas del proceso de Lectura / Escritura y, por consiguiente, el deterioro de la interfase sobre todo cuando el proceso de Lectura / Escritura es demasiado constante en un lapso de tiempo corto. Este hecho puede considerarse un desafío para la IMCP. Las superficies más lisas y las alturas de vuelo bajas en los discos duros modernos producen elevada fricción durante los ciclos de despegue-aterrizaje de la C de L/E. y aumenta potencialmente las interacciones de la IMCP durante el proceso de lectura/escritura. Sumado a esto y como se mencionó en la sección anterior la contaminación dentro de la unidad del disco duro afecta la confiabilidad del vuelo del cabezal de escritura sobre la superficie del plato.

La durabilidad de la IMCP disminuye con un aumento en la concentración y dimensión de las partículas. La Figura 3.11 muestra el efecto del tamaño de la cabeza de escritura con la durabilidad del plato



**Figura 3.11** Rango de dimensión de las partículas que puede residir ( $d_{min}$ ) o dañar a la interfase ( $d_{max}$ ). [Bhushan B., 2006].

En conclusión los contaminantes pueden tener origen desde la fabricación, el ambiente o generarse durante el funcionamiento de la unidad de disco duro. Otro factor que tiene como consecuencia la generación de fallas es el daño localizado en la superficie del disco por la abrasión de un tercer cuerpo en la IMCP.

Numerosos estudios muestran que varios gases corrosivos y los contaminantes orgánicos dentro del flujo de aire de la UDD pueden generar resultados indeseables. Entre ellos:

- El Aumentó de adhesión de la IMCP debido al aumento de la contaminantes en la cabeza o plato.
- La pérdida potencial de datos por productos de polimerización y partículas atrapadas acumuladas en las cabezas y platos que afectan la altura de vuelo y las características de vuelo.
- La Corrosión causada por los ácidos orgánicos o inorgánicos.

Para el caso de la fricción y los problemas de uso, se pueden disminuir por medio de la selección apropiada de materiales de la interfase y lubricantes, controlando la dinámica de la cabeza y el medio magnético y el

ambiente. Un entendimiento fundamental de la tribología (fricción, uso, y lubricación) de la IMCP, contribuiría de manera sustentable para el crecimiento continuo de la industria del almacenamiento magnético.

#### **3.4 FALLA LÓGICA.**

Los errores lógicos pueden ser desde muy simples un archivo de inicio inválido en la tabla de partición hasta problemas serios como daño o pérdida de un archivo del sistema.

Cuando se presenta un mensaje de Drive C: Error, significa que la tarjeta lógica del disco duro tiene algún problema. Aunque este tipo de problemas pueden ser aleatorios en un disco duro que tenga esta falla, la única forma de repararlo es cambiando la tarjeta controladora. Una falla muy común en discos duros son los daños físicos, esto es cuando en los discos duros se presentan sectores dañados. La única forma de reparar un disco duro que tiene sectores dañados es dándole un formato a bajo nivel. Este tipo de formateo se efectúa con un software especial diferente al comando format de MS-DOS. Algunos programas que son de utilidad para dar solución a fallas en discos duros son: el Drive Pro, el Disk Manager y el Norton Disk Doctor, los cuales ayudan a solucionar muchos problemas que el sistema operativo no es capaz de poder corregir.

Entre los problemas más comunes que hay en los discos duros están: a) Al dar de alta en el sistema, los parámetros dados no son los adecuados y en consecuencia no se realice la partición lógica correctamente y esto produce como consecuencia que el formato para el disco no sea el adecuado, desaprovechando parte de la capacidad del disco, b) Una falla que presentan frecuentemente estos dispositivos es de que no reconocen la partición lógica, la cual es definida por el sistema operativo que se va a usar, por ejemplo el MS-DOS.

c) Una falla más es la pérdida de los archivos de arranque (Command.com, Io.sys y Msdos.sys), que por algún descuido se borran, están dañados o corruptos por algún virus. 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.

#### **3.5 LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA COMO CAUSA DE FALLA EN COMPONENTES DE UN DISCO DURO.**

Como se ha indicado antes, los materiales y la miniaturización ha contribuido significativamente a la corrosión de sistemas electrónicos. Diseños actuales de equipos electrónicos requieren del uso de una gran cantidad de componentes y un rápido procesamiento de señales, resultando en componentes más pequeños y espaciamientos reducidos, así como elementos metálicos muy delgados. Sin embargo, hay varios factores relacionados con el ambiente que podrían acelerar el proceso de deterioro los cuales deben ser controlados para reducir los efectos de corrosión en los sistemas electrónicos. Niveles extremadamente pequeños de contaminantes presentes en el ambiente donde se manufacturan estos equipos provocan problemas de corrosión.

La corrosión causada a componentes o partes electrónicas es con frecuencia más crítica que la corrosión en otros objetos tales como los materiales estructurales. La corrosión es la reacción de un metal o de una aleación con el medio y sus factores reactivos teniendo como consecuencia su deterioro o destrucción [Mariaca R. L., et al., 1999]. En el equipo electrónico, la corrosión es definida como el deterioro de los componentes metálicos, resultado de una reacción con su ambiente. Gases corrosivos y vapor de agua, en contacto con los metales provocan el crecimiento de varios productos de la reacción química. A medida que la reacción química continúa, estos productos de corrosión forman capas insolubles sobre los

circuitos produciendo fallas como cortos circuitos, picaduras, grietas, partículas aerotransportadas sobre la IMCP y pérdida de masa del metal. Los contaminantes atmosféricos aceleran la corrosión a través de su acción sobre la conductividad eléctrica del proceso catódico y anódico.

La corrosión y los efectos climáticos afectan los componentes electrónicos mayoritariamente de manera directa las propiedades eléctricas del dispositivo (resistencia, conductancia, flujo), aumentan las perturbaciones electromagnéticas y el deterioro de los materiales que conducen a varias fallas operacionales. En los componentes electrónicos apenas un pequeño indicio de corrosión o de contaminación de la superficie puede ser extremadamente perjudicial, conduciendo muchas veces a la destrucción de la funcionalidad de los equipamientos

Los materiales existentes en los componentes electrónicos pueden ser metálicos minerales u orgánicos, y pueden ser dañados a través de procesos corrosivos diversos. Los problemas de corrosión pueden surgir en tres distintos niveles del ciclo de vida de los componentes, como los procesos de fabricación, en el transporte y en la utilización. Todos los problemas que pueden surgir en estos tres niveles están directamente correlacionados y exigen un conocimiento multidisciplinar.

#### 3.5.1 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA FABRICACIÓN DE EQUIPO ELECTRÓNICO.

Entre los problemas medioambientales que existen, un problema significativo son los residuos encontrados en la TC e interior del disco duro. A continuación se presenta una clasificación de las posibles situaciones en las que se presenten dichos residuos:

- Residuo resultado del Proceso de Manufactura.
- Residuo resultado del Servicio.
- Gases contaminantes de la atmósfera.
- Deposición de materiales particulados suspendidos en la atmósfera.

Los residuos relacionados con el Proceso de Manufactura son los restos de los químicos usados en el proceso industrial. Estos podrían haber sido dejados por los compuestos químicos originales o fragmentos formados durante el ciclo de la producción. Estos residuos podrían ser de los diferentes procesos de fabricación como son: partículas de fundición, residuos del proceso de chapado, o aditivos de los materiales poliméricos.

Aunque los procesos de soldado se diseñan para no dejar ningún residuo, dependiendo de los ciclos de temperatura y aplicaciones, una cantidad pequeña del compuesto original o los productos descompuestos podría permanecer en la superficie.

Los problemas de corrosión más comunes en la manufactura de equipo electrónico son: la sulfuración de plata y cobre, crecimiento de filamentos y cristales de sulfuro de plata, partículas producidas durante la manufactura (cloruros y sulfatos), y corrosión en recubrimientos metálicos.

La plata es muy sensible a la presencia de  $H_2S$  y  $SO_2$ , formando sulfuro de plata ( $Ag_2S$ ) en la superficie al reaccionar con  $H_2S$  presente en el ambiente, incluso en concentraciones menores a 1ppm. Estos contaminantes provenientes de emanaciones industriales y de los gases de escapes de automóviles, que pueden penetrar en la planta de manufactura provocando así el inicio del proceso corrosivo en el componente. Cuando hay una capa de  $Ag_2S$  suficientemente gruesa y una temperatura adecuada, comienza un proceso de crecimiento de pequeños filamentos de  $Ag_2S$  Los filamentos crecen en áreas expuestas al  $H_2S$

generando un aumento en la resistencia eléctrica del elemento originando que se produzca sobrecalentamiento y por consecuencia la interrupción en el flujo de la corriente provocándose la falla.

Algo parecido a la plata es lo que sucede con el cobre, ocasionándose respectivamente sulfuro de cobre en el circuito ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). Algunos componentes electrónicos son recubiertos en sus terminales con un mejor conductor como la plata, pero si el recubrimiento presenta defectos, el vapor de agua y compuestos corrosivos penetran hacia el metal base, ocasionando la corrosión y desprendimiento del recubrimiento.

Los residuos resultado del servicio son los introducidos durante la exposición a los diferentes ambientes agresivos, resultan de la limpieza inapropiada o deficiente de los reactivos químicos, utilizados en las diferentes etapas del proceso de fabricación, o de la manipulación descuidada de los componentes durante la fabricación, stock, transporte, instalación o uso. Dichos residuos pueden ser los iones de los cloruros,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , u otros tipos de iones químicamente agresivos. La presencia de dichas sustancias puede desencadenar el comienzo de la corrosión bajo condiciones húmedas.

La presencia de gases en la atmósfera, tales como,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{O}_3$ , representan la tercera fuente de contaminantes que, cuando son disueltos en la capa de agua condensada sobre las superficies, favorecen la ocurrencia de la corrosión.

La deposición de partículas suspendidas en la atmósfera que pueden dar origen a la capa de electrolito, se origina de los materiales particulados suspendidos en el aire atmosférico y que pueden depositarse sobre las superficies. Esos especímenes iónicos normalmente son constituidos de partículas conteniendo  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SiO}_2$ . Además de contribuir con material iónico para la formación de la capa de electrolito, también contribuyen para aumentar la cantidad de agua sobre las superficies, como consecuencia de las características higroscópicas de la mayor parte de ese material. Las partículas de polvo es otro problema que pueden actuar como un agente que absorbe. La formación de una capa de agua es más fácil en una superficie que contenga partículas de polvo comparada con una limpia. Por consiguiente, la presencia de corrosión es posible con humedades relativamente bajas (50-70%). Una capa de agua o una diminuta gota situada en la superficie de una tarjeta controladora puede generar la celda micro-galvánica conectando las dos partes metálicas eléctricamente. Dentro de la celda micro-galvánica, la reacción catódica tiene lugar en el electrodo noble (grafito, oro, plata, cobre o la parte baja donde es aplicado el potencial cargado negativamente), mientras la reacción anódica ocurre en el electrodo activo por la disolución de metal.

#### 3.5.2 TIPOS DE CORROSIÓN EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.

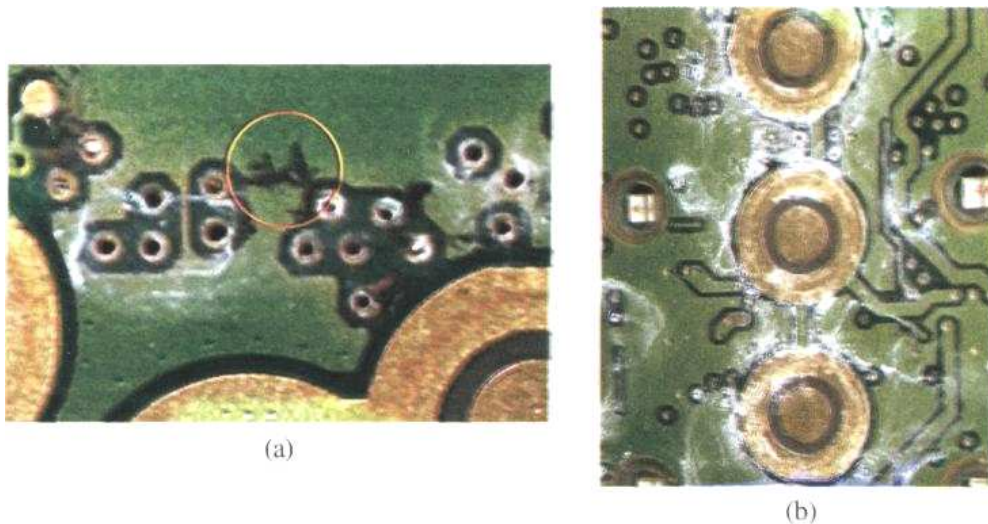
##### A) *Corrosión galvánica.*

Cuándo dos materiales metálicos, con diferentes potenciales, están en contacto en presencia de un electrolito, se establece una diferencia de potencial y se verifica una consecuente transferencia de electrones. Se tiene entonces el tipo de corrosión denominada galvánica, que resulta del acoplamiento galvánico de materiales metálicos disimilares en contacto con un electrolito, causando una transferencia de carga eléctrica de uno para el otro, debido al hecho de tener potenciales eléctricos diferentes. Esta se caracteriza por la ocurrencia de corrosión localizada cerca de la región de acoplamiento, ocasionando profundas perforaciones en el material metálico que funciona como ánodo

la protección del revestimiento de níquel por oro requiere un depósito de oro perfectamente compacto. La presencia de porosidades en éste conduce a la corrosión localizada, que atraviesa el revestimiento de oro y de níquel conduciendo a la corrosión galvánica del propio sustrato.

### B) Corrosión por electrólisis.

Existen corrientes ocasionadas por potenciales externos que producen casos severos de corrosión. En los componentes electrónicos, más específicamente al nivel de las tarjetas de circuito impreso este fenómeno es muy frecuente. Si la cantidad de electrolito es grande y su composición favorece la formación de especies complejas, la corrosión ocurrirá por simple disolución del ánodo y por la liberación de hidrógeno en el cátodo. La existencia de tal situación es evidenciada por la pérdida de material del ánodo acabando por tornarse visible en la zona sujeta a la disolución (Figura 3.12.b).



**Fig. 3.12** Corrosión por electrólisis con un crecimiento dendrítico (a) y por disolución Anódica y (b) en TCI [Rocha J., 2003].

La segunda forma de corrosión electrolítica conocida en circuitos impresos consiste en la formación de filamentos anódicos conductores (FAC) o de dendritas. Las dendritas o crecimientos dendríticos ocurren en los circuitos fabricados sobre los sustratos compuestos de fibra de vidrio / resina epoxíca. Los crecimientos dendríticos envuelven: 1) disolución anódica, 2) transporte iónico y 3) deposición catódica. El material metálico es oxidado produciendo iones que son transportados a través del electrolito por migración, difusión y convección y después reducidos en el cátodo en los puntos de nucleación de las dendritas. La falla del circuito resulta en corto circuito que se forma entre los dos electrodos polarizados (Figura. 3.13a)

### C) Corrosión debida a formación de poros y grietas en contactos eléctricos y uniones metálicas.

Los defectos en cubrimientos de protección de metales, pueden exponer y corroer el sustrato del material y crear imperfecciones como poros y grietas.

### D) Micro-picaduras en la fabricación de circuitos integrados.

Las metalizaciones de aluminio y aleaciones de cobre, pueden formar compuestos íter-metálicos como el de  $AL_2Cu$ , con límites de grano grandes. Esto es el principio de la disolución de metales que forman una micro-picadura durante el ataque químico.

#### *E). Corrosión por solventes clorados o halogenados.*

Solventes líquidos o de vapor se usan en la fabricación de circuitos integrados, corroyendo componentes principalmente de aluminio. El agua contaminada de los solventes incrementa el tiempo de la presencia de corrosión y además incrementa la velocidad de corrosión, que es la velocidad a la cual un metal se desintegra.

#### *F). Corrosión en procesos de soldadura.*

La resistencia a la corrosión de las uniones de estaño y plomo, en ambientes acuosos y gaseosos es una función de la aleación. Esto mejora significativamente, cuando se incrementa más de 2 veces el porcentaje de la aleación. El plomo forma óxidos inestables, los cuales reacciona fácilmente con cloruros, boratos y sulfatos.

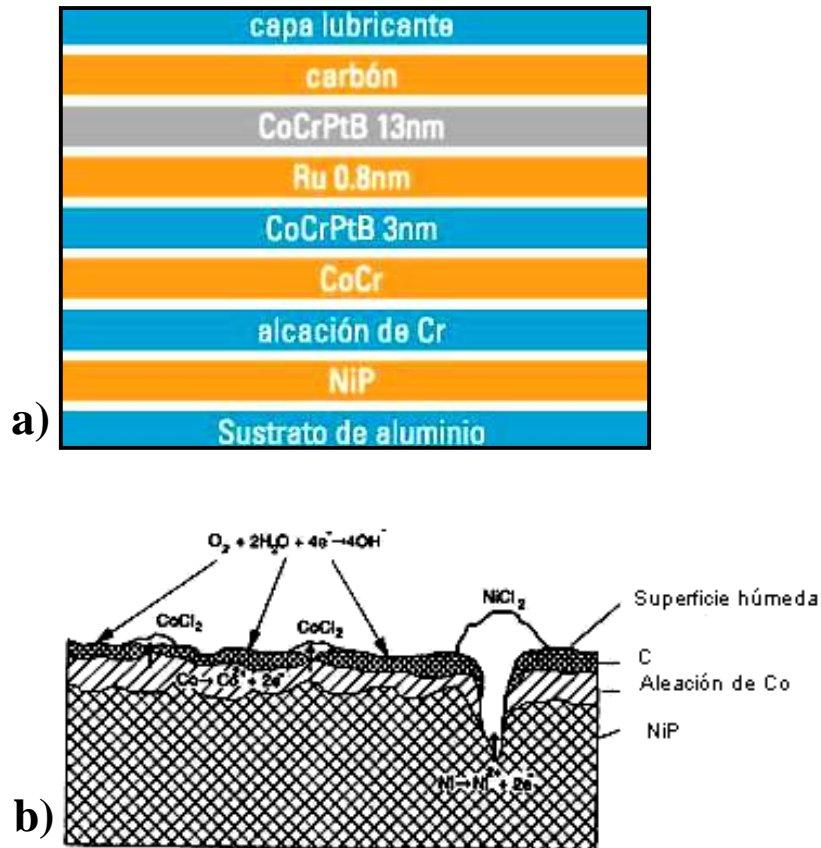
### **3.5.3 PROBLEMÁTICA.**

El acelerado avance de la tecnología de los discos duros ha sido acompañado por la miniaturización de sus componentes. Un ejemplo ilustrativo desde el punto de vista electrónico se presenta en la TC donde 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 [ $\mu m$ ].

Respecto al interior de la UDD si no se garantiza la implementación de un sistema de filtrado y limpieza del flujo de aire efectivo, la humedad y partículas en suspensión pueden introducirse a la unidad contaminándola y formando las condiciones potenciales para la presencia de corrosión en la IMCP o bien en los componentes electromecánicos. Otro factor que hace vulnerable a los discos Duros es la susceptibilidad de los materiales metálicos (carcasa, pines de conexión, tornillería etc.) en ambientes agresivos. Es por ello de la importancia de conocer más sobre la corrosión en los Discos Duros 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 el cabezal 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 3.13 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 y lubricante depositada por rociado. Esta capa

de carbono y lubricante es una barrera efectiva contra la corrosión, pues separa la película del material magnético del ambiente.



**Figura 3.13** (a) Distribución de las diferentes capas de un plato, (b) Esquema del efecto de la corrosión en las capas del plato de un disco duro expuesto a un cloro [Marcus P., 2002].

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 3.13(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 3.13 (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 Carbono 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.





**Figura 3.14** El desprendimiento de material de recubrimiento debido al choque de la interfase puede dar lugar a la formación de celdas galvánicas, donde el carbono actúa catódicamente mientras que el níquel y cobalto pueden oxidarse. La formación de óxidos metálicos que se depositan en su superficie dará lugar a problemas en cuanto a la capacidad de almacenamiento y a la pérdida de información.

La presencia de humedad es crucial para inducir a la corrosión. La naturaleza electroquímica del proceso de corrosión implica la presencia de un electrolito proveniente de la atmósfera. La difusión del oxígeno proveniente del aire disuelto y de contaminantes a través de la capa acuosa es el factor que controla la velocidad de corrosión.

El electrolito formado por la humedad presente en el ambiente es un promotor de la reacción electroquímica; también proporciona una mayor velocidad de absorción de contaminantes y aumenta la corrosividad del electrolito. 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.

La velocidad de corrosión aumenta con la temperatura, por el incremento de la energía de activación de las reacciones químicas y electroquímicas acrecentando la velocidad de difusión en el electrolito.

### 3. DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS EN DISCOS DUROS

---

Como resultado de los procesos de dilatación térmica que experimentan los metales ante los cambios cíclicos de temperatura, los óxidos que los recubren se rompen y desprenden. Así, una nueva superficie desnuda y activa se pondrá en contacto con el ambiente provocando una pérdida de masa.

Lo anterior permite mostrar que existen múltiples variables que dan origen a la corrosión, cuyo efecto sobre los discos duros, es variable dependiendo de las particularidades de la zona geográfica en las que se fabrican y opera.

Sin embargo los cuartos limpios empleadas para la fabricación de microprocesadores, microcomponentes y ensamble de la UDD, cuentan con un sistema filtrado de aire, mismo que se somete a un filtrado exhaustivo y está prácticamente libre de polvo.

Los cuartos limpios más puros de la actualidad se denominan de clase 1. La cifra indica el número máximo de partículas mayores de 0,12 micras que puede haber en un pie cúbico de aire (0,028 metros cúbicos). Como comparación, un hogar normal sería de clase 1 millón.

Para terminar se sabe que los contaminantes y factores ambientales como la humedad, penetran a distintas zonas de plantas industriales (área de almacenaje, embarque y producción) por ventanillas y puertas. Varios pasos en el proceso de fabricación involucran la exposición a especies agresivas que pueden dejar residuos corrosivos. El ambiente corrosivo que se forma afecta a los metales con los que se manufacturan los componentes electromecánicos de la UDD.

En este punto se deben tomar en consideración las condiciones de exposición, así como que la unidad no solo está constituida por la superficie magnética, sino que está representa una parte donde la tarjeta controladora y los elementos de soporte y sujeción son también susceptibles de deterioro por efecto de la corrosión atmosférica.

# CAPÍTULO 4

## *DETERMINACIÓN DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISCOS DUROS*

### 4.1 INTRODUCCIÓN.

Con base en los riesgos de que las fallas ocurran, en el grado de gravedad de sus consecuencias, en las especificaciones funcionales y en la función del dispositivo, es posible identificar los parámetros ambientales que pueden causar impacto en la confiabilidad de cada etapa de su ciclo de vida. Una vez identificados esos parámetros, pueden ser determinados los requisitos técnicos obteniendo productos resistentes a un ambiente en particular, a las condiciones de manipulación y operación, dentro de la mejor relación entre costo y beneficio.

Las condiciones ambientales son limitadas a parámetros físicos, químicos y biológicos, a los cuales el producto estaría sujeto durante un determinado período de vida. Los parámetros ambientales pueden ser tanto naturales como artificiales. Los artificiales pueden ser favorables al producto, tales como condicionamiento ambiental, ó desfavorables, como por ejemplo la influencia térmica resultante de la operación del propio producto o de otro instalado en sus proximidades. Lo expuesto arriba resalta la importancia del conocimiento previo sobre las condiciones ambientales, de manipulación y operación que el dispositivo puede encontrar en cada etapa de su ciclo de vida y de la aplicación de ese conocimiento en la fase inicial del diseño, para minimizar los problemas que puedan ocurrir en su desempeño, durante su vida útil.

Como ya se señaló en las secciones anteriores, la corrosión en equipo electrónico puede ocurrir durante la manufactura, almacenaje, transportación o durante el servicio. Los principales agentes corrosivos identificados son la humedad, los cloruros, fluoruros, H<sub>2</sub>S, dióxido de azufre, compuestos de nitrógeno como el amoníaco y partículas suspendidas. El ambiente al que están expuestos los componentes electrónicos provienen de dos fuentes: los materiales de los que esta fabricado el equipo y la atmósfera en si misma. Cada ambiente presenta una probabilidad de que un parámetro atmosférico exceda el valor límite que un determinado componente puede soportar. En la tabla 4.1 se muestran los principales parámetros atmosféricos que afectan a los componentes mecánicos y electrónicos de una UDD.

El fenómeno de la corrosión atmosférica se inicia a partir de la formación de una capa acuosa en la superficie del material, la cual proviene de la humedad del ambiente y está determinada por precipitaciones pluviales, niebla u otro factor climatológico. Una vez que se presenta dicha capa, que actúa como solvente para los contaminantes dando lugar a la acidificación de la solución se presenta una aceleración en las reacciones electroquímicas teniendo como resultado la degradación del material [Mariaca R., et al., 1999].

4. DETERMINACIÓN DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFERICA EN DISCOS DUROS

**Tabla 4.1** Principales efectos de los parámetros ambientales aislados de acuerdo a IEC 68 – 1 Environmental testing.Part. 1

Parámetro	Principal mecanismo de falla	Modo de falla resultante
Alta Temperatura	Envejecimiento térmico: Oxidación, reacciones químicas aceleradas, ablandamiento, fundición, sublimación, reducción de viscosidad, evaporación, expansión.	Falla de aislación, falla mecánica, aumento de la agresividad mecánica, aumento del desgaste de partes móviles debido a la expansión o pérdida de la propiedad de lubricación.
Baja Temperatura	Formación de hielo, aumento de la viscosidad y solidificación, pérdida de la resistencia mecánica, contracción física.	Falla de aislación, falla mecánica, aumento del desgaste de parte móvil debido a la contracción o pérdida de la resistencia mecánica o de las propiedades de lubricación, falla de selladura.
Alta Humedad Relativa	Absorción de humedad, pérdida de la resistencia mecánica, reacciones químicas (corrosión, electrólisis) aumento de la conductividad de aisladores.	Quiebra física, falla de aislamiento, falla mecánica.
Baja Humedad Relativa	Resecamiento, pérdida de la resistencia mecánica, encogimiento, aumento de la fricción entre partes móviles.	Falla mecánica.
Alta Presión	Compresión, deformación.	Falla mecánica, falla de selladura.
Baja Presión	Expansión, reducción de la resistencia eléctrica del aire, efecto corona y formación de ozono.	Falla mecánica, Sobre calentamiento
Radiación Solar	Reacciones químicas, físicas y fotoquímicas, deterioro de la superficie, decoloración, formación de ozono, calentamiento diferencial y tensión mecánica.	Falla de aislamiento
Polvo y Arena	Fricción y erosión, obstrucción, reducción de conductividad térmica, efectos electrostáticos.	Aumento del desgaste, falla eléctrica, falla mecánica, sobrecalentamiento.
Atmósferas Corrosivas	Reacciones químicas: corrosión, electrólisis, deterioro de la superficie, aumento de la conductividad, aumento de la resistencia de contacto.	Aumento del desgaste, falla mecánica, falla eléctrica.
Viento	Fuerza aplicada, fatiga, deposición de material, obstrucción, erosión, vibración inducida.	Colapso estructural, falla mecánica
Lluvia	Absorción del agua, choque térmico, erosión y corrosión.	Falla eléctrica, deterioro de la superficie.
Cambio rápido de temperatura	Choque térmico, calentamiento diferencial	Falla mecánica, daño de selladura.
Ozono	Oxidación rápida, reducción de la resistencia del aire.	Falla eléctrica, falla mecánica
Aceleración (estacionario) vibración o choque	Tensión mecánica, fatiga, resonancia.	Falla mecánica, aumento del desgaste de partes móviles, colapso estructural.

La posibilidad de que un metal se corroa en un medio ambiente dado, es una cuestión termodinámica. La corrosión galvánica ocurre en casos en donde diferentes metales están en contacto uno con otro tal como se presentan las capas de diferentes metales depositados en elementos como los discos duros.

Aunque el sistema mencionado (par de metales en contacto) se corroe, no existe información de la velocidad a la cual ocurre este deterioro. Debido a esto, es necesario llevar a efecto pruebas de laboratorio, las cuales contribuyan a determinar la cinética de corrosión.

La corrosión de partes o componentes de dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento magnético de datos (discos duros) 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, estas no pueden ser catalogadas rigurosamente 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 duros por polvo, partículas procedentes del uso propio, o del consumo de cigarrillos y del contacto entre los elementos de la IMCP. Se sabe que la corrosión de los componentes de equipo electrónico es más crítica que la corrosión de otros sistemas, ya que no es necesaria 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 del plato 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.

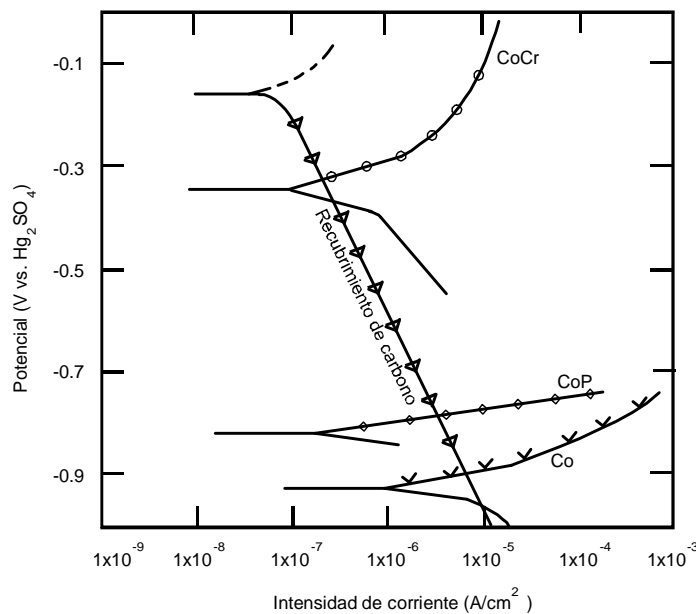
La humedad del aire así como gases contaminantes presentes en el ambiente en donde se encuentran los discos duros promueve la generación de efectos que disminuyen la vida de servicio de estos. La humedad es un de las variables ambientales más inconsistente a la que la superficie del disco esta expuesta durante su funcionamiento normal. Las UDD deben operar en diferentes ambientes que van del desierto a la zona tropical. Hay registros oficiales de los efectos de la humedad en las propiedades de las películas lubricantes usadas para proteger la superficie del plato [Shukla N., et al.]. Éstos sugieren que la humedad puede afectar la movilidad del lubricante, y finalmente la vida del disco. Además la humedad es un factor importante en la corrosión de los medios de almacenamiento magnético. Al mismo tiempo, la superficie del disco se expone a otro contaminantes como son los gases externos producidos por varios componentes de la UDD. Éstos pueden conducir a fenómenos como la corrosión y el deterioro de la C de L/E, ambos fenómenos afectan el funcionamiento de la UDD. La adsorción de agua en la C de L/E depende de la composición de la cabeza y la rugosidad de las superficies de la IMCP.

Las moléculas de agua pueden llegar hasta la capa magnética de los discos y provocar la disolución de iones metálicos, además del agua otros componentes de la atmósfera entre los cuales se encuentran gases corrosivos como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el cloro ( $\text{Cl}_2$ ), que son los elementos que mayores daños ejercen sobre los discos duros y en menor intensidad los residuos de procesos químicos utilizados para fabricación de componentes que intervienen en el ensamble de los discos duros (adhesivos, juntas, cojinetes, grasas, partes plásticas, Uno de los papeles del lubricante y la capa protectora de carbono es proteger los medios magnéticos de la contaminación.

De acuerdo con la composición de los discos duros, la capa de carbono y el lubricante representan una barrera efectiva contra la corrosión separando la capa metálica del ambiente, siempre y cuando esta sea continua. Sin embargo existen 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 como se mencionó en la sección anterior.

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. 4.1), es por ello, que en la actualidad se utilicen exclusivamente los recubrimientos de CoCr. No obstante lo anterior, es posible que se presente deterioro por corrosión en los discos duros, lo cual se evaluara y determinará al encontrar evidencia de depósitos en la IMCP.



**Figura 4.1** Curvas de polarización para diferentes recubrimientos magnéticos empleados en el disco duro, en combinación con la capa superficial de carbono [Marcus P. 2002].

## 4.2 MECANISMOS A TRAVÉS DE LOS CUALES SE GENERA DAÑO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN LOS DISCOS DUROS.

En base a lo expuesto en el Capítulo 1, se sabe que los materiales expuestos a la atmósfera sufren daños tanto directamente por corrosión como por problemas derivados de la propia interacción de la humedad, gases contaminantes, cloruros y agentes catalíticos como el ozono y la luz ultravioleta. Estos daños dependen de la composición característica de la atmósfera (tipos de la atmósfera y su concentración), variación de la temperatura así como de la sensibilidad de cada material a las condiciones del ambiente.

Cabe mencionar que, las condiciones en las que se encuentran operando los sistemas de almacenamiento magnético de datos, son mucho menos agresivas al tratarse de atmósferas interiores. Tanto la C de L/E como el medio magnético (plato) poseen capas protectoras que brindan protección contra desgaste y factores ambientales presentes en los lugares donde se encuentran estos dispositivos.

La capa protectora delgada (~10 [nm]), típicamente de DLC (Diamond-like carbon) hidrogenado o DLC hidrogenado con nitrógeno, reduce la corrosión y el deterioro del plato. Una capa ultra-delgada (~1.5 [nm]) de perfluoropolietileno (PFPE) del tipo Zdol 4000 o Ztetraol 2000 es aplicada como lubricante encima de la capa del carbono que de igual forma sirve para reducir el deterioro y corrosión. A pesar de éstos esfuerzos, la corrosión del medio magnético se está volviendo progresivamente perjudicial para el funcionamiento de un disco duro debido que la capa protectora progresivamente es más delgada (~10 [nm] o menos), la capa de lubricante también es más delgada debido a una superficie más lisa (2 [nm] o menos) y un espacio magnético (EM) cada vez más reducido (25 [nm] o menos), todo esto con la finalidad de incrementar la densidad de almacenamiento en 60% anualmente.

La corrosión en el medio magnético y en la C de L/E, tiene lugar en sitios donde la capa de carbono depositada es ausente debido a la rugosidad del plato y por consiguiente son expuestas la capa magnética de cobalto como material base y el sustrato de níquel-fósforo. Dado las diferencias potenciales entre el carbono noble (positivo) y el sustrato de metal, un par galvánico puede formarse, conduciendo a una rápida disolución galvánica inducida en el material magnético.

Un estudio realizado acerca de la aplicación de DLC sobre el plato y la C de L/E, plantea que una deposición tradicional de cubiertas DLC (*Diamond-like carbon*) con haz directo de iones no tiene las propiedades protectoras requeridas en los discos duros a espesores por debajo de 30 Å. Es decir que será posible incrementar la densidad de almacenamiento de la información pero se verá afectada la reducida protección contra los procesos de corrosión y desgaste por el uso principalmente [Goglia P.R. et al., 2001].

Las propiedades del recubrimiento que son directamente influidas por la corrosión de las capas magnéticas son, porosidad, superficies demasiado rugosas y la conductividad electrónica.

La función principal de las cubiertas de carbono como capa protectora es una barrera entre el sustrato y el ambiente corrosivo sin embargo se cree que la corrosión en el plato empieza en un agujero de dimensiones microscópicas bajo un ambiente que incluye H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, y contaminantes iónicos. Estos contaminantes pueden incluir aceleradores de corrosión como los cloruros, sulfatos etc. El tamaño de estos agujeros en el plato depende de las propiedades de la película de carbono.

Bajo una humedad alta, estos agujeros están normalmente anegados por la condensación de agua. Por ejemplo, agujeros menores a 16 Å están anegados cuando la humedad relativa alcanza 50%. Cuando la humedad alcanza 90%, todos los agujeros menores a 100 Å estarán repletos de condensación de agua.

Con los agujeros repletos, las celdas galvánicas se formarán en la capa magnética (Co principalmente) y en la capa de Cr; donde el sustrato de NiP es el ánodo y la capa de carbono es el cátodo y los contaminantes iónicos (como los cloruros y sulfatos) actúan como aceleradores. Consecuentemente el Co, Cr y Ni se oxidan en su catión (ión positivo) respectivo, el O<sub>2</sub> es reducido, y se forman óxidos e hidróxidos.

Los productos óxidos, e hidróxidos son insolubles en H<sub>2</sub>O. Esta formación de producto en la superficie interna del agujero, es decir, la superficie del ánodo, inhibe la oxidación de metal y gradualmente detiene el proceso de corrosión. Sin embargo, la velocidad de la reacción se incrementa dramáticamente cuando los aceleradores se presentan. La presencia de los aceleradores incrementa la conductibilidad de la solución, y la movilidad del catión, permitiendo la migración a la superficie (el cátodo) y previniendo la pasivación del ánodo.

La corrosión en los sitios visibles sobre el recubrimiento de carbono aparece alrededor de los poros. Un factor que resulta determinante es la rugosidad de la superficie. Un incremento en la rugosidad permite la retención capilar de vapor de agua en un medio ambiente húmedo. De tal forma que periodos largos de retención de agua conllevan a que el sitio sea más propenso al desarrollo de corrosión.

Las propiedades de las aleaciones para la protección contra la corrosión de las capas magnéticas que se encuentran cubiertas por una capa de carbono han sido estudiadas usando diferentes pruebas relativas a la evaluación de éstas y su relación con los procesos de corrosión.

En estudios realizados concernientes a pruebas electroquímicas para determinar las propiedades protectoras contra la corrosión de la película de carbono sobre la capa magnética de discos duros, revelaron el desarrollo de productos de corrosión a lo largo de los valles de las líneas originadas por el proceso de texturizado sobre la superficies de los discos. La retención de vapor de agua por capilaridad a lo largo de los valles incrementan la creación de sitios de corrosión en los discos duros. En estas zonas se encontraron franjas particulares formadas por la migración de Co, hidroxidos, y compuestos de cloro sobre la superficie de carbono. También cabe destacar que se desprende del estudio que una baja solubilidad de Co decrece la corrosión sufrida en la capa magnética. La estructura de las capas protectoras de carbono al presentar diminutos poros que permiten la penetración de vapor de agua y la disolución de Co de la capa magnética, esto a través de la migración de los iones Co, hacia la superficie de la película protectora por medio de una reacción electroquímica entre las aleaciones de Co y la capa de carbono.

Sobre el recubrimiento de carbono emerge el Co como producto de corrosión. En algunos casos la corrosión de la capa magnética no presenta cambios macroscópicos en las propiedades de la película magnética, pero esos pequeños sitios de corrosión pueden producir defectos como ruido, o pérdida de información.

Un compuesto volátil específicamente penetrante que debe controlarse en la UDD es la humedad. Para evitar la corrosión y la generación de corrosión derivadas de la contaminación y filtración de la humedad, el interior de la UDD nunca debe alcanzar condiciones que permiten la condensación de agua en las superficies de los componentes de la UDD, más aún cuando la UDD en funcionamiento o durante el embarque sufre caídas o elevaciones de temperatura rápidas en un ambiente de humedad alta.

Los efectos de humedad se encauzan principalmente a la condensación de pequeñas partículas de agua que da como resultado adhesión de la IMCP y una fricción estática alta ya que el agua adsorbida se interpone entre la capa protectora, el medio magnético y el PFPE, además una humedad elevada acelera la corrosión de las capas magnéticas debido a que puede penetrar en la película lubricante [Zhao Z. et al.]. Según lo reportado en la literatura, se sabe que la movilidad de Ztetraol y Zdol aumenta con la humedad relativa alta, ya que el agua absorbida aumenta la movilidad del lubricante [Karis T. E, et al.].



Los daños producidos por procesos de corrosión en los platos y C de L/E son tan pequeños que difícilmente se pueden apreciar a simple vista. Para identificar estos daños es necesario el apoyo de dispositivos que brinden una buena resolución para observar los diminutos productos de corrosión presentes sobre las superficies de estos. Con el auxilio de microscopios electrónicos de barrido, microscopios de fuerza atómica etc., es posible determinar los elementos presentes en las zonas que han sufrido daño por corrosión. Así mismo es posible obtener imágenes que muestran la topología de las regiones afectadas. Obteniendo de esta forma información general acerca de los efectos producidos por corrosión.

A modo de cierre, de acuerdo a lo reportado en la literatura, la capa protectora de carbono proporciona protección al desgaste y a la corrosión en la capa magnética. La capa lubricante se agrega para minimizar la fricción entre la cabeza y plato. Se sabe que el mecanismo de corrosión en la superficie del plato es un proceso electroquímico que requiere la presencia de agua adsorbida o contaminantes iónicos. El proceso de corrosión tiende a ser acelerado bajo las condiciones mencionadas. Desde la capa magnética, el cobalto o níquel en la capa del NiP son los materiales más activos, ellos se disuelven preferencialmente en el agua absorbida y emigran a la superficie del disco a través de microporos o defectos en la capa de carbono.

El cobalto en la capa magnética tiene una tendencia mayor a emigrar a la superficie del disco que el níquel en la capa del NiP. Por consiguiente la concentración del cobalto hacia la superficie generalmente se usa como una medida de la sensibilidad a la corrosión de la estructura del medio magnético. Sin embargo, la manera más eficaz de reducir la migración del cobalto, es la aplicación de una capa de Cr entre la capa de carbono y la capa de la aleación magnética [ Sung-Hoon C., 2001].

### **4.3 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN EL DETERIORO DE LOS DISCOS DUROS.**

Para poder determinar y evaluar los niveles de deterioro en componentes electromecánicos, superficie de plato y C de L/E por efecto de la corrosión atmosférica es necesario implementar una metodología con la finalidad de tener un procedimiento lógico y así establecer el grado de afectación de aquellos especímenes que se encuentran con evidencia de posibles depósitos corrosivos, obtenidos en campo o bien de aquellos dispositivos evaluados después de ser sometidos a Ensayos de Corrosión Atmosférica Acelerada (Capítulo 5).

Para la evaluación del deterioro sufrido en discos duros por efectos atmosféricos se procedió a extraer discos duros de computadoras personales fuera de servicio que han mostrado algún tipo de inconsistencia en su funcionamiento o se encuentran en condiciones normales de operación ubicados en la Ciudad de México y Área Metropolitana.

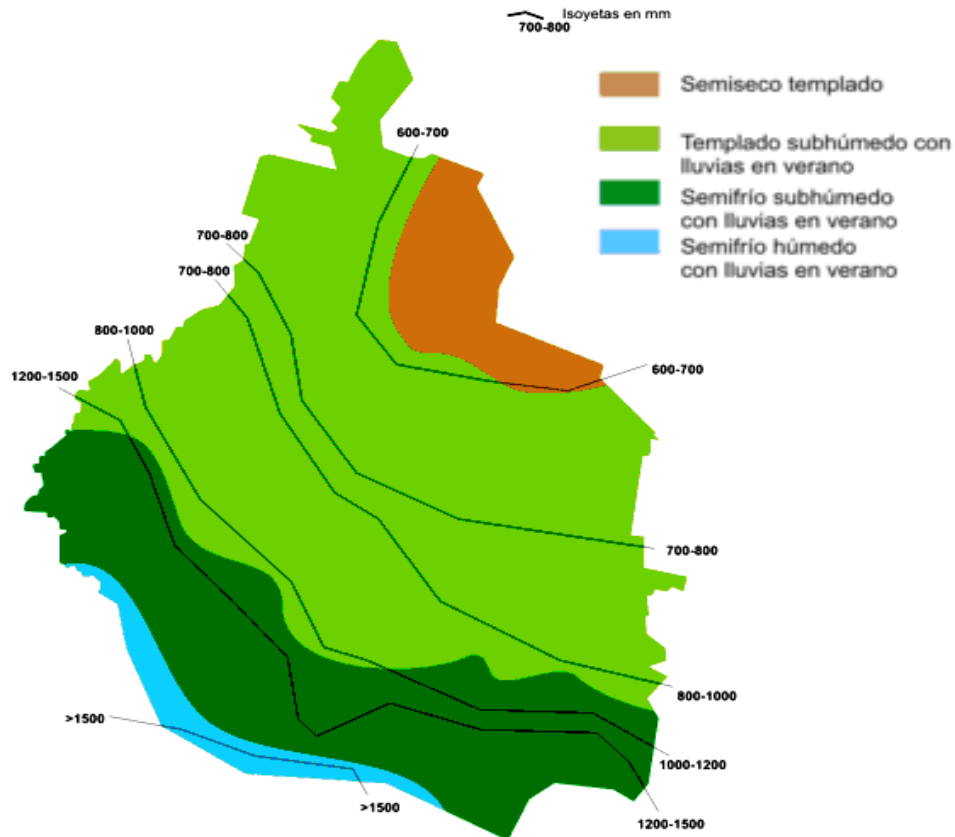
Para realizar la evaluación a cada una de las UDD extraídas y poder determinar los factores que conllevan al deterioro de las unidades, es necesario conocer las condiciones climatológicas de la región, considerando las temperaturas tanto máximas como mínimas así como el porcentaje de humedad relativa existente, tomando en cuenta también la presencia de los gases contaminantes producto de emisiones móviles, o bien de actividades industriales, partículas suspendidas en el aire, así como presencia de cloruros y sulfuros en el ambiente.

4. DETERMINACIÓN DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFERICA EN DISCOS DUROS

En la tabla 4.2 se presenta las características climatológicas de la zona donde se realizó el estudio. En las Figuras 4.2 y 4.4 se presentan los mapas de distribución climatológica y de corrosividad para el zinc, cobre y aluminio respectivamente.

**Tabla 4.2** Características climatológicas de las zonas geográficas para las cuales se analizó el deterioro de discos duros fuera de servicio.

Localidad	Ubicación	Características climatológicas	Tipo de Atmósfera	Contaminantes presentes
<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 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</p> <p>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 varia, 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<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, y SO<sub>2</sub> son importantes.</p>

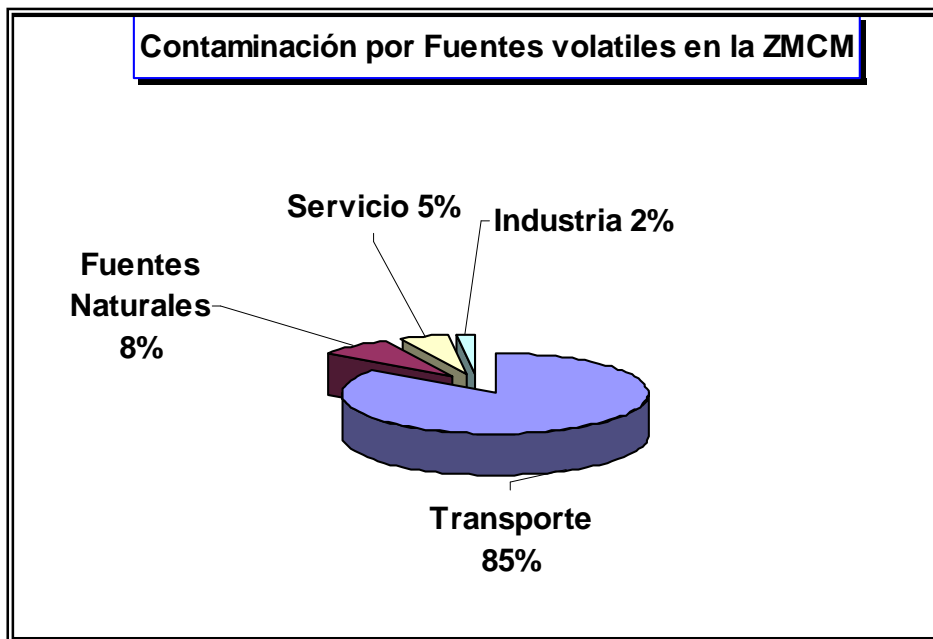


**Figura 4.2** Mapa que muestra la distribución climatológica en la Ciudad de México [5]

Por su altura sobre el nivel del mar, el Distrito Federal ocupa climas que van desde el templado hasta el frío húmedo y tundra alpina en las partes más altas de las sierras del sur.

**FUENTES CONTAMINANTES.**

La contaminación ambiental es factor fundamental para el deterioro de diversos elementos metálicos ejemplo de ello son los elementos estructurales, como los elementos electrónicos que son susceptibles al medio ambiente. A continuación se muestra una distribución de los principales contaminantes de acuerdo a su fuente de origen en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).



**Figura 4.3** Gráfico que muestra el porcentaje de la contaminación volátil en la ZMCM de acuerdo a las fuentes de origen. [5]

Dentro de cada tipo de atmósfera existen numerosos factores que afectan la corrosión, que dependen de la evolución de la zona bajo estudio (geografía, crecimiento industrial demografía, etc.), así como de la climatología (estacional y diaria) del lugar, que dificultan una evaluación de validez permanente. Por lo tanto se observa que los factores climáticos juegan un papel fundamental en la corrosión atmosférica.

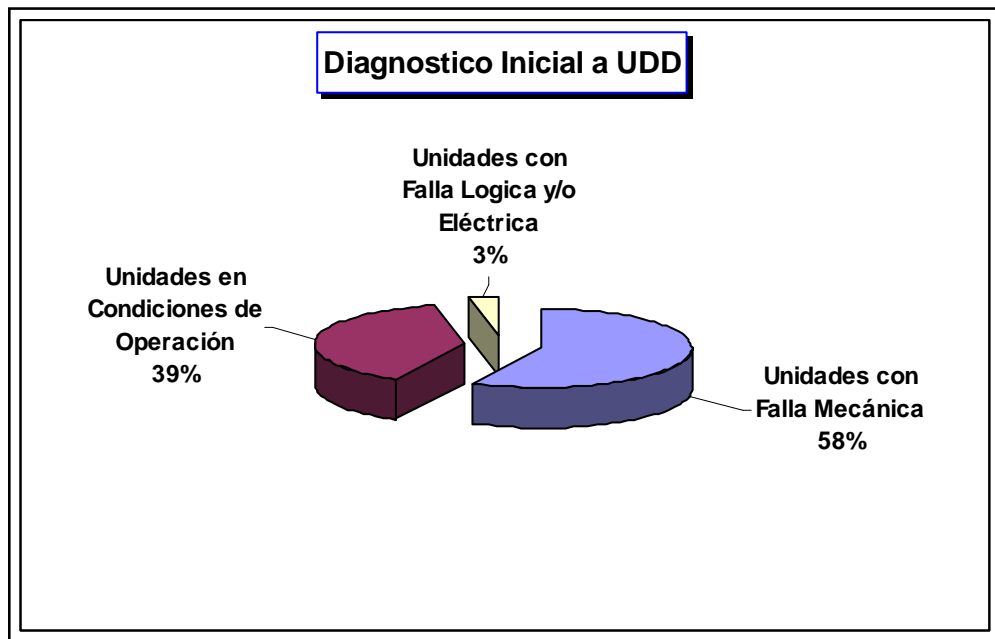
El tiempo de humectación incluye factores como: temperatura ambiente, precipitación pluvial, viento, humedad relativa, etc, que lo establecen y lo modifican afectando el tiempo que la superficie metálica permanece mojada o húmeda. Además la intensidad de la corrosión se incrementa con la presencia de contaminantes atmosféricos [Kuceray V., et al., 1981].



Figura 4.4 Mapa de corrosividad para el zinc, cobre y aluminio en la ZMCM [Muñoz L., et al.]

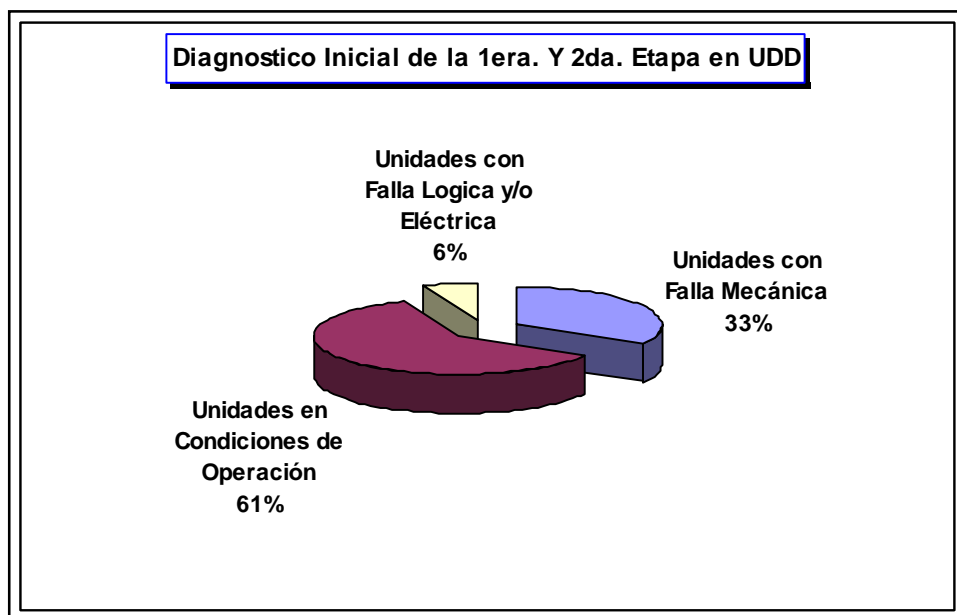
Como se mencionó al inicio de esta sección, no todas las muestras a evaluar presentan algún tipo de inconveniente en su funcionamiento al momento de realizar el diagnóstico correspondiente mediante la aplicación *Norton Disk Doctor* del software *Norton Systemworks Premier 2007*, obteniendo el muestreo total de las UDD, aquellos que se encuentran en condiciones de operación y los que presentan cierta problemática al momento de arranque de la computadora. El número de unidades sometidas a Evaluación para este trabajo es de 61 unidades, siendo provenientes de la Ciudad de México y Área Metropolitana.

De acuerdo al diagnóstico realizado a cada dispositivo, los resultados arrojados (Figura 4.5), indican que del total de discos el 39.34% se encuentran en buen estado y en condiciones de operación (24 Unidades), el 57.38% presentaron falla mecánica (35 unidades), por último se encontró que solo el 3.28% (2 unidades) presentaron problemas para ser detectadas (falla lógica o eléctrica). Las 36 unidades reportadas con falla mecánica serán analizadas mediante el procedimiento de Inspección explicado en la sección 4.3.1 para así determinar si existe deterioro por corrosión atmosférica; los dispositivos que se encuentran en buen estado (24 Unidades) serán empleados en las pruebas de simulación acelerada (Capítulo 5).



**Figura 4.5** Gráfico que muestra los resultados de las 61 Unidades de acuerdo al diagnóstico inicial.

Cabe mencionar que este estudio es la tercera etapa del Proyecto de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) No. IN102706-2 “Deterioro por efectos ambientales en SAMD “para la ZMCM. El objetivo principal del proyecto es la realización de un mapa de corrosividad en México, realizando un análisis e inspección de cada uno de los especímenes encontrados en campo así como la reproducción de dicho fenómeno mediante ensayos acelerados en SAMD, que se encuentran en funcionamiento en diferentes tipos de clima de la República Mexicana.



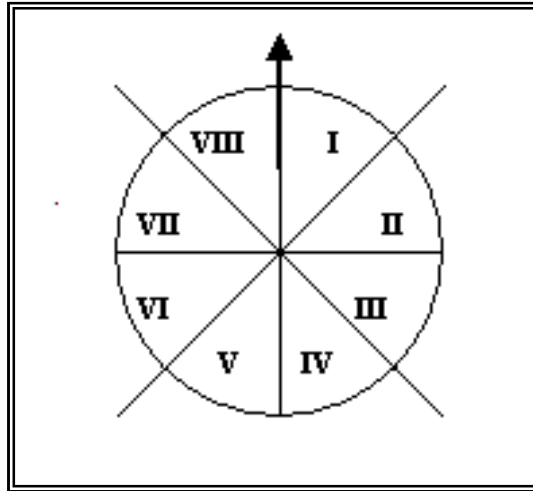
**Figura 4.6** Gráfico que muestra el estado de las UDD en la 1era. y 2da. Etapa del proyecto.

Para las primeras dos etapas del ensayo del Distrito Federal [Sánchez, F., et al., 2005] (Figura 4.6), en un principio se contaba con 60 discos, de los cuales 24 unidades eran obsoletas, por lo que sólo se analizaron 36, de los cuales 22 se encontraban en buen estado, 12 presentaron falla mecánica y 2 falla lógica.

#### 4.3.1 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN UDD.

Para poder determinar las características del deterioro por corrosión atmosférica en los sistemas de almacenamiento magnético de datos se necesita plantear un proceso de evaluación del daño en los discos duros el cual se presenta en la figura 4.8 y se detalla a continuación:

- 1) Inspección visual de los componentes externos (carcaza, pines IDE, jumpers y de alimentación, tarjeta controladora) con el fin de proporcionar información suficiente del estado de deterioro exterior de la UDD.
- 2) Toma de fotografías digitales de cada uno de las UDD. Las imágenes se tomaran a todas las UDD en estudio, tanto del antes y después de los ensayos de corrosión atmosférica acelerada, esto con el fin de tener evidencia visual del deterioro.
- 3) Diagnosticó con la aplicación Norton Disk Doctor del Software Norton System Works con el fin de identificar y clasificar el tipo de falla presenta cada unidad o bien si tiene un funcionamiento normal.
- 5) Inspección a bajos aumentos (1 a 32X) en elementos internos para determinar el grado de deterioro en componentes electromecánicos así como la superficie del plato y C de L/E. Esta inspección a bajos aumentos se realizo solo en las UDD que presentaron falla mecánica.
- 4) Toma de imágenes en Estereoscopio (1 a 32X) a componentes de la tarjeta controladora (CI, Conectores y Pines) así como de la superficie del plato de aquellas unidades donde se aprecio posible deterioro por corrosión atmosférica. Para llevar un control de las zonas de los platos que presentaron deterioro se prosiguió a lo siguiente:
  - a) Primero se dividió la superficie del plato del disco en ocho partes tomando como referencia una marca que se colocó en la periferia.
  - b) A partir de esta marca y siguiendo el sentido de giro de las manecillas del reloj ,se colocó una plantilla que contenía ocho divisiones cada división identificada con un número romano, iniciando con el “I” hasta el “VIII” como se puede observar en la figura 4.7.
  - c) Posteriormente se observaron los platos a bajos aumentos colocando la plantilla para la identificación de la zona inspeccionada y llevando un registro de las observaciones.
  - d) Al determinar la zona del posible daño, se le tomo una fotografía, para posteriormente ser seccionada.



**Figura 4.7** Diagrama de apoyo para la identificación de zonas con posible deterioro en SAMD.

- 6) Análisis y toma de imágenes a C de L/E mediante microscopia óptica (1X a 500X), para identificar algún daño, depósitos o pérdida de material de esta.
- 7) Seccionamiento de aquellas partes en donde se encuentran indicios de deterioro en el plato o C de L/E (Acumulación de condensado, deterioro de periferia o bien desgaste sufrido en la superficie por choque entre la IMCP).
- 8) Análisis mediante Microscopia Electrónica de Barrido mediante EDS (energy dispersive X-ray spectrometry), por medio del cual se toman imágenes del deterioro encontrado en las muestras, así como realización del análisis químico para poder determinar con precisión los elementos ajenos a la composición del espécimen analizado y por lo tanto verificar la existencia de corrosión.

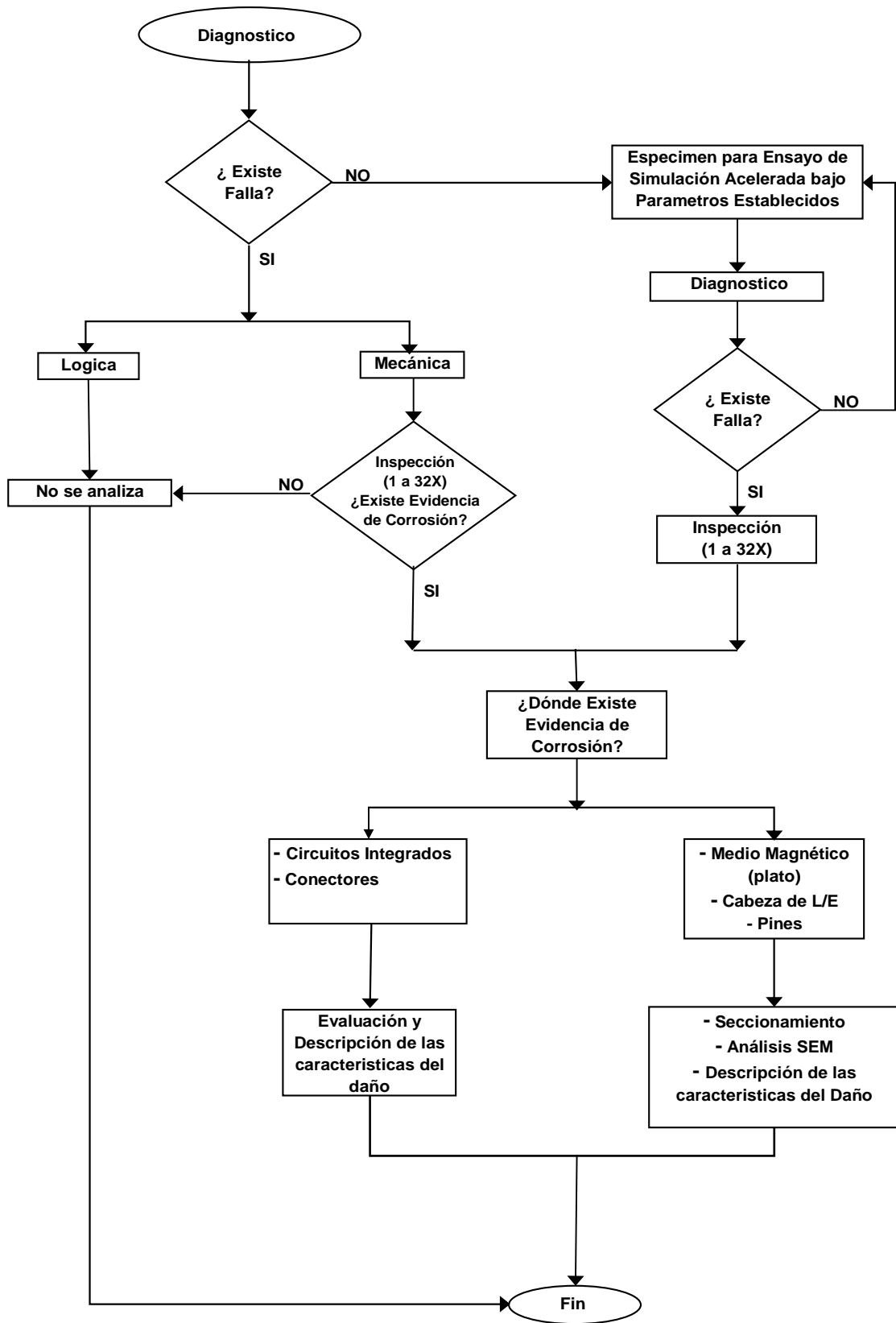


Figura 4.8 Metodología para la evaluación del deterioro en UDD

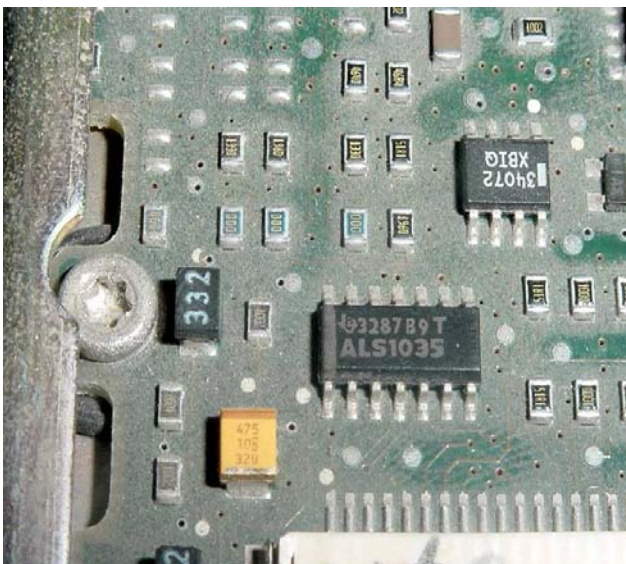


#### 4.4 EVALUACIÓN Y EFECTO DE LA PRESENCIA DE CORROSIÓN ATMOSFERICA EN DISCOS DUROS.

Para este apartado se determinará la existencia o no de deterioro por desgaste y corrosión en la superficie del plato, C de L/E, así como componentes electrónicos y mecánicos de las UDD que fueron extraídas 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 falla del tipo mecánica son las que se someterán al análisis, además de observar los efectos que causan los cabezales en la superficie del plato debido al contacto entre estos. Los resultados arrojados del diagnóstico indican que de las 61 unidades bajo estudio solo 36 unidades reportan falla mecánica, las cuales serán inspeccionadas bajo la metodología previamente establecida en la sección anterior.

##### A) INSPECCIÓN VISUAL

Bajo condiciones de operación real, al revisar a simple vista lo que corresponde a la TC en todas las unidades solo se presentan pequeñas capas de polvo en las terminales de los circuitos integrados, conectores, pines en general, así como en las pistas de los circuitos; con lo que respecta a la carcasa, soporte de sujeción y demás elementos metálicos externos, algunas unidades presentan golpes y algunas manchas - posiblemente de la manipulación al instalar o retirar la UDD del CPU - sin embargo no se encuentra deterioro significativo.

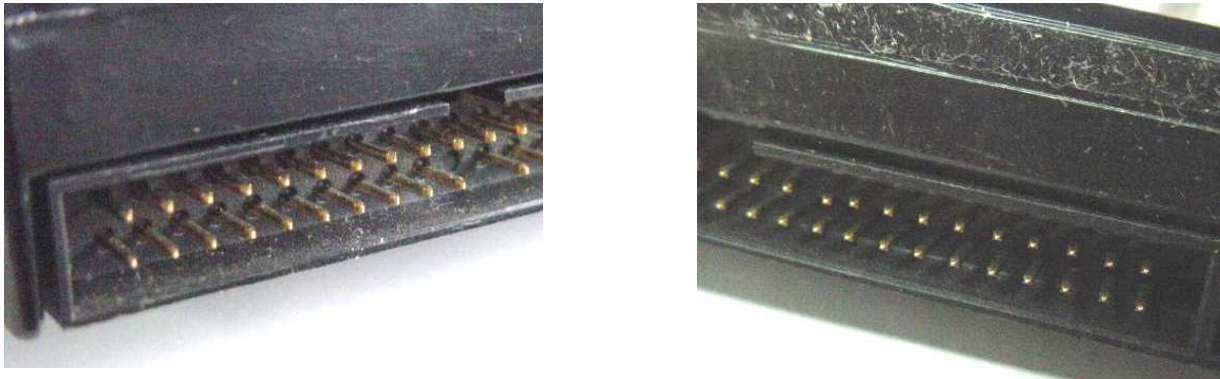


a)



b)

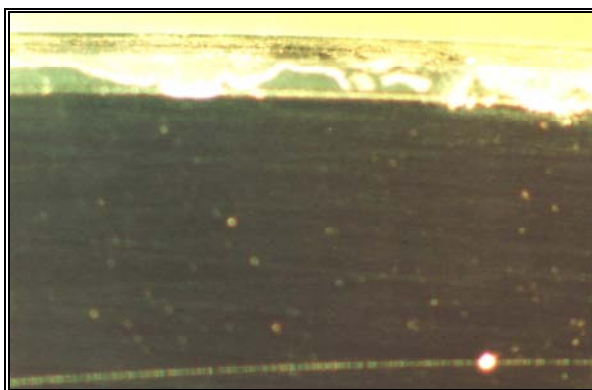
**Figura 4.9** Se aprecia depósitos excesivos de polvo en la TC(a), además de golpes y rayones en la carcasa de la UDD (b).



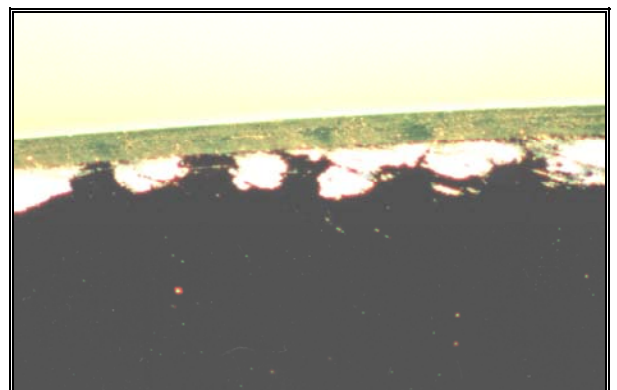
**Figura 4.10** Pines IDE, se aprecia la acumulación de polvo, la cual afecta la conductividad de la corriente y el desgaste de dicha terminal.

### B) INSPECCIÓN A BAJOS AUMENTOS (1 A 32X)

Para hacer un análisis mas detallado del interior de la UDD, 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 del disco a bajos aumentos, se observa la presencia de partículas de origen diverso (ver sección 3.3) y posibles depósitos de condensado (Figura 4.11a) sobre la periferia y el soporte central del disco, además de encontrar cambios de tonalidad en algunas zonas del plato, desprendimiento del material de protección (capa de carbono) y rayones sobre la superficie del plato y su periferia, producto del contacto continuo de la IMCP (Figura 4.11b), esto debido a que el EM entre los componentes que conforman la IMCP es cada vez más estrecho, lo cual conlleva a dejar expuesto el medio magnético del plato, provocando con ello la pérdida de información en esa zona y un mal funcionamiento de la UDD. e acuerdo a lo anterior, las regiones en las cuales se tiene aparentemente deterioro por corrosión son identificadas y seccionadas para posteriormente analizarlas mediante microscopia 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. n algunos de los dispositivos analizados se observan rayas en la superficie del plato causadas por la C de L/E (Figura 4.14), lo cual en algunos casos provoca el desprendimiento de material de la superficie del disco (Figura 4.14).

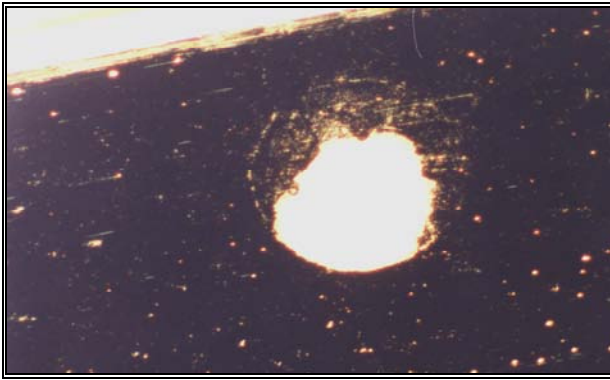


**a)**

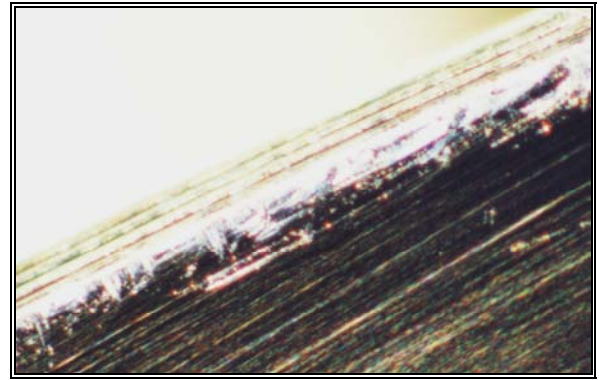


**b)**

**Figura 4.11** (a) Se aprecia el deterioro sufrido, debido a marcas de condensado localizadas en la periferia del disco, además de presentar cambios de tonalidad (debido a posibles depósitos corrosivos) en la superficie. (b) Además se aprecia el desprendimiento de material en la periferia del plato debido al choque con la C de L/E.

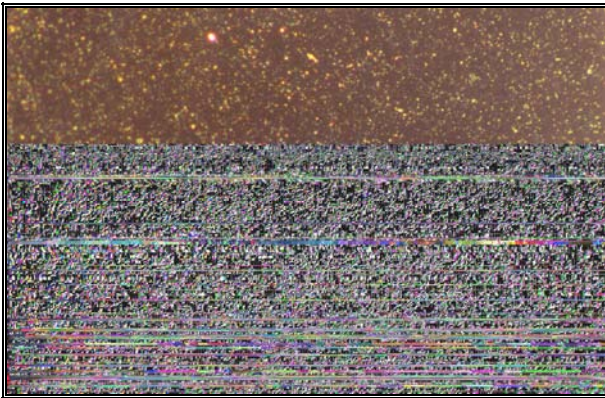


a)



b)

**Figura 4.12** (a) Se aprecia en la imagen el desprendimiento de la capa de carbono además de discontinuidad y posibles partículas del mismo plato producto de dicho desprendimiento. (b) Se observa el severo deterioro de la superficie del plato tanto en la periferia como en la superficie dejando al descubierto el medio magnético e incluso el sustrato del plato debido a rayones y al de la IMCP.

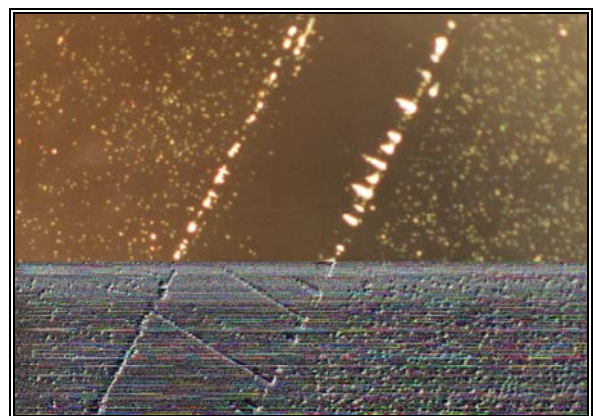
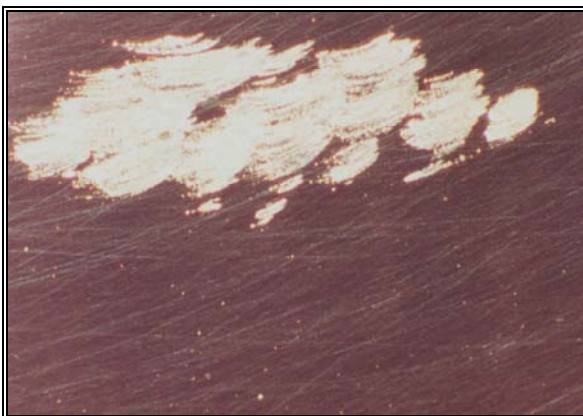


a)



b)

**Figura 4.13** (a) Sobre la superficie del disco se aprecian imperfecciones, teniendo discontinuidades (posibles poros) en la capa de carbono. (b) En esta imagen se pueden observar con mayor detalle aquellas imperfecciones y rayones producidos por la C de L/E.



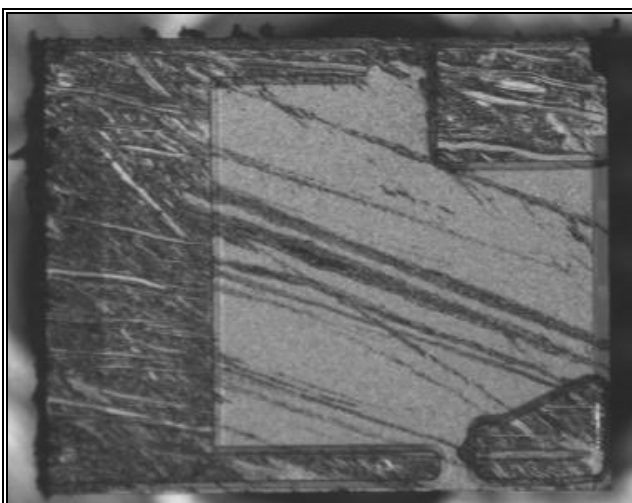
**Figura 4.14** En la imagen se aprecia claramente el desprendimiento de material de la superficie del disco provocado por la C de L/E.

Debido al tamaño tan reducido de la C de L/E, se debe utilizar un microscopio óptico para seleccionar las cabezas que presenten deterioro significativo para su análisis y evaluación debido a colisiones de la IMCP, partículas adheridas, o bien debido a productos debidos a la corrosión. Se debe tener mucha precaución sobre todo al momento de el desensamble del brazo que sostiene la C de L/E y el desprendimiento de esta.

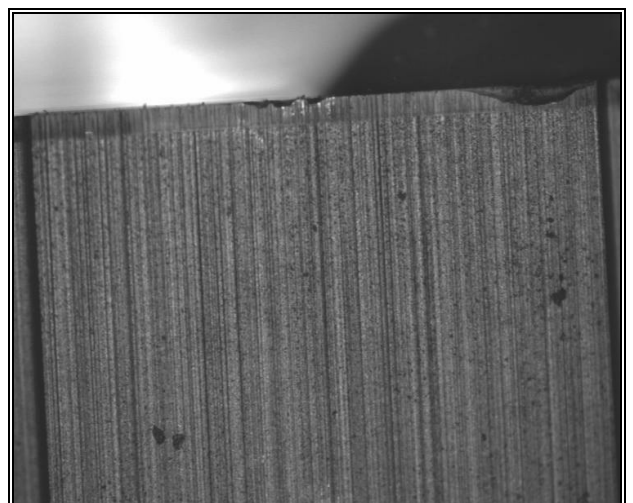


**Figura 4.15** El retiro del plato y el del Brazo de debe de hacer con mucho cuidado sobre todo al desprender la C de L/E de dicho brazo para evitar la contaminación de partículas ajenas a la composición de estos y tener como resultado un análisis químico efectivo.

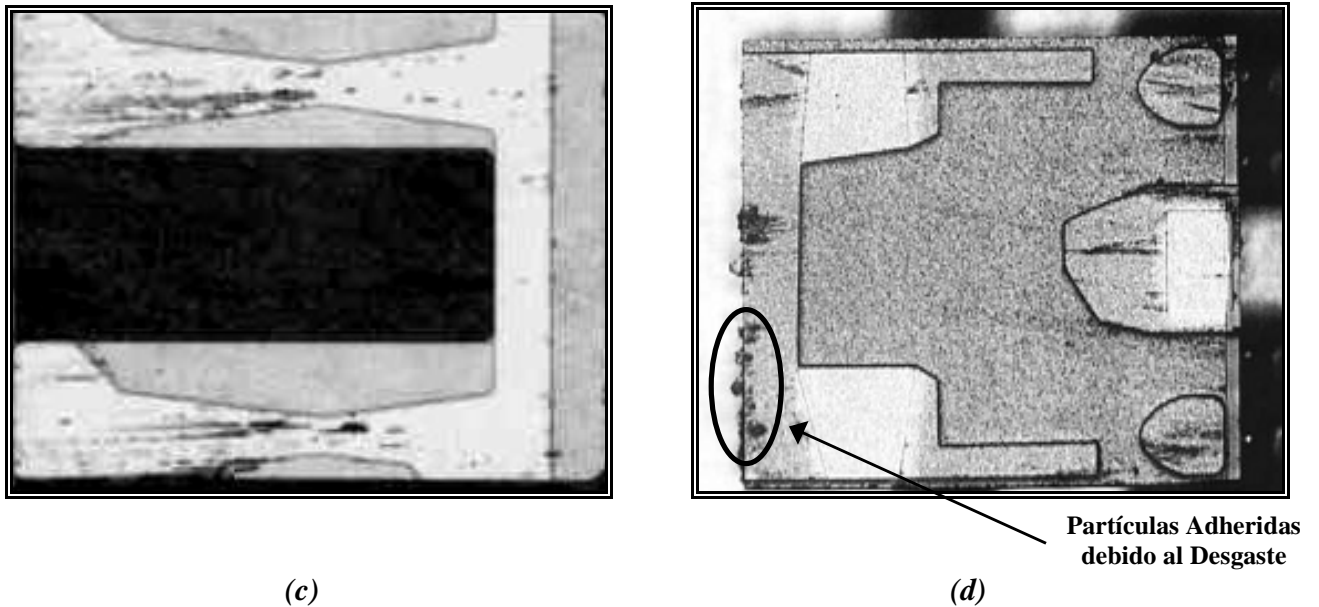
Al igual que en la superficie del plato, en lo que se refiere a la C de L/E se pudo observar desprendimiento de material así como rayones en la superficie de la cabeza que tiene contacto con el plato además de posibles partículas adheridas en su superficie (Figura 4.16).



(a)



(b)



**Figura 4.16** Micrografías correspondientes a C de L/E donde se aprecia tanto rayones (a), (c) y (d) así como pérdida de material debido al contacto continuo entre la IMCP. Además (b), (d) se presentan porosidades y posibles inclusiones de partículas contaminantes, en algunas partes de la cabeza de escritura (periferia).

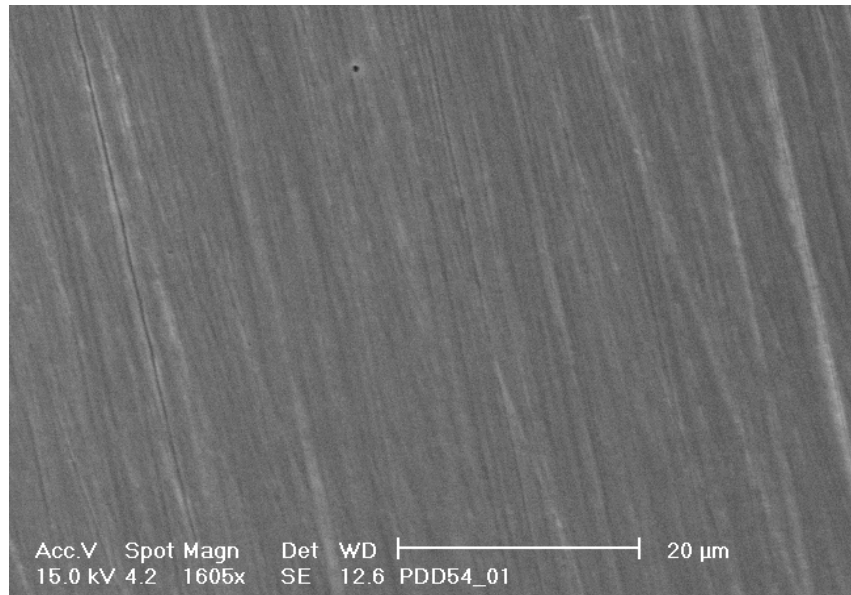
### C) INSPECCIÓN POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Una vez que se realizó la inspección visual y a bajos aumentos, se emitieron las conclusiones pertinentes de lo observado, sin embargo para tener mayor detalle del deterioro, es necesaria una inspección de microscopía electrónica de barrido, así como un análisis químico de la zona de deterioro más significativo para confirmar la posible existencia de productos de corrosión.

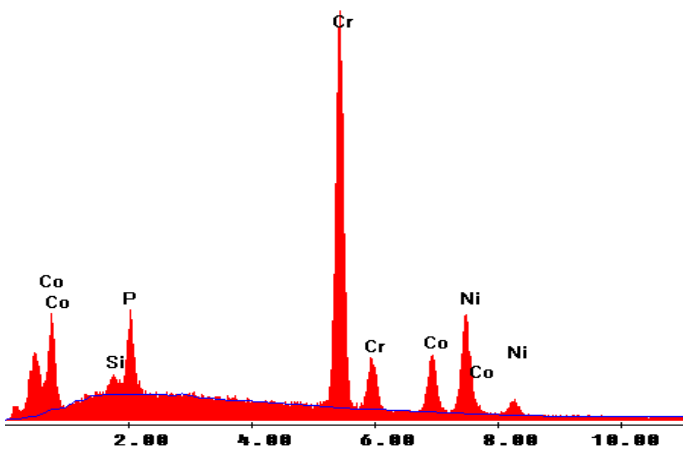
Para el análisis mediante microscopía electrónica es necesario seccionar la región donde se detectó la posible existencia de corrosión, se debe de desmontar el plato del eje principal y proceder a su corte al igual que del brazo que soporta la C de L/E. Este proceso se realiza con el mayor cuidado posible para no contaminar tanto la cabeza así como la parte a seccionar además de evitar dejar residuos del material sobre la superficie del plato lo cual alteraría los resultados del análisis.

La manifestación del daño sufrido por corrosión en la superficie del plato se da por cambios de tonalidad en su superficie, ausencia de elementos protectores como lubricante y capa protectora de carbono, evidencia de acumulación de condensado, sobre todo en la periferia del plato, pérdida de material de la IMCP y existencia de elementos (cloruros, sulfatos, óxidos, hidróxidos, etc.) ajenos a la composición de los especímenes analizados; el mismo comportamiento se presenta en las C de L/E lo cual se confirma al realizar la inspección en microscopía electrónica y el análisis químico.

1) *Análisis químico de la superficie de los platos de los discos duros.*



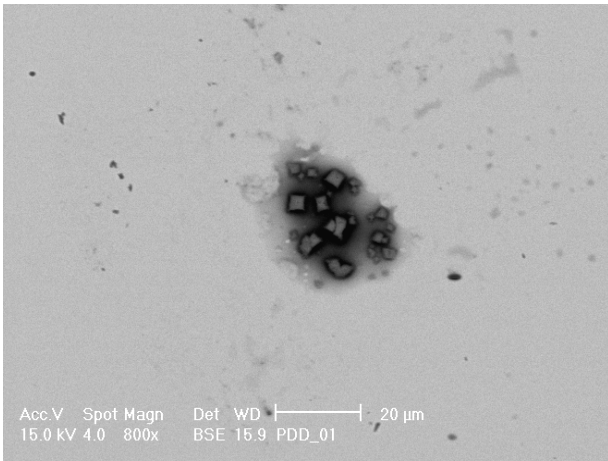
**Figura 4.17** Superficie del plato donde se aprecia rayones y porosidad debido al contacto con la C de L/E.



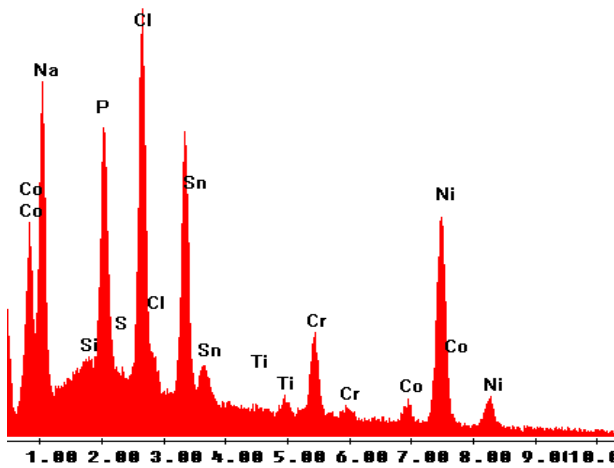
**Tabla 4.3** Análisis Químico Cuantitativo de la superficie del plato.

Elemento	Wt %	At %
SiK	0.85	1.62
P K	3.1	5.35
CrK	47.66	49.02
CoK	15.66	14.21
NiK	32.73	29.8
Total	100	100

**Figura 4.18** Espectro de la superficie del plato, siendo el cromo el elemento más representativo cabe mencionar la ausencia de elementos de la capa protectora y del lubricante.



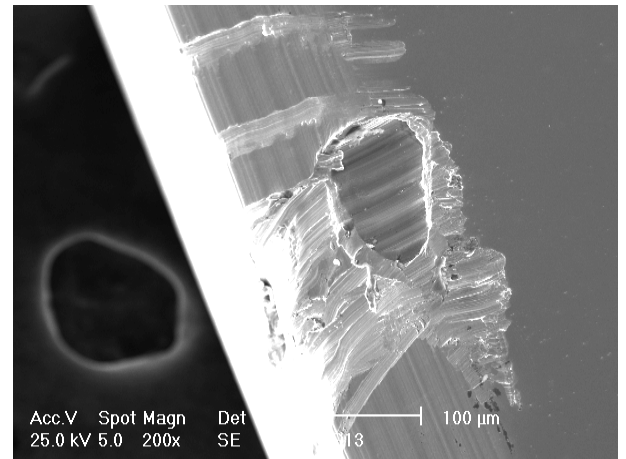
**Figura 4.19** Se aprecia un depósito ajeno a la superficie del plato y porosidad.



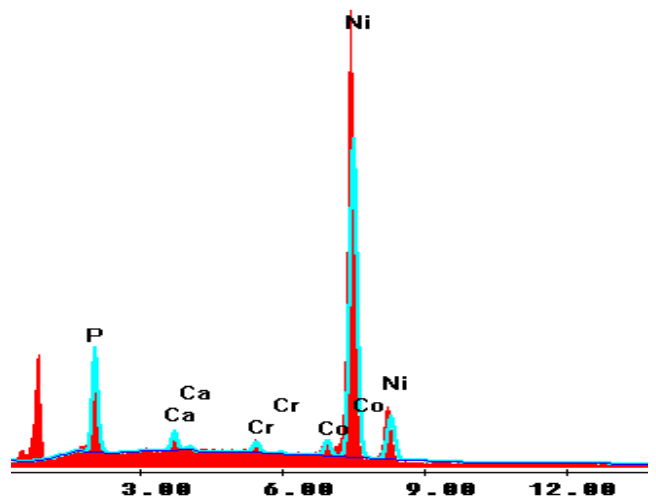
**Figura 4.20** Espectro (fig. 4.19) del depósito, donde se observa la presencia de Cl, S, Na, Sn, Ti (Elemento de la C de L/E); elementos ajenos a la composición del plato del disco duro.

**Tabla 4.4** Análisis Químico puntual de la sup. del plato.

Elemento	Wt %	At %
NaK	13	25.29
SiK	0.83	1.33
P K	7.02	10.14
S K	0.68	0.95
ClK	11.13	14.05
SnL	9.77	3.68
TiK	0.17	0.16
CrK	6.75	5.81
CoK	3.84	2.92
NiK	46.81	35.67
Total	100	100



**Figura 4.21** Se aprecia pérdida de material en la periferia del plato debido al impacto de la C de L/E.

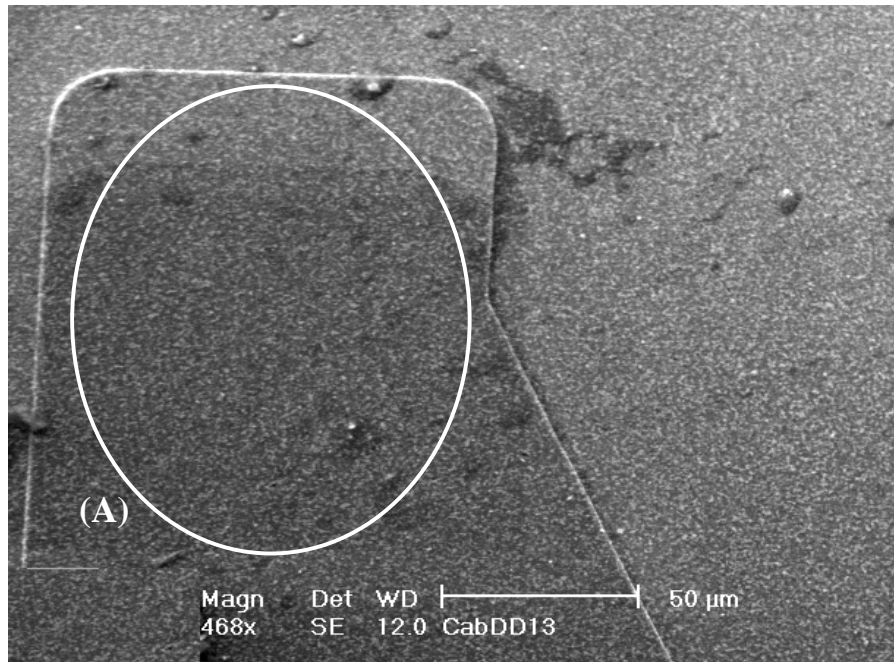


**Figura 4.22** Espectro de la figura 4.21, el elemento más representativo es el Ni debido a la pérdida de la capa magnética (Co, Cr) en la zona afectada.

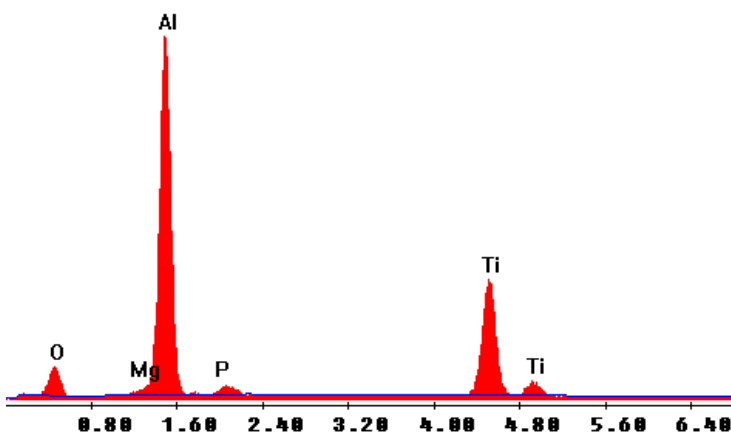
**Tabla 4.5** Análisis Químico puntual de la figura 4.21

Elemento	Wt %	At %
P K	10.9	18.67
CaK	1.63	2.16
CrK	1.26	1.29
CoK	3.58	3.22
NiK	82.63	74.66
Total	100	100

2) Análisis Químico de las C de L/E pertenecientes a los Discos Duros.



**Figura 4.23** Aspecto de la C de L/E. (A) Se aprecian cambios de tonalidad y desgaste en el área más cercana a la superficie del plato; Se puede apreciar también depósitos de partículas en toda la zona que afectan el desgaste de la IMCP.

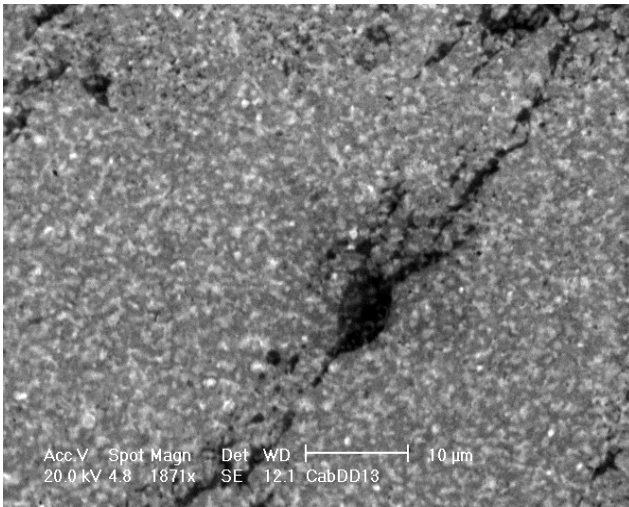


**Figura 4.24** Espectro químico de la zona A en la figura 4.23. Se cuenta con Mg, elemento ajeno a la composición de la C de L/E, posiblemente perteneciente a las partículas adheridas además de la presencia de O<sub>2</sub>.

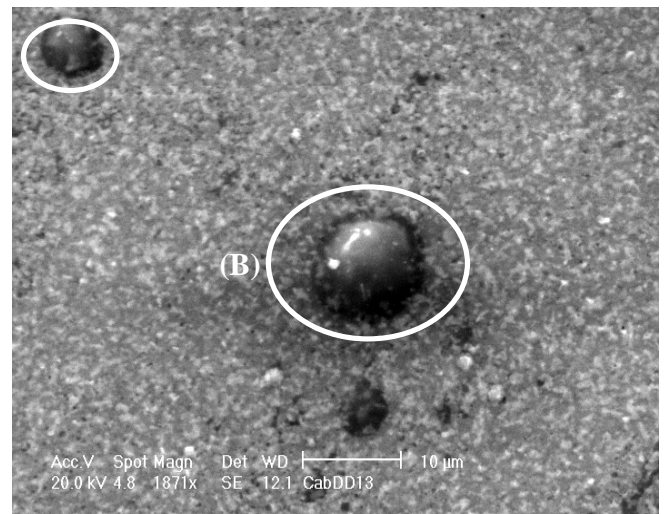
**Tabla 4.6.** Análisis Químico puntual de la zona A.

Elemento	Wt %	At %
O K	18.31	31.43
MgK	1.44	1.63
AlK	46.05	46.86
P K	1.52	1.35
TiK	32.68	18.73
Total	100	100

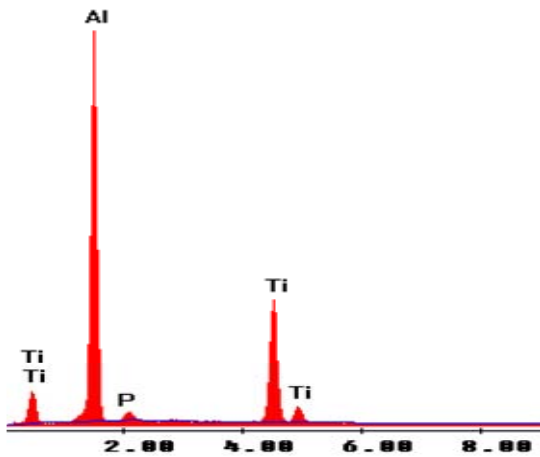




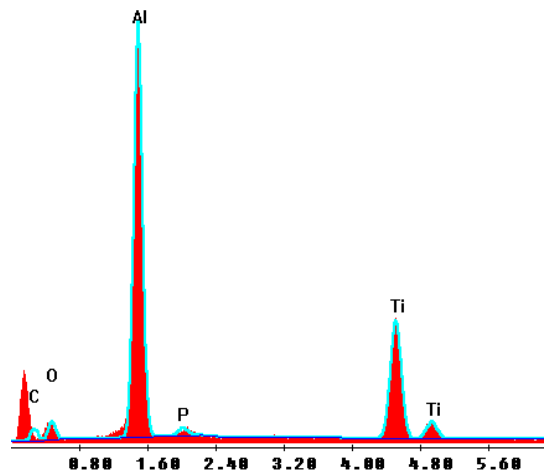
**Figura 4.25.** Se aprecia claramente la pérdida de material acompañado de una fractura en la zona debido a choque con la superficie del plato.



**Figura 4.27.** Presencia de burbujas y partículas depositadas sobre la superficie de la C de L/E al igual que porosidad cercana a dichas burbujas.



**Figura 4.26.** Espectro químico de la figura 4.25.



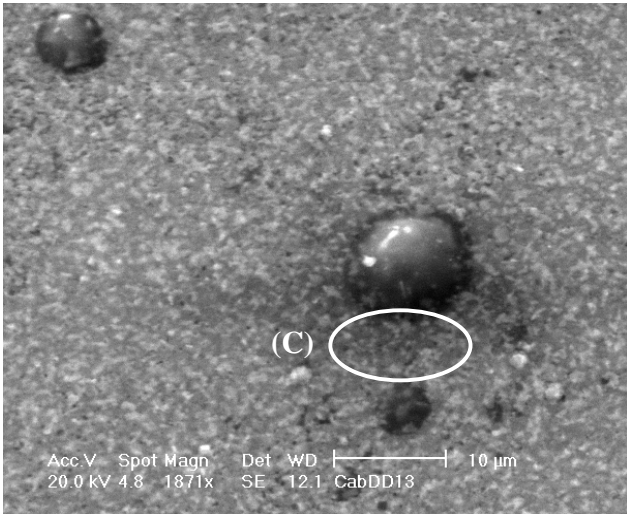
**Figura 4.28.** Espectro químico de la zona (B) de en la figura 4.27.

**Tabla 4.7.** Análisis Químico puntual de la zona deteriorada.

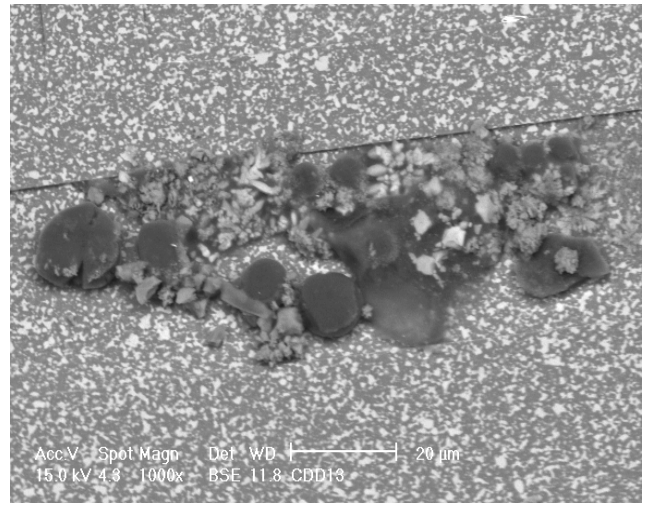
Elemento	Wt %	At %
AlK	56.31	69.07
P K	1.98	2.11
TiK	41.71	28.82
Total	100	100

**Tabla 4.8.** Análisis Químico puntual de la zona (B).

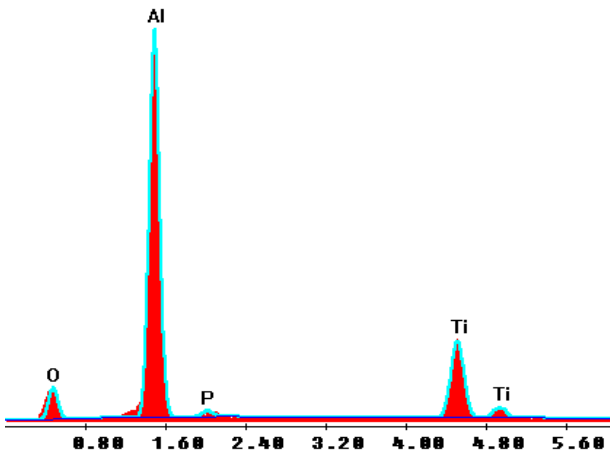
Elemento	Wt %	At %
C K	8.87	18.99
O K	11.39	18.3
AlK	46.88	44.67
P K	1.38	1.15
TiK	31.48	16.9
Total	100	100



**Figura 4.29.** A diferencia de la fig 4.27 en el área seleccionada C no hay presencia de Carbono sobre la superficie del deslizador de la C de L/E.



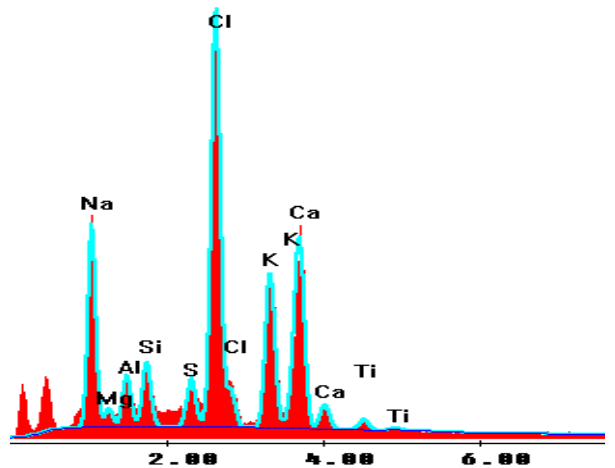
**Figura 4.31.** Depósitos sobre la superficie de la C de L/E.



**Figura 4.30.** Espectro químico puntual de la zona C.

**Tabla 4.9** Análisis Químico puntual de la zona C.

Elemento	Wt %	At %
O K	20.22	33.21
AlK	53.35	51.95
P K	1.14	0.97
TiK	25.29	13.87
Total	100	100



**Figura 4.32** Espectro Químico puntual de los depósitos en la fig. 4.31

**Tabla 4.10** Análisis Químico puntual de los depósitos.

Elemento	Wt %	At %
Na	13.84	20.23
Mg	1.13	1.56
Al	2.85	3.55
Si	3.81	4.55
S	3.22	3.37
Cl	33.20	31.47
K	16.40	14.10
Ca	23.68	19.86
Ti	1.68	1.31
Total	100	100

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. 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. Un aspecto observado es que en el interior de los dispositivos, no esta presente de manera significativa a comparación de las piezas expuestas directamente a la atmósfera donde se observó acumulación de polvo y condensado, si embargo algunas micrográficas y análisis químicos del interior de las UDD, evidenciaron la ineficacia del sistema de filtrado ya que se encontraron depósitos de partículas que no es factor suficiente para el comienzo del proceso corrosivo pero si para que se presente el deterioro de la IMCP.

Como conclusión de las observaciones realizadas en especímenes provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se concluye que las UDD no presentan, en términos generales, evidencia de corrosión en la superficie del plato o en elemento alguno del sistema. Estas observaciones no representan una situación inesperada, a pesar del elevado nivel de contaminación característico del área metropolitana de la Ciudad de México, sino son resultado del bajo nivel de humedad relativa característico de ésta zona de la república., lo cual se puede apreciar en el análisis químico, sin embargo el deterioro sufrido en la superficie del plato debido a la adhesión, daño en el plato y C de L/E de la UDD, o la caída de la C de L/E y la contaminación dentro de la unidad del disco duro de diferentes formas o bien combinación de estas, como son: las partículas estáticas y/o aerotransportadas, la contaminación orgánica, corrosión de los aniones residuales (el cloruro y sulfato), o el vapor de gases externos además de las partículas producidas por el uso situación que describe un daño mecánico y en algunos casos la inutilidad de dichos sistemas, sin embargo las situaciones que se pueden presentar en el interior de la unidad pueden ser factores muy importantes para el inicio del deterioro por corrosión en los discos duros.

# CAPÍTULO 5

## *SIMULACIÓN ACELERADA DEL DETERIORO POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISCOS DUROS*

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconoce que la producción en la industria electrónica, sufre anualmente daños significativos debidos a la corrosión y por otro lado, la demanda hacia esta producción y su confiabilidad aumenta fuertemente debido principalmente al desarrollo de diseños mas sofisticados y su consecuente miniaturización. Se reconoce también, que el estudio del comportamiento corrosivo de un equipo dado en un ambiente específico es todavía muy costoso y difícil.

Debido a la tendencia de los diseños actuales en equipo electrónico, se requiere del uso de una gran cantidad de componentes y un rápido procesamiento de señales, resultando en componentes más pequeños y espaciamentos más reducidos, así como elementos metálicos muy delgados; por ejemplo en las pistas metálicas (de cobre, oro, plata, níquel, estaño, etc.) de una TC de disco duro, la existencia de una capa húmeda condensada sobre su superficie, aunque muy delgada, es suficiente para que la corrosión inicie, a la vez puede provocar un corto circuito de distinta naturaleza, y también es posible el desarrollo de corrosión galvánica (celda galvánica de 2 o más metales). Este daño puede ocurrir incluso en ambientes interiores, además niveles extremadamente pequeños de contaminantes presentes en el ambiente donde se manufacturan estos equipos provocan problemas de corrosión por lo que desde la etapa de diseño, manufactura, almacenamiento, transportación y servicio, debe prevenirse la posibilidad de desarrollo de corrosión.

Para la evaluación de la resistencia a la corrosión de dispositivos electrónicos que operaran bajo las condiciones de deterioro generadas por el medio ambiente, se han aplicado una serie de ensayos, siendo el de cámara de niebla salina uno de los más populares. Sin embargo, éste y otros ensayos que se han desarrollado para tal efecto no tienen ninguna relación con las condiciones reales de servicio, por lo que es necesario desarrollar un método de prueba y diseñar el equipo necesario que permita simular en forma acelerada estos fenómenos.

Para evaluar el comportamiento de los materiales durante su exposición a la atmósfera se estructuran diversos tipos de ensayos, éstos se clasifican en:

- i) Pruebas de campo.
- ii) Pruebas de laboratorio.

Las pruebas de campo son aquellas en las que el testigo es expuesto a las variables existentes en el ambiente sin que éstas puedan ser manipuladas (ver Capítulo 4).

Las pruebas de laboratorio son aquellas en las que ciertas variables pueden ser controladas. Entre este tipo de pruebas se encuentran las siguientes:

- Cámara de niebla salina.
- Cámara de niebla salina + ácido acético.
- Cámara de niebla salina + SO<sup>2</sup>.
- Cámara acelerada de niebla salina Cu<sup>+2</sup>.
- Cámara de ciclos de humedad.
- Cámara de gases.

La selección de los métodos de ensayo en el campo de la corrosión atmosférica no resulta, como ya hemos visto, un problema simple. Si se desean obtener resultados seguros el ensayo debe ser planeado y llevado a cabo muy cuidadosamente, utilizándose sobre todo los métodos más adecuados de evaluación; una prueba bien llevada puede proporcionar información suficiente respecto a muchas aplicaciones.

De los factores más íntimamente asociados con el medio ambiente, solo el factor de presión de gas o vapor puede controlarse de manera exacta, los demás únicamente se pueden determinar inicialmente permitiendo después que sigan su propio curso durante el experimento. La medida en que pueden controlarse los factores más intrínsecamente asociados con el espécimen, varía en relación con el objetivo de la prueba y, en general, tanto la importancia relativa de los diversos factores como el método más apropiado para controlarlos, varía a su vez, con la finalidad de la misma.

Si queremos explicar las causas de estos daños nos servimos de los ensayos de corrosión bajo condiciones conocidas y reproducibles, con una elección determinada y limitada de aquellos factores que son decisivos en el proceso de corrosión. Independientemente de sus características, todo método de ensayo debe ofrecer resultados reproducibles, así como dar resultados útiles y aplicables. Por otra parte, si los factores que influyen de forma decisiva se valoran incorrectamente, los resultados serán erróneos.

## **5.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LOS ENSAYOS DE SIMULACIÓN ACELERADA EN DISCOS DUROS.**

La necesidad de ensayos acelerados radica en identificar el efecto que el medio ambiente tiene en el desempeño del equipo electrónico, con el fin de conocer las limitaciones en la vida útil del equipo, sobre todo en el caso de productos de alto desempeño como lo es las UDD. La exigencia de éstos se orienta a la estimación de la vida de la unidad bajo condiciones de servicio, esto a través del empleo de extrapolaciones.

La relativamente pequeña velocidad de corrosión en la atmósfera es una barrera con respecto al desarrollo técnico. Se crean nuevos materiales y aleaciones, se producen nuevas capas protectoras y se perfeccionan los procesos, por lo tanto no se puede esperar varios años para obtener los resultados de los ensayos naturales a la atmósfera. Se necesitan resultados más rápidos. La aceleración de los procesos es llevada a cabo por intensificación de factores tales como: temperatura, humedad relativa, condensación de humedad y agentes corrosivos (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Cl<sup>-</sup>, ácidos, sulfuro de hidrógeno, etc.).

Para este estudio, los ensayos acelerados se orientan a la evaluación de los modos de falla, a la estimación de la vida útil, a la determinación de los problemas que se van a presentar durante el servicio y sobre todo las velocidades de penetración del daño para así proporcionar información que permita encontrar el tiempo de vida real del producto, lo cual se pretende lograr al efectuar pruebas de simulación que reproduzcan los efectos de las condiciones atmosféricas y de la calidad del aire. A pesar de la importancia del asunto, hay muy pocos estudios publicados en cuanto a las características de fallas en discos duros.

La mayoría de la información disponible proviene de los fabricantes. Sus datos son típicamente basados en la extrapolación de los datos de prueba de simulaciones aceleradas de poblaciones pequeñas. Se estima que encima de 90% de toda la información producida en el mundo está guardándose en medios magnéticos, la mayoría de esta información en UDD. Sin embargo, hay relativamente pocos trabajos publicados de los modelos de falla y factores importantes que afectan la vida de los discos duros [Pinheiro E., et al.].

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.

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.

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.

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.

### **5.3 REQUERIMIENTOS NECESARIOS DE UN ENSAYO PARA LA SIMULACIÓN ACELERADA POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.**

Es necesario que el ensayo cumpla con ciertas condiciones como son:

- a) Repetitividad
- b) Facilidad de desarrollo
- c) Capacidad de reproducción de los fenómenos de deterioro observados en pruebas de campo.
- d) Bajo costo
- e) Rapidez

Los ensayos a realizar son de tipo cualitativo, los cuales proporcionarán las bases para definir posteriormente algunos aspectos de tipo cuantitativos.

De acuerdo a lo reportado en la literatura [Zakipour S., et al., 1986 y Abbott.W, et al., 1989], así como con los estándares establecidos por diferentes sociedades técnicas, la prueba se caracterizará por:

- Cámara ambiental
- Presencia de gases contaminantes que mayor efecto presentan en el deterioro de los dispositivos.
- Humedad relativa controlada superior al 85%.
- Presencia de ozono como agente que promueve el fenómeno.
- Las UDD a evaluar se colocarán tanto en posición horizontal como vertical 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 contaminantes, 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.

### **5.4 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA CAMARA DE SIMULACIÓN ACELERADA DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.**

Para llevar a efecto las pruebas de corrosión atmosféricas de manera acelerada para simular de una forma realista las condiciones a las que se encuentran expuestos los componentes como los discos duros, se requiere un sistema de pruebas de naturaleza específica [Trethewey K.R., et al., 1988 y Cerrud, S., et al., 2003]. El equipo destinado para tal fin es capaz de reproducir ambientes típicos de zonas que se consideran como críticas de acuerdo a las condiciones presentes (agresividad del ambiente). El equipo utilizado para la realización de los ensayos de simulación acelerada de corrosión atmosférica, se diseñó y construyó en los laboratorios de Ingeniería Mecánica en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM), Facultad de Ingeniería UNAM [Cueva G. I., 2006]

La cámara es capaz de reproducir los efectos que el ambiente ejerce en componentes mecánicos y electrónicos de manera rápida y a un bajo costo. El equipo utilizado para realizar las pruebas de corrosión aceleradas permite modificar las condiciones de ensayo de manera fácil y rápida para reproducir ambientes manipulando las concentraciones de los contaminantes para simular diferentes atmósferas. Lo anterior está encaminado a determinar de manera rápida los modos de fallas bajo condiciones críticas de operación.

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 tipo de ensayo se clasificará de acuerdo a los contaminantes característicos de cada ambiente de acuerdo con la clasificación ISO.

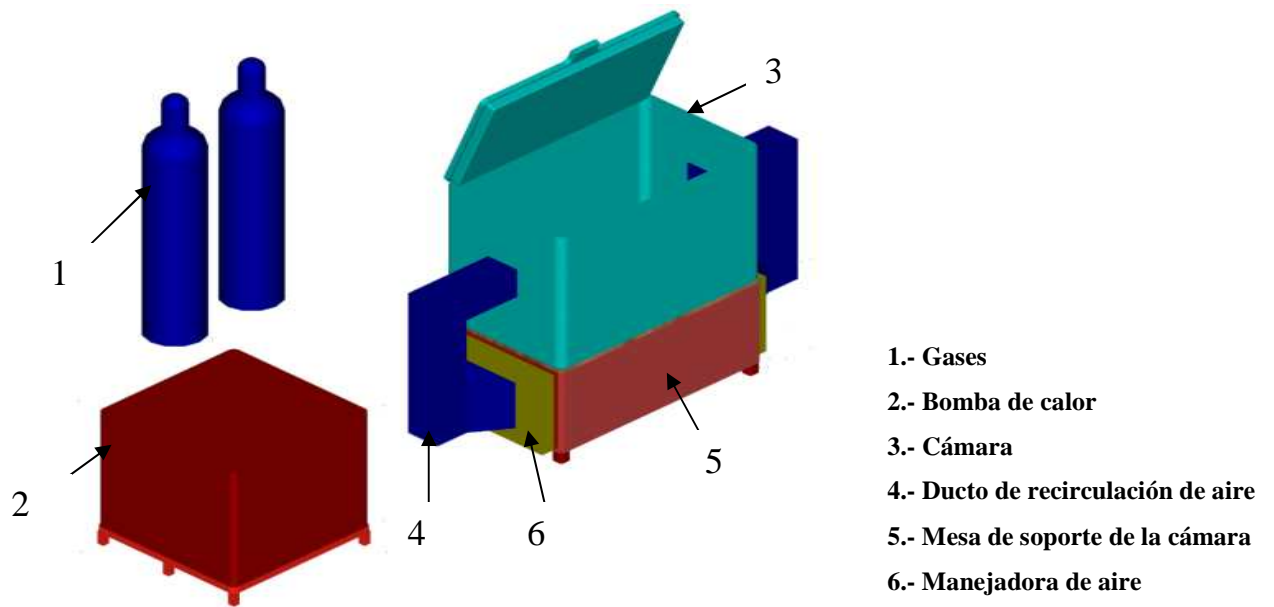
Para este tipo de ensayos se usa con gran frecuencia cinco contaminantes para los cuales se tienen normas de calidad bien establecidas. Estos son: dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales, e hidrocarburos.

La cámara de pruebas aceleradas de corrosión atmosférica que es presentada en este trabajo se ha limitado al uso de tres de los principales contaminantes que se encuentran en la atmósfera: dióxido de azufre, ozono, y óxido de nitrógeno, contando además con humedad y la posibilidad de controlar la temperatura.

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 5.1** Elementos principales que integran el sistema de pruebas aceleradas de corrosión [Ortiz, A., 2004].



**Figura 5.2** Cámara para ensayos acelerados de corrosión atmosférica.

## 5.5 DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE SIMULACIÓN ACELERADA POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.

Como se ha mencionado la corrosión atmosférica depende de la humedad del ambiente, las condiciones extremas de temperatura y los contaminantes que se encuentran dispersos en el aire. Para determinar la corrosividad de una atmósfera es necesario relacionar entre sí todos los factores que la afectan, en especial aquellos que han demostrado tener particular influencia en el proceso de corrosión atmosférica.

Para poder llevar a cabo esta simulación se considera de gran utilidad para la interpretación de los datos establecer la siguiente terminología:

- *Agresividad de la atmósfera.* Es el potencial de la atmósfera para provocar corrosión en metales o aleaciones. Se puede medir con base en los siguientes parámetros ambientales: humedad, temperatura y contaminación.
- *Corrosividad de la atmósfera.* Habilidad de la atmósfera para provocar corrosión en un sistema dado.
- *Tiempo de humectación.* Periodo durante el cual una superficie metálica está cubierta por una película de electrolito (incluso adsorbida) que estimula significativamente la corrosión atmosférica.
- *Tiempo de humectación calculado.* Tiempo de humectación estimado a partir de relaciones temperatura-humedad relativa.
- *Tiempo de humectación experimental.* Tiempo de humectación determinado directamente por diferentes sistemas de medida.
- *Categoría de la contaminación.* Característica cualitativa o cuantitativa determinada convencionalmente, que señala la cantidad de sustancias químicas activas, gases corrosivos o partículas suspendidas en el aire, tanto natural como producidas por el hombre, diferentes de los compuestos ordinarios del aire.
- *Tipo de atmósfera.* Caracterización de la atmósfera sobre la base de un apropiado criterio de clasificación: industrial, marina, urbana, etc., o de factores operacionales complementarios: química, etcétera.
- *Complejo temperatura humedad.* Efecto conjunto de la temperatura y de la humedad relativa, que influye en la corrosividad de la atmósfera.
- *Tipo de localización.* Condiciones de exposición típicas definidas convencionalmente a partir de un componente o estructura: espacio cerrado, bajo techo, aire libre, etcétera.
- 

Para este ensayo en particular se definen las características a cumplir, que son las siguientes:

- a) *Duración del ensayo: 200 ciclos en 4 etapas cada una de 50 ciclos de 20 minutos cada uno.*

En esta cuestión el ensayo propuesto, trata de simular condiciones similares a las que se exhiben durante la vida útil las UDD expuestas 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. Por lo tanto más que referir a la duración del ensayo esta condición se describe a través del número de ciclos térmicos aplicados.

b) *Humedad relativa controlada entre 80% y 90%.*

En este caso se manejarán valores de humedades relativas elevadas, teniendo un rango que va del 20% al 90%, teniendo el control de esta variable a través de un sistema de retroalimentación de la señal.

c) *Gases contaminantes: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO.*

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 5.1

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

CONTAMINANTE	TIEMPO	PRESIÓN
SO <sub>2</sub>	3 segundos	100KPa
O <sub>3</sub>	60 segundos	Por Ciclo
NO	3 segundos	100KPa

d) *Concentración de gases contaminantes. Mínimo 100 veces la máxima para atmósfera industrial (se pretende acelerar el deterioro).*

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. 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<sub>2</sub>, 20 a 30 ppm de NO<sub>2</sub>, 100 a 200 de CO<sub>2</sub>, esto en el caso de considerarse éste último gas. Para determinar la concentración para el SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se utilizo un monitor de concentración de gases marca Dräger, modelo Miniwarn.

Las concentraciones que fueron detectadas para el SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> para cada prueba fueron las siguientes:

- SO<sub>2</sub>: 131 ppm con un flujo volumétrico de 100cm<sup>3</sup>
- NO<sub>2</sub>: 28 ppm con un flujo volumetrico de 100cm<sup>3</sup>



**Figura 5.3** El monitor MiniWarn, usado para la detección de la concentración de  $SO_2$  y  $NO_2$ .

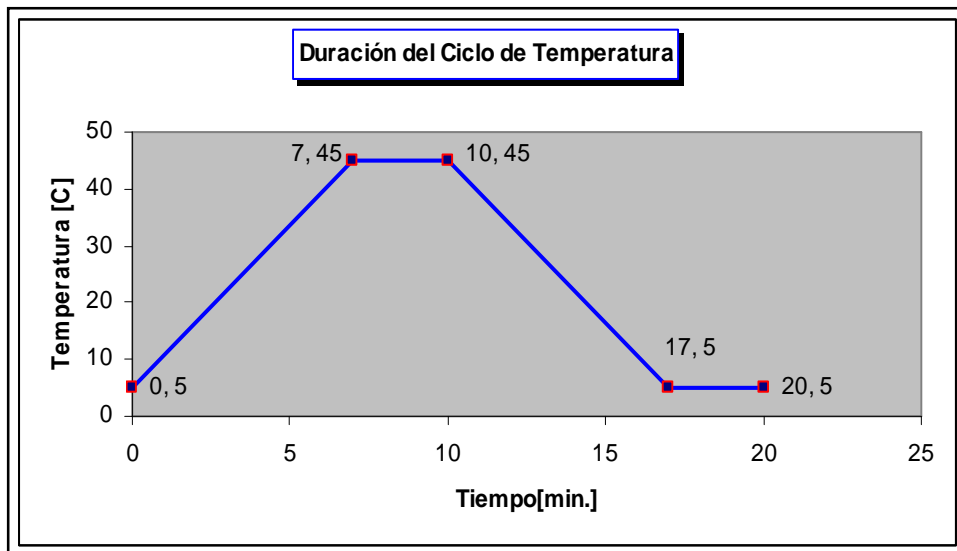
i	0.00	Vol.%	CH <sub>4</sub>
	0	ppm	H <sub>2</sub> S
🔋	20.9	Vol.%	O <sub>2</sub>
	0	ppm	CO
🔊			
1	2	3	4

**Figura 5.4** El display del MiniWarn está dividido en 4 secciones:

- 1) Símbolos especiales,
- 2) Concentración de Gas.
- 3) Unidades de medida,
- 4) Tipo de Gas.

e) Duración del ciclo de temperatura: 20 minutos.

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 14 minutos tanto para el ciclo de calentamiento como de enfriamiento.



**Figura 5.5** Ciclo de Temperatura (Onda Trapezoidal)

- e) *Tipo de ciclo de temperatura*; Onda trapezoidal (facilita el control del ciclo e incrementa los tiempos de condensación).
- f) *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:

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

## 5.6 ENSAYOS DE SIMULACIÓN ACELERADA POR CORROSIÓN ATMOSFÉRICA EN DISCOS DUROS.

Para conocer el efecto de la corrosión atmosférica en UDD es necesario adoptar un tipo de simulación lo más exacto posible. Es necesario evitar la aceleración excesiva que pueda alterar el carácter de la corrosión e invalidar de este modo los resultados obtenidos.

El estudio experimental diseñado para este trabajo 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). De acuerdo al diagnóstico realizado a cada dispositivo, del total de discos el 39.34% se encuentran en buen estado y en condiciones de operación (24 Unidades) que se sometieron a la prueba de simulación acelerada por corrosión.

En la sección anterior se sugirió que el ensayo se desarrollaría en 4 etapas cada una de 50 ciclos de 20 minutos cada uno, cabe aclarar que para cada ensayo de 50 ciclos las unidades fueron extraídas de la cámara de simulación para un estudio visual del estado del deterioro externo; además de un estudio de funcionalidad con la ayuda de la aplicación Norton Disk Doctor para determinar si la unidad estaba todavía en condiciones de operación.

Como ya se mencionó en el Capítulo 4 el estudio del deterioro de las UDD en la ZMCM hasta el momento consta de 3 etapas, donde las dos primeras etapas las condiciones propuestas para la realización del ensayo fueron extremas (1era Etapa 300 ciclos continuos, 2da Etapa 150 ciclos continuos).

Por consiguiente como se menciona en los resultados que se presentan a continuación, difícilmente se encontraron en operación real estos dispositivos, sin embargo lo que se pretendió fue acelerar los eventos que dan lugar al deterioro en UDD.

Con base en los resultados obtenidos en estas dos primeras etapas después de la inspección realizada a los sistemas de almacenamiento magnético de datos, en donde se pudo apreciar en las imágenes tomadas tanto en estereoscopio así como mediante microscopia electrónica 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(300 ciclos continuos). 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. [Sánchez, F., et al., 2005]

Para esta, la 3era. Etapa del estudio del deterioro por corrosión atmosférica, se pretende determinar y evaluar el estado de las unidades cada 50 ciclos (16.66 horas).

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 mayor porcentaje 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.

Para este ensayo, 16 unidades se sometieron a la prueba sin protección alguna en los pines IDE ni en los pines de alimentación, las 8 restantes, fueron protegidas tanto en los pines de alimentación como en los pines IDE, con el fin de tratar de aproximar el ensayo a las condiciones normales de operación de los dispositivos.

En cuanto a la posición de las UDD dentro de la cámara se decidió colocar 12 unidades en posición horizontal y 12 unidades en posición vertical, ya que en estas posiciones, se encuentran operando actualmente dichas unidades. En todos los casos los elementos electrónicos no están expuestos directamente a la atmósfera contaminada.



a) b)

**Figura 5.6** (a) Aspecto de la carcasa de la UDD. (b) Componentes electrónicos de la tarjeta controladora de la UDD, este dispositivo se someterá al ensayo sin protección en pines.



**Figura 5.7** UDD para ensayo de simulación acelerada por corrosión, el cual fue protegido de los pines IDE y de alimentación.

## 5.7 DETERMINACIÓN DE LA EXISTENCIA DE CORROSIÓN EN DISCOS DUROS.

Para determinar el deterioro y la posible existencia de productos de corrosión en los componentes que integran las UDD, una vez que ha concluido el periodo de exposición, los componentes son analizados para determinar el grado de deterioro sufrido por efectos de corrosión. Es necesario documentar las observaciones así como apoyarse con imágenes que muestran la apariencia de los componentes.

Posterior al retiro de los especímenes de la cámara deben ser cuidadosamente secados para eliminar la humedad que permanece sobre la superficie, esto antes de realizar el diagnóstico posterior y compararlo con el diagnóstico previo a la exposición.

Siguiendo la metodología propuesta en el Capítulo 4, al igual que en los discos duros retirados de campo, se realizó una inspección inicialmente a simple vista, a bajos aumentos con ayuda del estereoscopio y posteriormente con el microscopio electrónico de barrido, lo anterior con la intención de hacer un comparativo de las características de deterioro en forma acelerada con los que se presentan después de una prolongada exposición en campo.

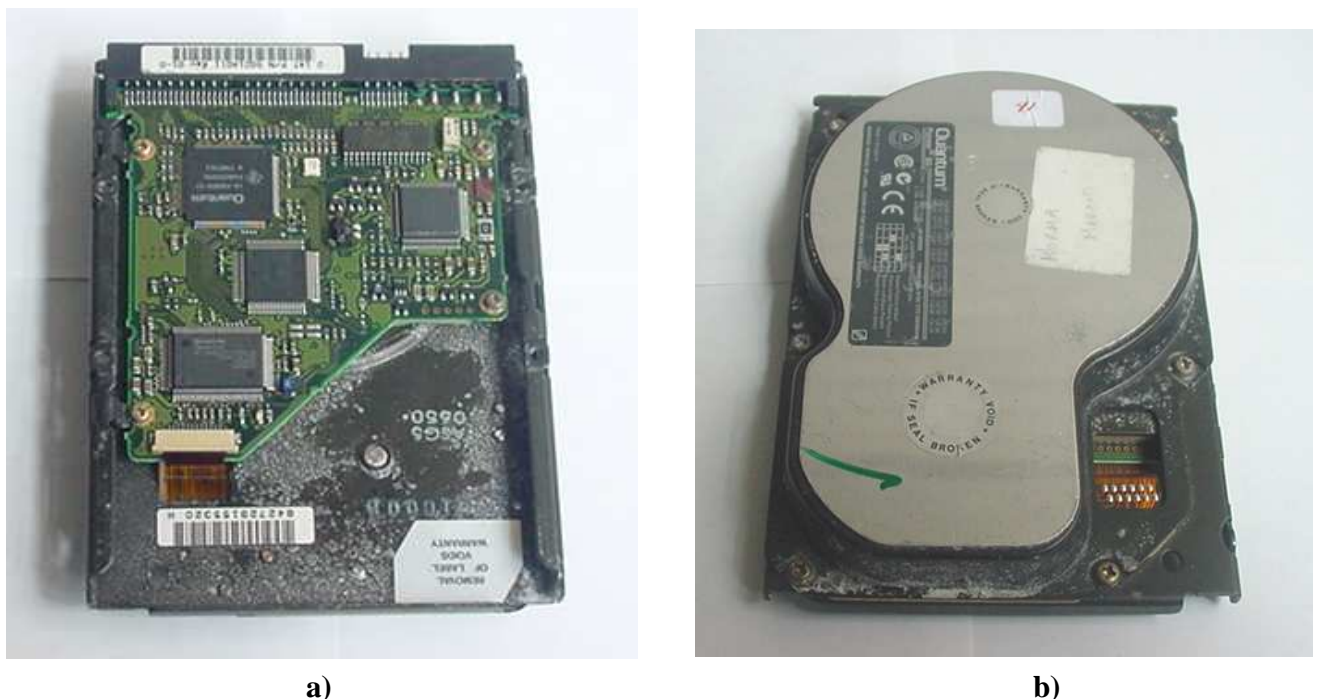
### 5.7.1 EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN UDD PARA 50 CICLOS.

Al extraer las UDD de la cámara es notorio el daño que sufrieron las unidades en su estructura externa (carcaza, TC, pines en general) una vez secos se procese a diagnosticarlos con la ayuda del *software Norton Systemwork* para conocer su estado de operación.

De las 24 unidades sometidas a ensayo, el 33%(8 unidades) presentaron algún problema para realizar su operación de las cuales, 4 contaban con protección de los pines IDE y de los pines de alimentación.

#### A) INSPECCIÓN VISUAL

En la mayoría de las UDD se observan muestras de condensado en la carcasa del disco, así como en la TC (Figura 5.8). Una inspección a primera vista muestra el deterioro sufrido en los pines y la generación de condensado en estas terminales y en los componentes electrónicos que constituyen al disco (Figura 5.9), esto es producto del limitado espesor del recubrimiento que tienen estos elementos lo cual da lugar a la formación de celdas galvánicas y corto circuito de algún circuito integrado que lleva a la inutilidad de la UDD.

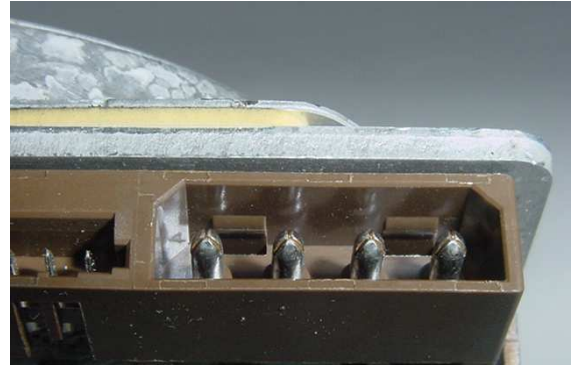


**Figura 5.8** Apariencia del disco duro después de ser retirado de la cámara de pruebas aceleradas. (a) Tarjeta controladora del mismo disco en la cual se aprecian depósitos de condensado en la periferia, así como daño en algunos componentes electrónicos. (b) evidencia de condensado en la carcasa del disco.





a)



b)

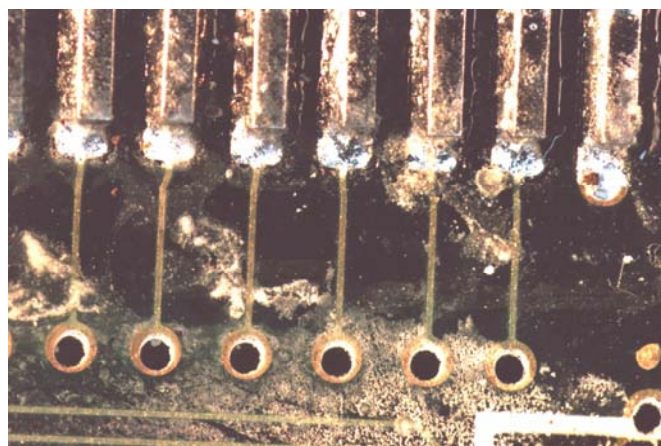
**Figura 5.9** (a) Estado en el cual se encuentran los pines IDE después del ensayo, se aprecian depósitos de condensado en las puntas, así como en la periferia de cada pin. (b) Es notorio el deterioro sufrido en los pines de alimentación, en la periferia se puede observar escurrimiento sobre la periferia de la estructura metálica.



a)



b)

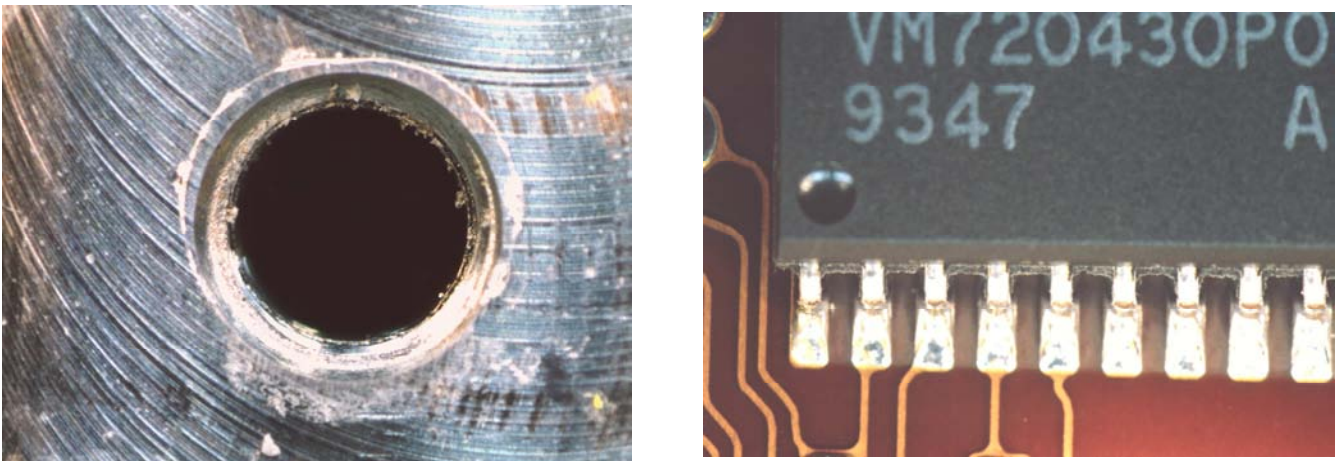


c)

**Figura 5.10** (a) Deterioro de un circuito integrado debido a un corto circuito. (b) Depósitos de condensado en la estructura metálica del disco, corrosión en ciertos componentes de la tarjeta controladora del disco. (c) Condensado en pistas y conectores de pines en la Tarjeta controladora.

**B) INSPECCIÓN A BAJOS AUMENTOS (1 A 32X)**

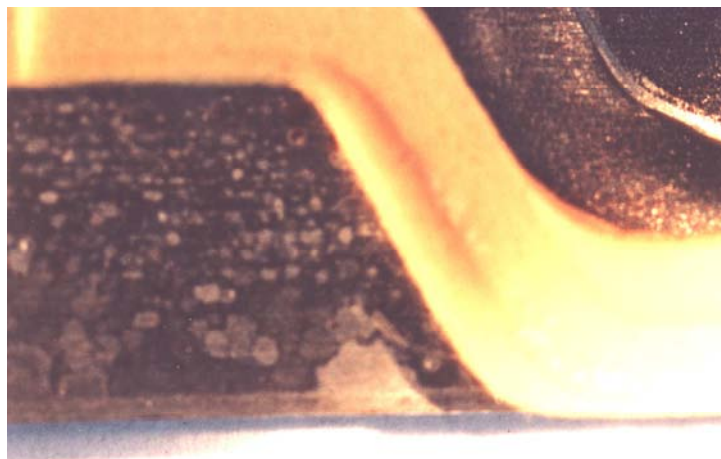
Al destapar los dispositivos para poder evaluar el deterioro sufrido por el ensayo, en lo que respecta a los componentes mecánicos metálicos se encontraron partículas adheridas de condensado en su superficie y en algunos elementos evidencia del inicio de corrosión, es evidente la filtración de partículas del exterior las cuales pueden interferir en el EM provocando alguna falla en la IMCP, 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 Figura 5.11.



(a)

(b)

*Figura 5.11 (a) Elemento de sujeción de la carcasa de la UDD. Se muestra un barreno con partículas de condensado las cuales pueden emigrar al interior de la UDD (b) En esta imagen no se observa deterioro en los circuitos integrados, ni en pistas ubicadas en el interior de la UDD.*

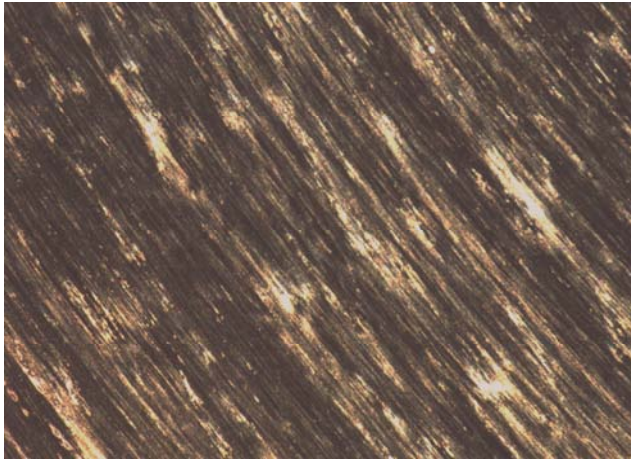


*Figura 5.12 En este caso se puede apreciar depósitos de condensado cerca del sello de la tapa de la carcasa de la UDD las cuales no se encuentran presentes en el interior de la UDD.*

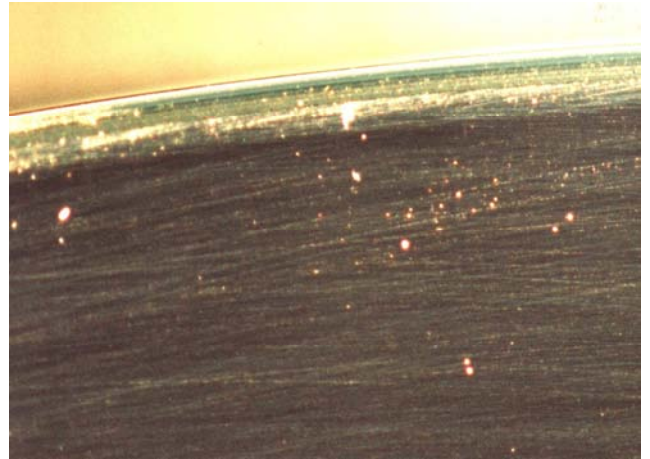
En el caso de la superficie del disco, la inspección se realiza con el estereoscopio en donde se buscaran evidencias de la existencia de corrosión.

Una vez inspeccionados los dispositivos se observa que algunos platos muestran marcas de condensado en la periferia e incluso manchas sobre su superficie posiblemente al depósito de condensado en el EM y al giro del plato al momento de verificar su estado de funcionamiento.

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 5.13, 5.14).

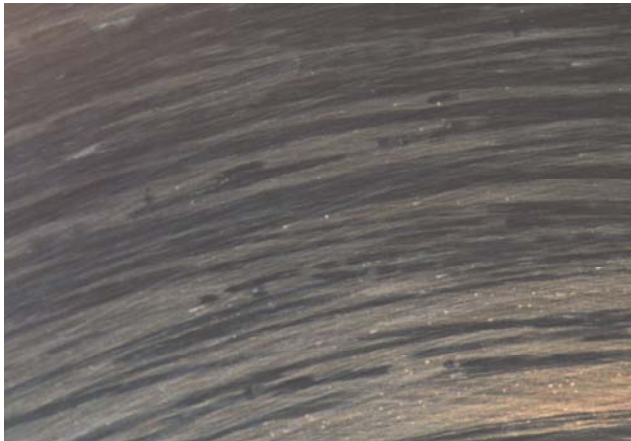


a)

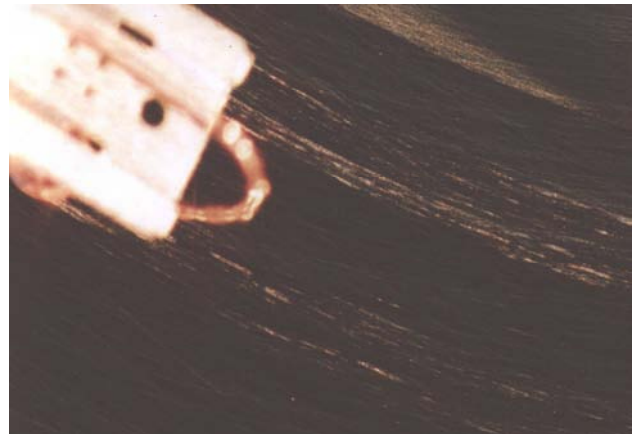


b)

**Figura 5.13** (a) Imagen de la superficie del plato donde se aprecia manchas radiales a lo largo de la superficie debido a condensado en el EM. (b) Evidencia de condensado en la periferia del plato al igual que rayones debido al contacto del plato con la C de L/E.



a)



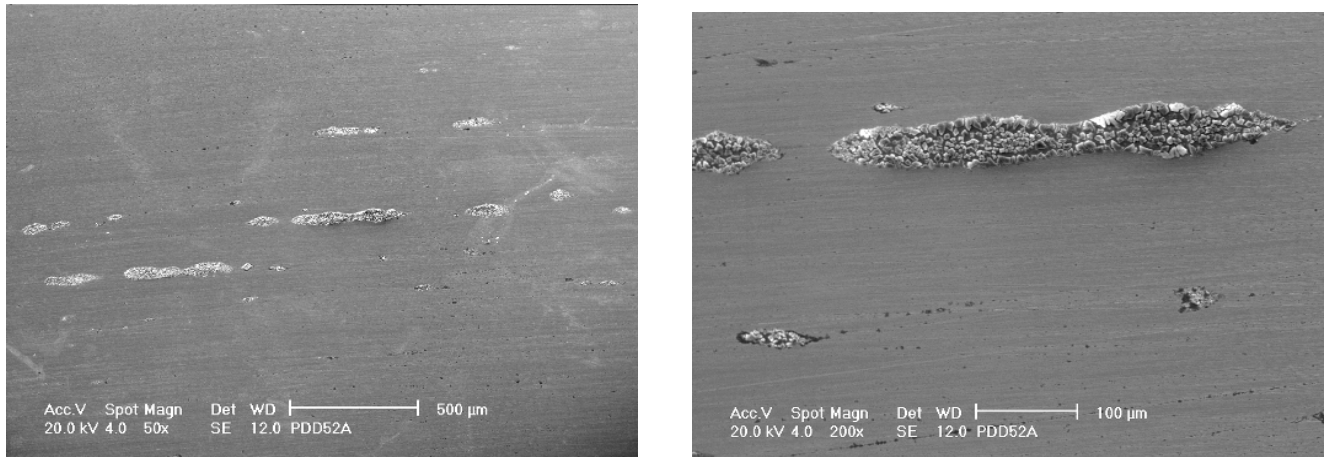
b)

**Figura 5.14** (a) imagen en donde se muestra nuevamente manchas radiales a lo largo de la superficie debido a condensado en el EM. (b) En este caso tenemos rayones sobre la superficie del plato que generan pérdida de lubricante y capa protectora dejando expuesto el medio magnético.

### C) INSPECCIÓN POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

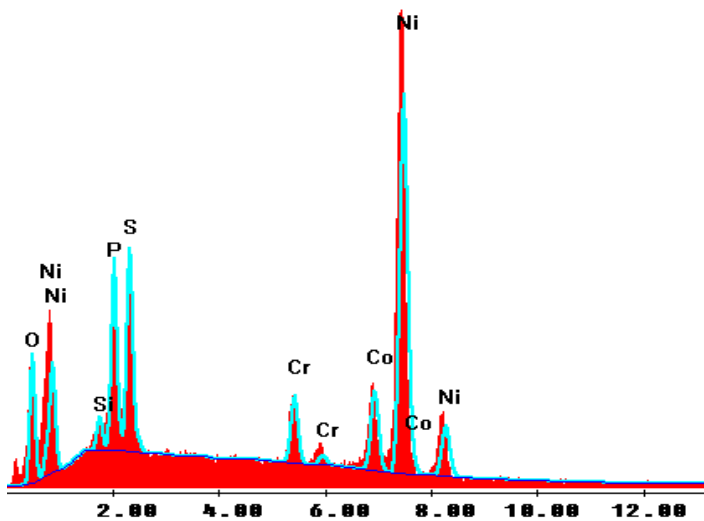
Una vez identificadas las zonas con mayor deterioro y en donde se tiene evidencia de posible deterioro por corrosión sobre la superficie del plato, se procede a seccionar cada región, la cual se inspeccionará con ayuda del microscopio electrónico de barrido.

#### 1) Análisis químico de la superficie de los platos de los discos duros.



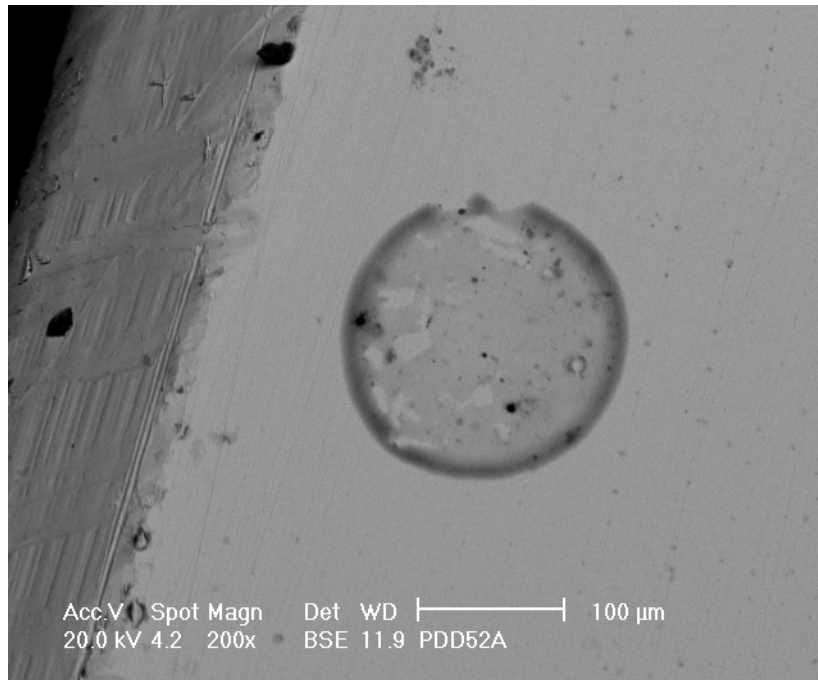
**Figura 5.15** Se tienen evidencias de condensado, a mayores aumentos se observa que son brotes de corrosión y condensado en la superficie del plato, por lo tanto se aprecia mayor porcentaje de níquel debido a la migración de este la superficie del plato lo anterior debido al desprendimiento del lubricante y capa de carbono producto de la movilidad del lubricante, del contacto existente entre la C de L/E y plato debido a la presencia de humedad en el interior de la UDD.

**Tabla 5.2** Análisis químico puntual de los brotes de Condensado correspondientes a la figura 5.15.



Elemento	Wt %	At %
O K	10.56	27.69
P K	5.89	7.98
S K	6.87	8.98
CrK	5.9	4.76
MnK	1.06	0.81
CoK	13.05	9.29
NiK	56.67	40.49
Total	100	100

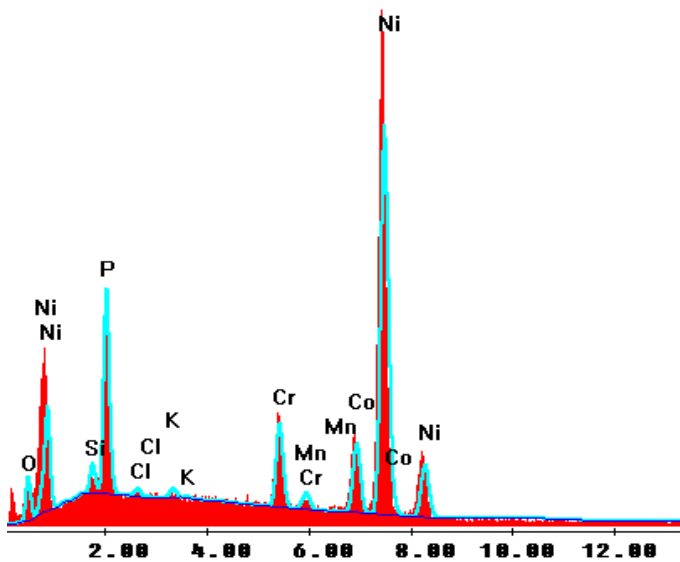
**Figura5.16.** El espectro que se muestra corresponde a las imágenes de la Figura 5.15, en la cuantificación se puede observar la presencia de oxígeno, y azufre siendo agentes altamente corrosivos.



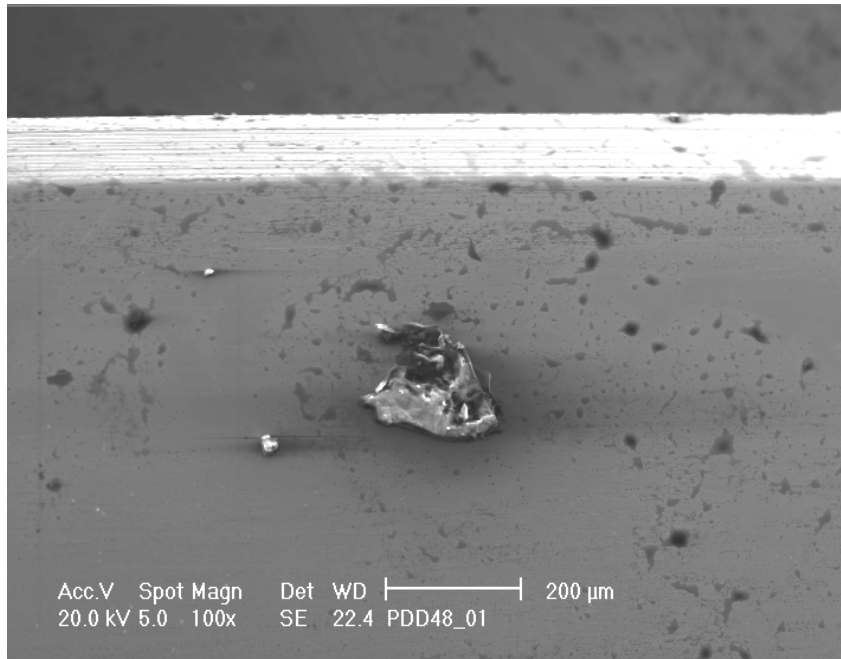
**Figura 5.17.** Micrografía de la periferia del plato donde se muestra un deposito probablemente de agua adsorbida y el deterioro de la periferia de dicho plato por el contacto con la C de L/E donde se aprecian partículas generadas a causa de este contacto.

**Tabla 5.3** Análisis puntual del deposito observado en la figura 5.17

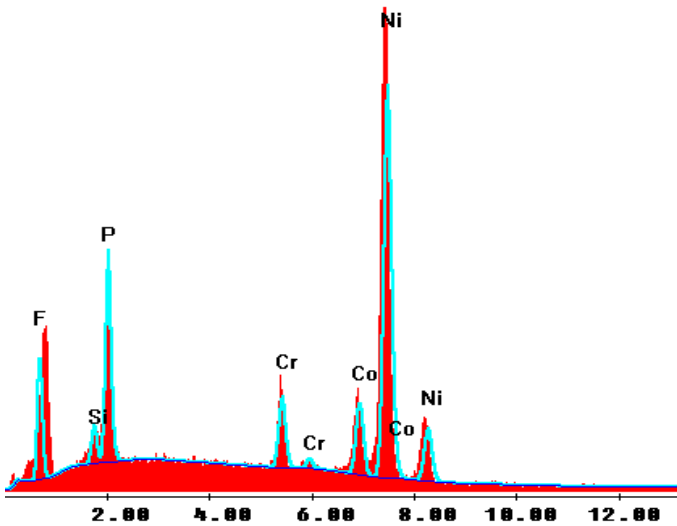
Elemento	Wt %	At %
O K	2.89	8.93
SiK	1.37	2.42
P K	9.04	14.45
ClK	0.36	0.51
K K	0.37	0.46
CrK	6.41	6.11
MnK	0.49	0.44
CoK	10.67	8.97
NiK	68.41	57.71
Total	100	100



**Figura 5.18** Espectro correspondiente a la zona del deposito del plato donde se puede observar presencia de cloruros, oxígeno como agentes corrosivos y migración de níquel en mayor porcentaje como consecuencia de estos agente.



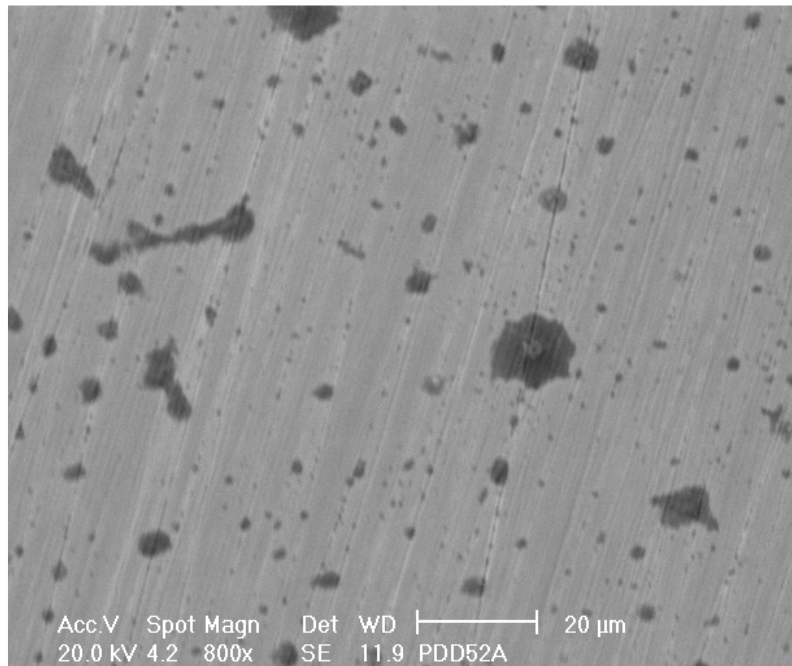
**Figura 5.19** Micrografía en la cual se aprecia la existencia de partículas sobre la superficie del plato las cuales pueden provocar el fallo de la IMCP al igual que manchas en la superficie.



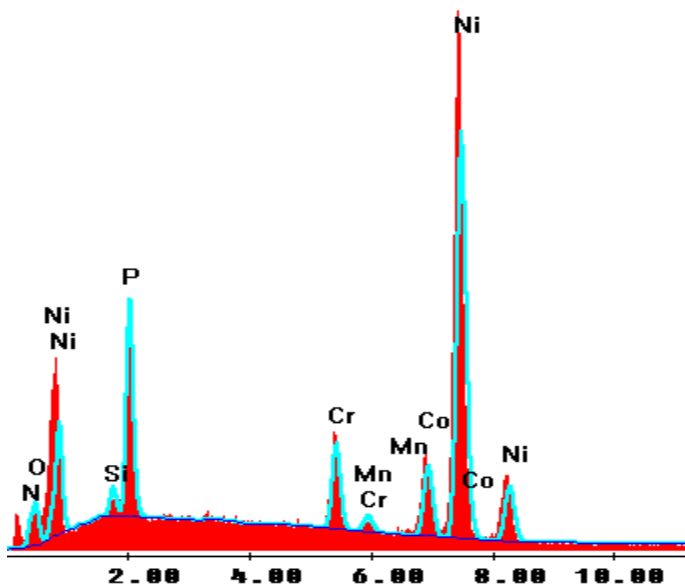
**Tabla 5.4** Análisis puntual de los elementos presentes en la figura 5.19

Elemento	Wt %	At %
F K	5.44	13.79
SiK	1.71	2.93
P K	9.03	14.04
CrK	5.21	4.83
CoK	10.82	8.84
NiK	67.78	55.58
Total	100	100

**Figura 5.20** Espectro correspondiente a la figura 5.19 donde se aprecia la presencia flúor que es el compuesto principal del lubricante del plato y níquel como elemento en mayor porcentaje.



**Figura 5.21** Micrografía en la cual se aprecian manchas sobre la superficie del plato además de partículas posiblemente a causa del desprendimiento de material a causa de los rayones generados por el contacto de la IMCP.



**Tabla 5.5.** Análisis cuantitativo de la figura 5.21

Elemento	Wt %	At %
N K	4.11	13.27
O K	2.51	7.09
SiK	1.25	2.01
P K	8.87	12.94
CrK	6.06	5.27
MnK	0.36	0.3
CoK	10.09	7.74
NiK	66.75	51.39
Total	100	100

**Figura 5.22** Espectro Químico de la zona, donde los elementos mas representativos es el níquel y el cobalto (elemento perteneciente al medio magnético) además de oxígeno y nitrógeno, ajenos a la composición del disco.

2) Análisis Químico en Cabezas de Lectura/Escritura

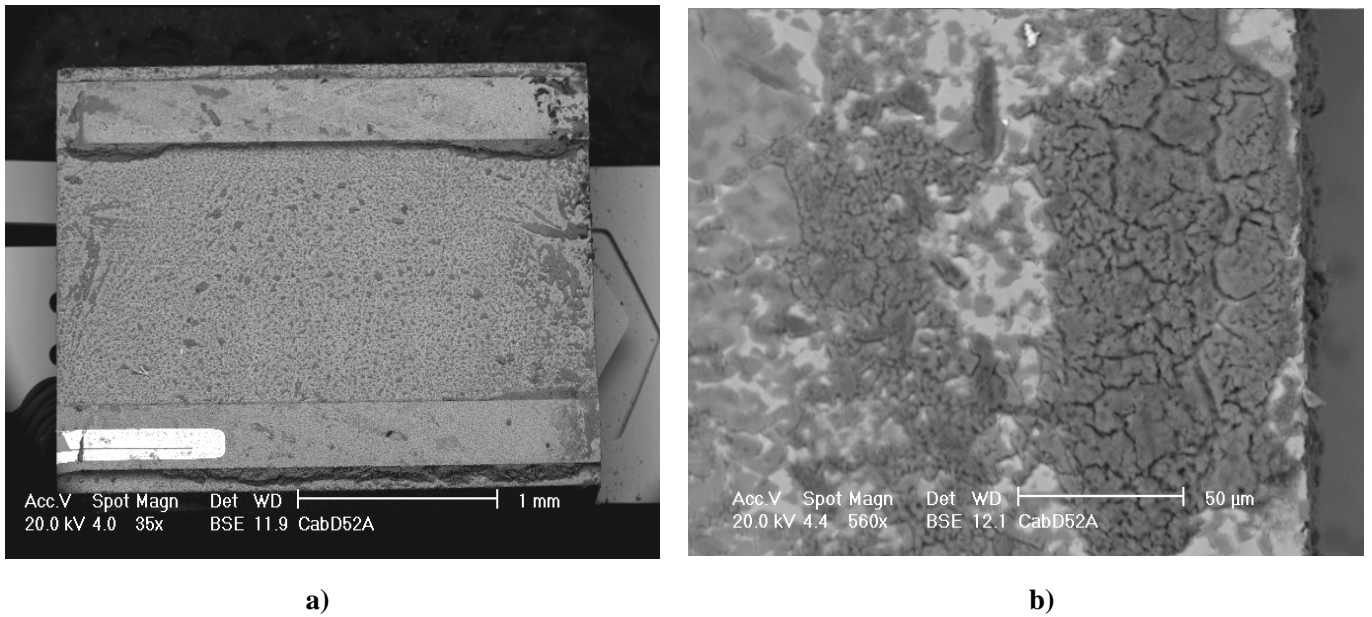


Figura 5.23 (a) Evidencia de brotes de material producto de la acumulación de condensado y partículas justo en los bordes del deslizador de la C de L/E teniendo por ende productos de corrosión en esta zona (b).

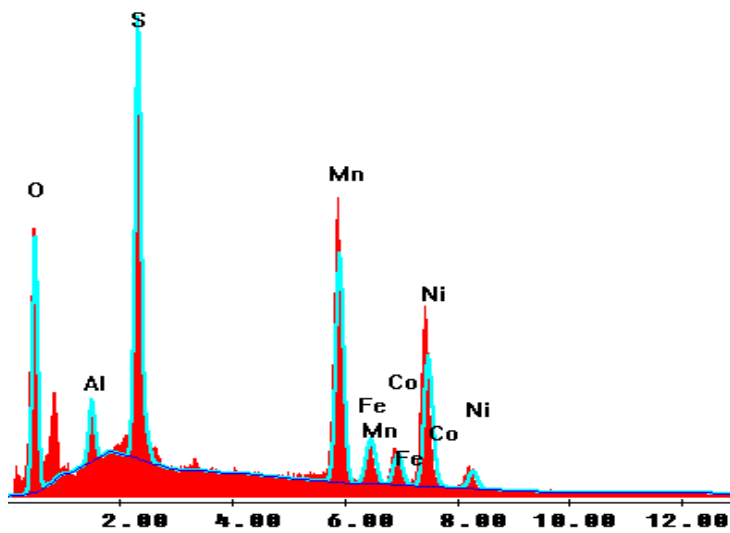


Tabla 5.6. Análisis puntual de la zona de acumulación de partículas de la figura 5.23

Elemento	Wt %	At %
O K	19.08	40.96
AlK	2.95	3.75
S K	17.58	18.84
MnK	25.63	16.03
FeK	3.03	1.87
CoK	5.54	3.23
NiK	26.19	15.32
Total	100	100

Figura 5.24 Espectro químico del bode del deslizador, se tiene como agentes corrosivos en gran cantidad al azufre y oxígeno, además partículas de níquel, molibdeno, cobalto pertenecientes a la composición química del plato.



### 5.7.2 EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN UDD PARA 100 CICLOS.

La segunda etapa del ensayo de simulación acelerada por corrosión atmosférica, se realizó a 100 ciclos. A las 16 unidades restantes, 5 de ellas con protección de pines en general. Siguiendo la metodología, al término del ensayo los dispositivos se dejaron secar a condiciones ambientales, se diagnosticaron, se inspeccionaron a simple vista procediendo a una inspección en estereoscopio y posteriormente mediante microscopía electrónica. Después del diagnóstico correspondiente se encontró que después de 100 ciclos, las UDD dejaron de funcionar con normalidad.

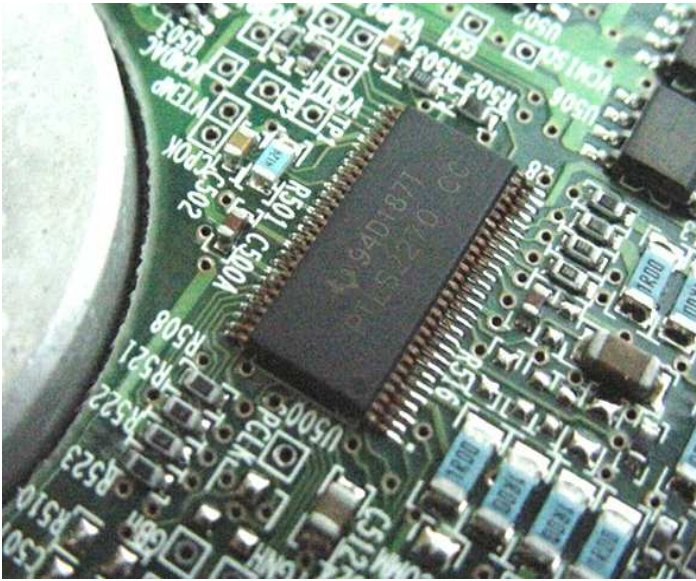
#### A) INSPECCIÓN VISUAL.

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 5.25). De la estructura exterior del disco los elementos más dañados son los componentes electrónicos y la carcasa ya que en su mayoría se pueden encontrar marcas y depósitos de condensado, óxidos, en específico en las terminales de los circuitos y tornillos de sujeción, lo cual es un factor importante con respecto al tipo de fallas que pudiesen ocasionar el mal funcionamiento del disco duro.



**Figura 5.25** Apariencia de discos duros después de haber sido sometidos al ensayo de simulación acelerada por corrosión atmosférica donde se aprecia el óxido formado y la acumulación de condensado alrededor de la TC.

Al retirar los dispositivos, en algunos de estos fue más 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 mayor. 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.



a)



b)

**Figura 5.26** (a) En esta imagen se puede apreciar el deterioro sufrido en las terminales de los circuitos integrados que provoca a falta de conductividad, cortos circuitos etc. Lo cual hace indetectable la unidad. (b) Además se aprecia el depósito de partículas de condensado tanto en la carcasa como en las pistas y conectores de la TC.



a)



b)

**Figura 5.27** (a) Se puede apreciar las capas de oxido en los tornillos de sujeción de la TC. Por otro lado los componentes metálicos de la TC también presentan deterioro de la misma manera que la tornillería (b).



a)



b)

**Figura 5.28** Deterioro sufrido tanto en pines IDE(a), como en pines de alimentación (b) del disco duro. Se aprecian depósitos de condensado y sulfatos en cada uno de los pines IDE.

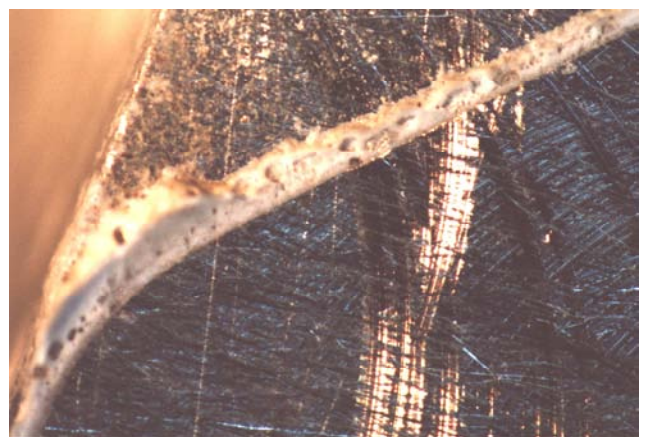
Una vez inspeccionados a simple vista, se procede a destapar las unidades para realizar la evaluación en su interior y de la superficie del disco principalmente. El procedimiento a seguir es el mismo de acuerdo a la metodología planteada, inspección en estereoscopio, seccionamiento de las zonas con posible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

## B) INSPECCIÓN A BAJOS AUMENTOS (1 A 32X)

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, encontrando solamente ciertos depósitos de condensado en los barrenos donde son colocados los tornillos (4.25 (a)).

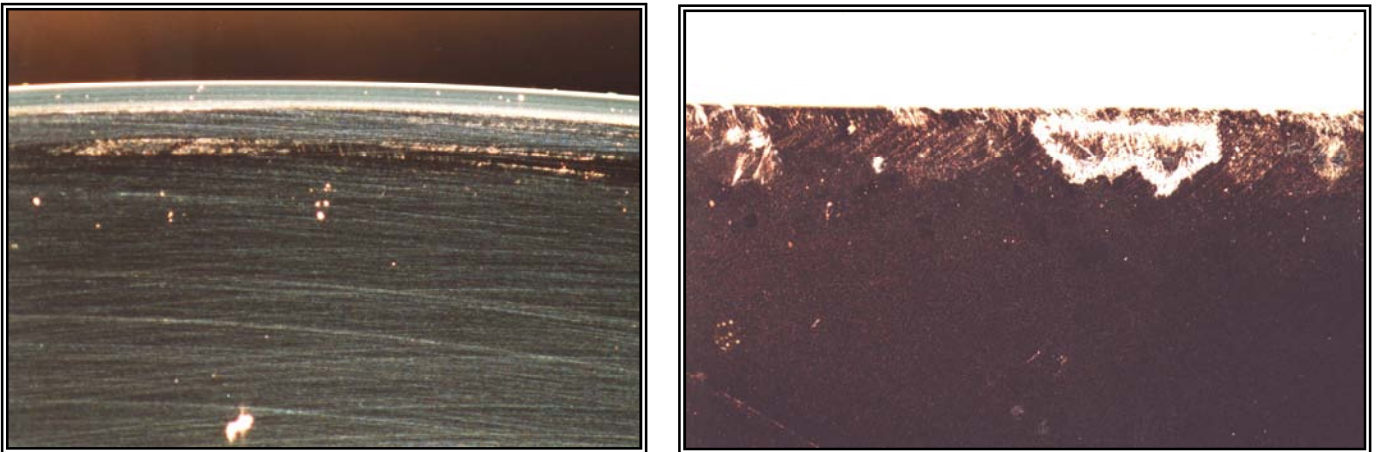


a)

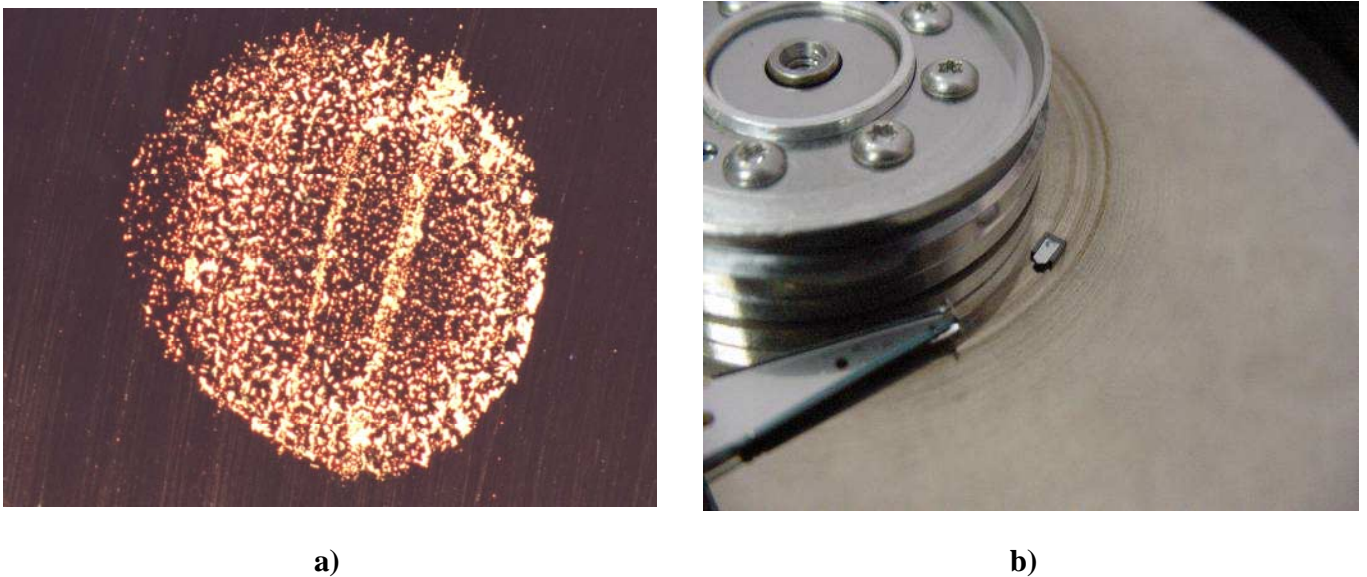


b)

**Figura 5.29** Se aprecia acumulación de condensado tanto en los barrenos(a), así como en la línea del sellado de la UDD. Nótese el acabado superficial de mala calidad de la carcasa.



**Figura 5.30** Deterioro sufrido en la periferia del disco, en la imagen de la derecha se observan imperfecciones, ocasionando discontinuidad en esta capa de la superficie.

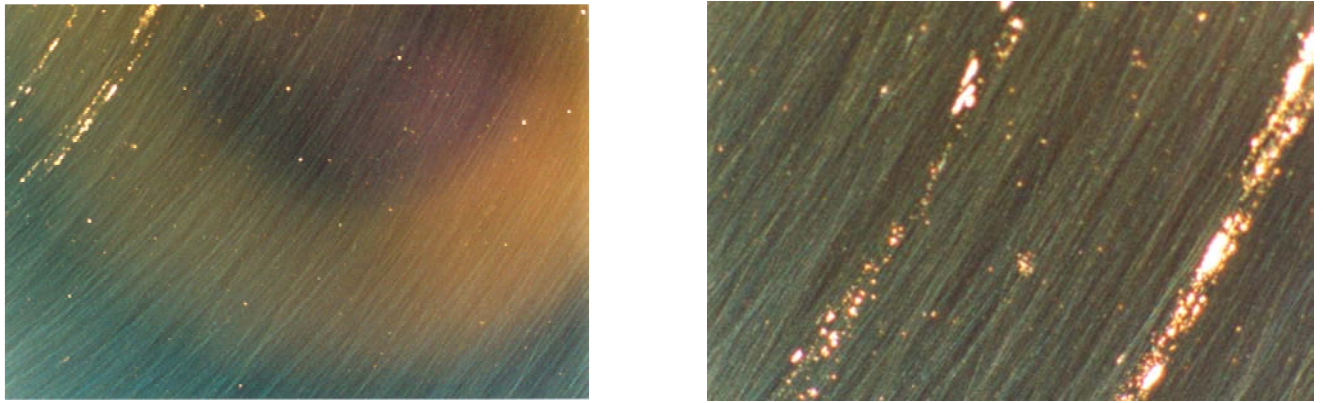


a)

b)

**Figura 5.31** (a) Desprendimiento de material sobre la superficie del plato, el contacto pudo ocasionarse por la existencia de partículas o por el simple contacto con la acumulación de condensado en la superficie provocando el desgaste de la misma. (b) Desprendimiento de la cabeza de L/E, debido a la colisión entre cabezal y la superficie del plato justo al inicio del diagnóstico después de ser sometido al ensayo acelerado.

En el caso de algunas unidades, la evidencia mas 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. 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.

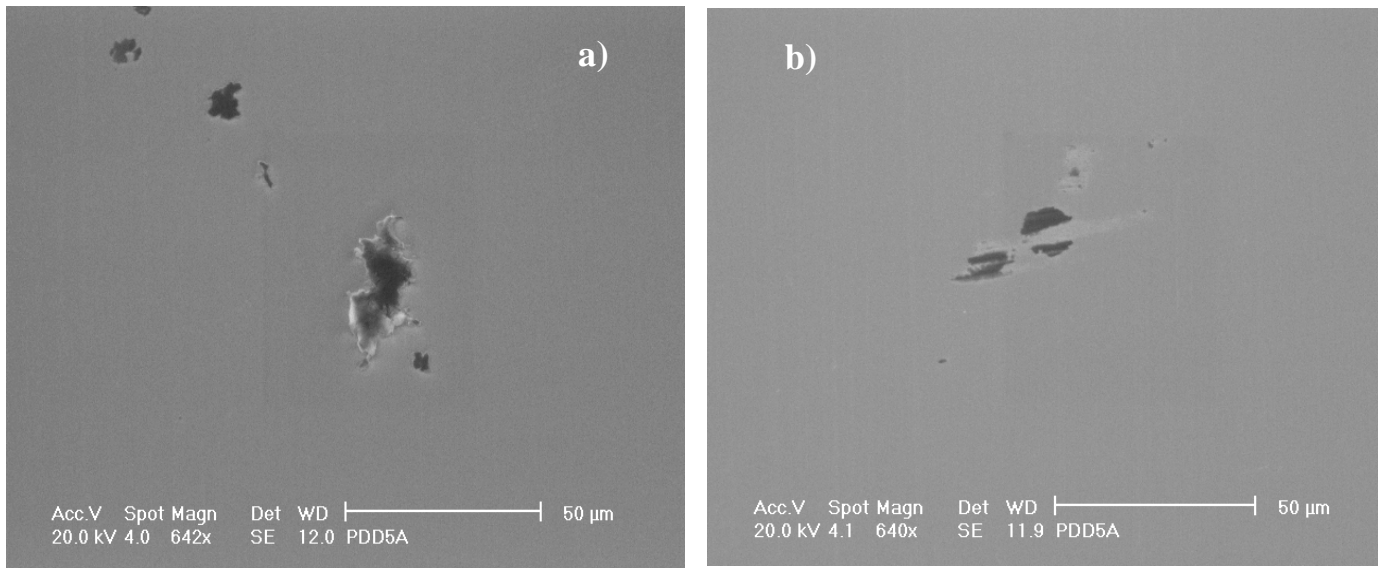


**Figura 5.32** En la imagen de la izquierda se aprecian marcas ocasionadas por la cabeza de lectura/escritura. En la imagen de la derecha se tienen las mismas marcas a mayores aumentos observándose con mayor detalle el desprendimiento de material.

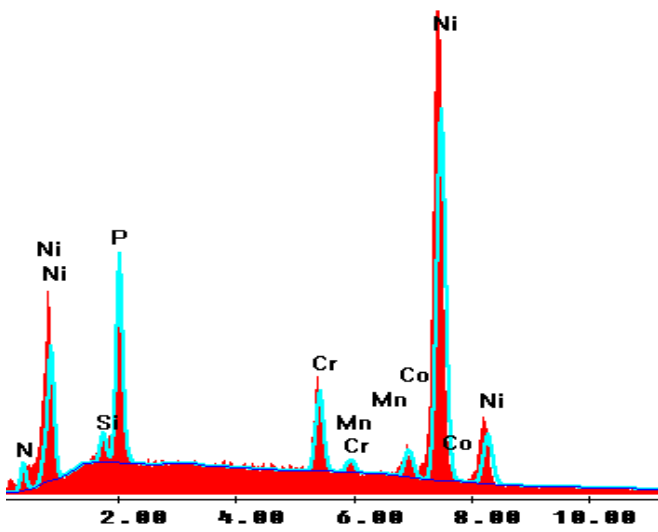
Siguiendo con la inspección de los discos, al tener identificadas las regiones de deterioro y una vez seccionadas, se realizó el análisis en microscopía electrónica. Para lo anterior se realiza un análisis mediante MEB, en donde se observa claramente el deterioro así como estructura de los cabezales, siendo elementos de gran importancia pues sin estos no se podría hacer la transferencia de datos almacenados en el disco.

### C) INSPECCIÓN POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

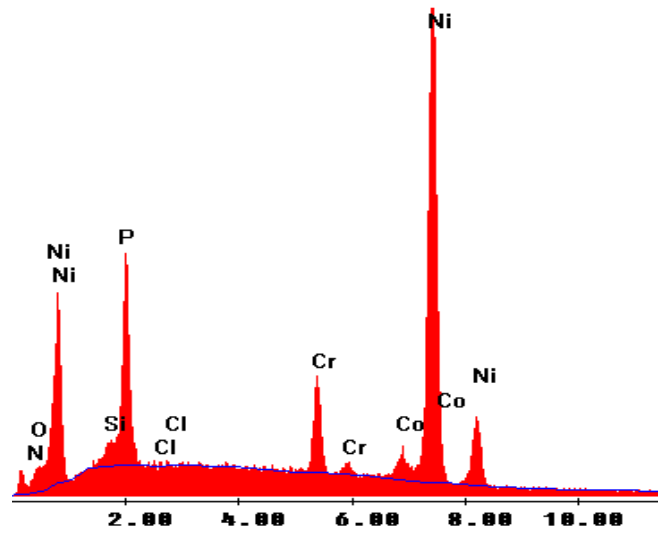
#### 1) Análisis químico de la superficie de los platos de los discos duros.



**Figura 5.33.** Micrografías de la superficie del plato donde se observan partículas y manchas sobre la superficie del plato, el origen de las partículas se cree sea a causa del desgaste de la IMCP.



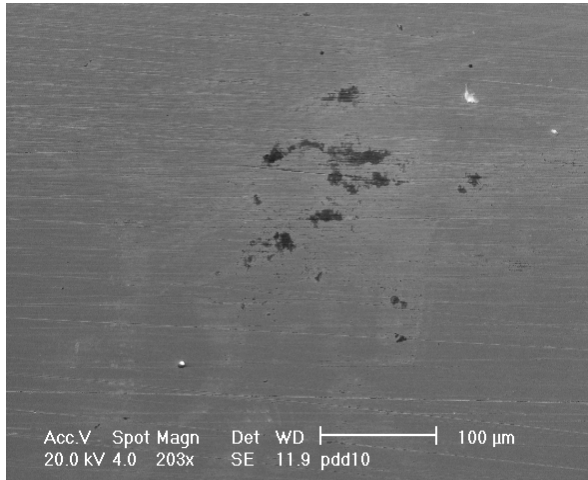
**Figura 5.34** Espectro químico de la figura 5.33(a) donde se aprecia la presencia de níquel y fósforo en mayor proporción posiblemente a la migración hacia la superficie del plato.



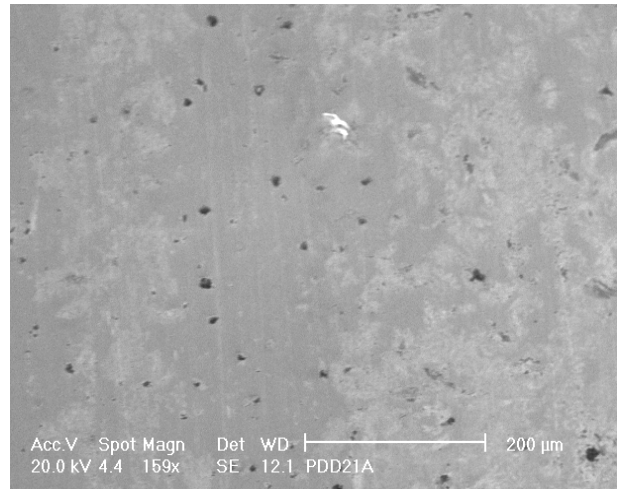
**Figura 5.35** Espectro químico de la figura 5.33(b) Se observa la presencia de oxígeno y cloro.

**Tabla 5.7** .Análisis puntual de la figura 4.29 siendo níquel el elemento más representativo

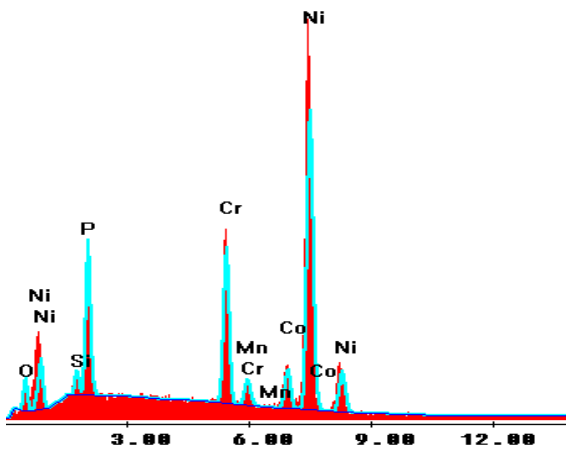
Elemento	Wt %	At %
N K	3.93	12.72
O K	2.03	5.75
SiK	1.59	2.57
P K	9.85	14.43
ClK	0.15	0.2
CrK	6.75	5.89
CoK	4.66	3.58
NiK	71.04	54.87
Total	100	100



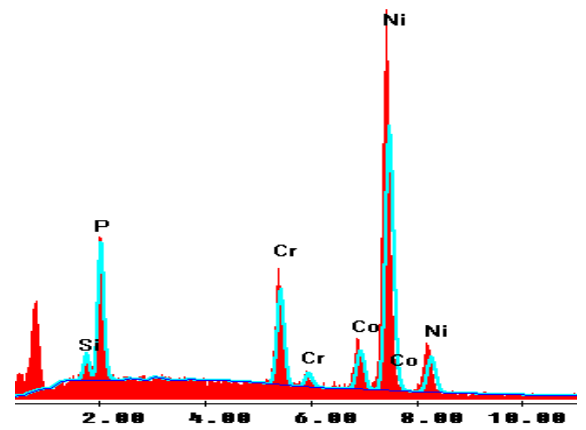
**Figura 5.36** Se aprecian rayones sobre la superficie del plato y pérdida de material a la par de algunas partículas sobre la superficie.



**Figura 5.38** Se pueden observar manchas en la superficie del plato y porosidad y algunas partículas sobre dicha superficie.



**Figura 5.37** Espectro químico en donde se tiene níquel y cromo como elementos principales debido a la posible migración a la superficie. Se aprecia la presencia de azufre y oxígeno como elementos corrosivos.



**Figura 5.39** Espectro Químico, se tiene al níquel como elemento principal.

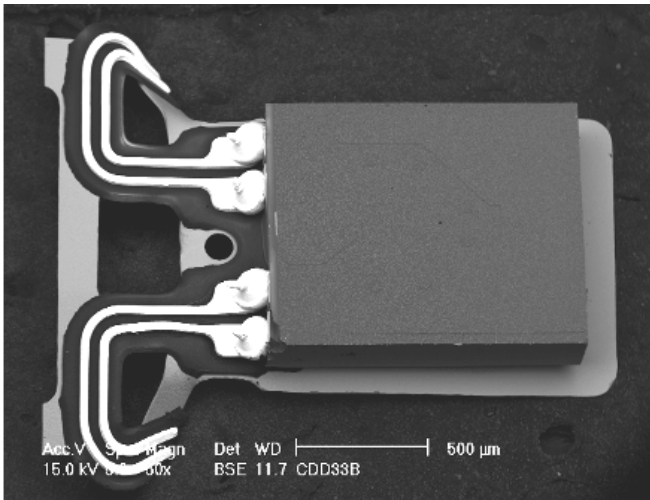
**Tabla 5.8** Análisis puntual de la figura 5.36, donde el níquel presenta mayor porcentaje.

Elemento	Wt %	At %
O K	2.35	7.43
SiK	1.3	2.34
P K	8.06	13.15
CrK	9.69	9.42
MnK	0.44	0.4
CoK	5.38	4.61
NiK	72.78	62.65
Total	100	100

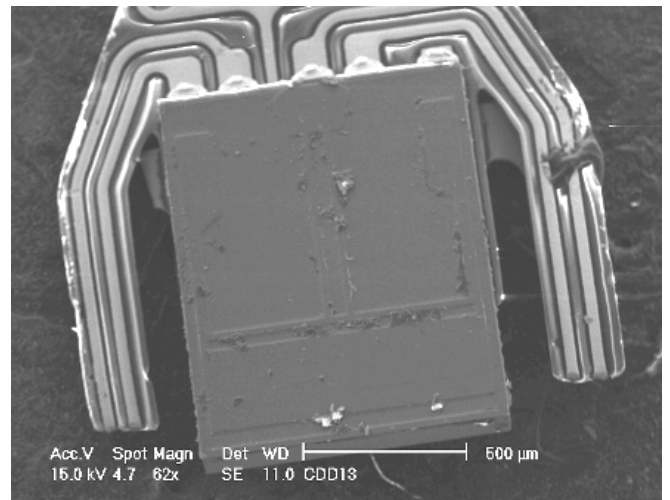
**Tabla 5.9** Análisis puntual de la figura 5.38, siendo el de mayor presencia el níquel

Elemento	Wt %	At %
SiK	1.79	3.37
P K	9.02	15.34
CrK	10.87	11.02
CoK	9.03	8.07
NiK	69.3	62.21
Total	100	100

2) Análisis Químico de las C de L/E pertenecientes a los Discos Duros.

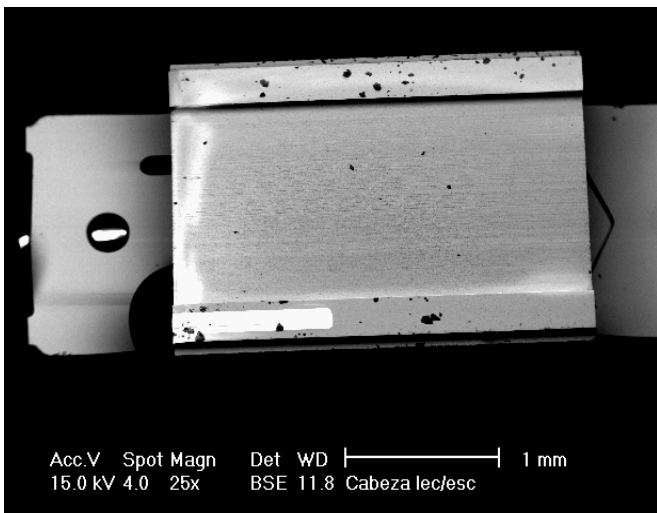


a)

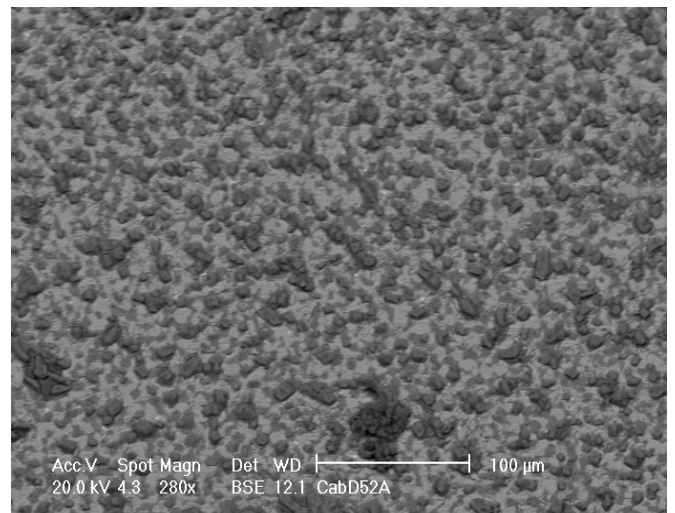


b)

**Figura 5.40.** (a) Cabeza típica de un disco duro de alta capacidad en donde se observan que los conectores son de oro, (b) presencia de partículas de condensado sobre la superficie del cabezal lo cual conlleva a la fricción entre el plato y la C de L/E desprendiendo así mismo el recubrimiento de lubricante y la capa protectora carbono.



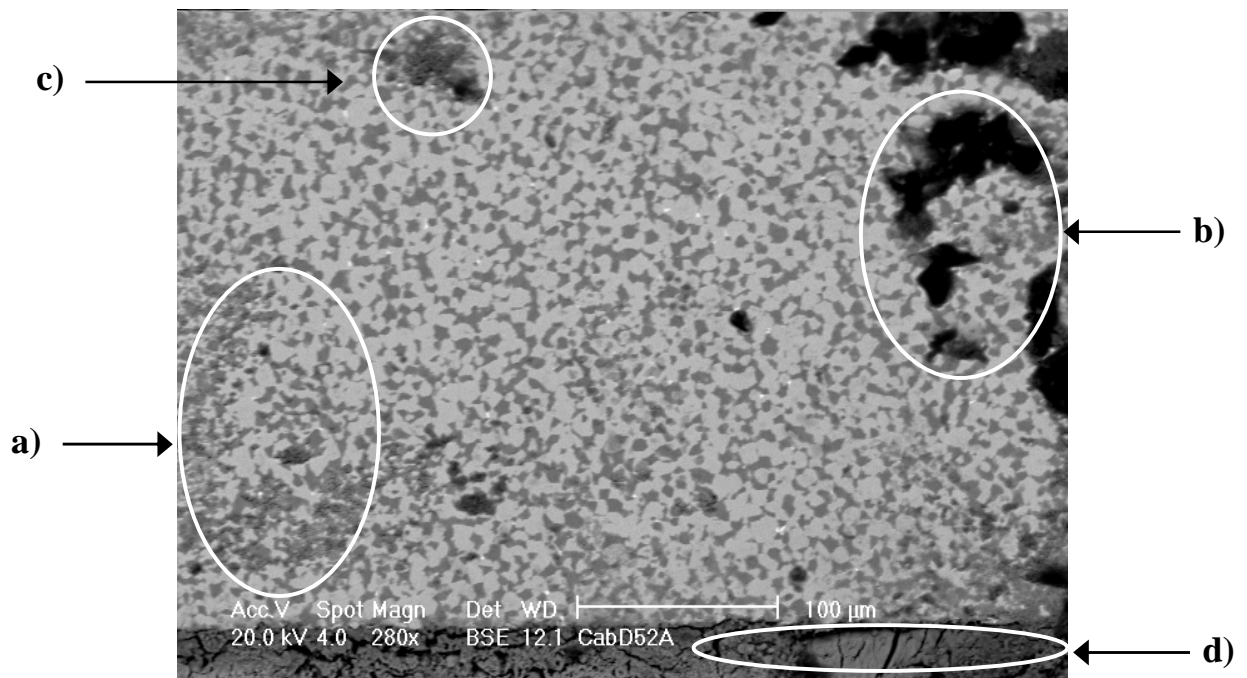
a)



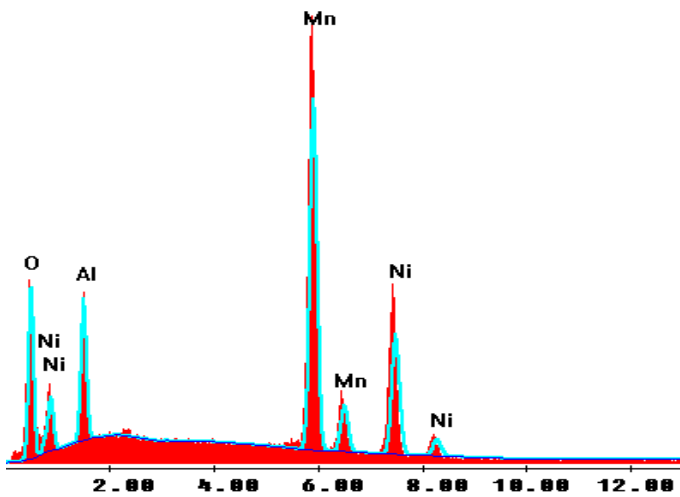
b)

**Figura 5.41.** (a) Cabeza ferromagnética en donde se observa manchas en la superficie del deslizador, (b) presencia de partículas incrustadas sobre la superficie del deslizador de la C de L/E y excesiva rugosidad en el acabado superficial lo cual genera distorsión en la señal de lectura/escritura, aspereza térmica y posible fricción entre el plato y la C de L/E desprendiendo así mismo el recubrimiento de lubricante y la capa protectora de carbono.





**Figura 5.41.** Micrografía que muestra la microestructura de la superficie de un deslizador de la C de L/E, además se aprecia la presencia de porosidad (a), manchas (b), partículas(c) sobre la superficie de este componente y una capa de material adherido en el borde inferior del deslizador(d) de la C de L/E.

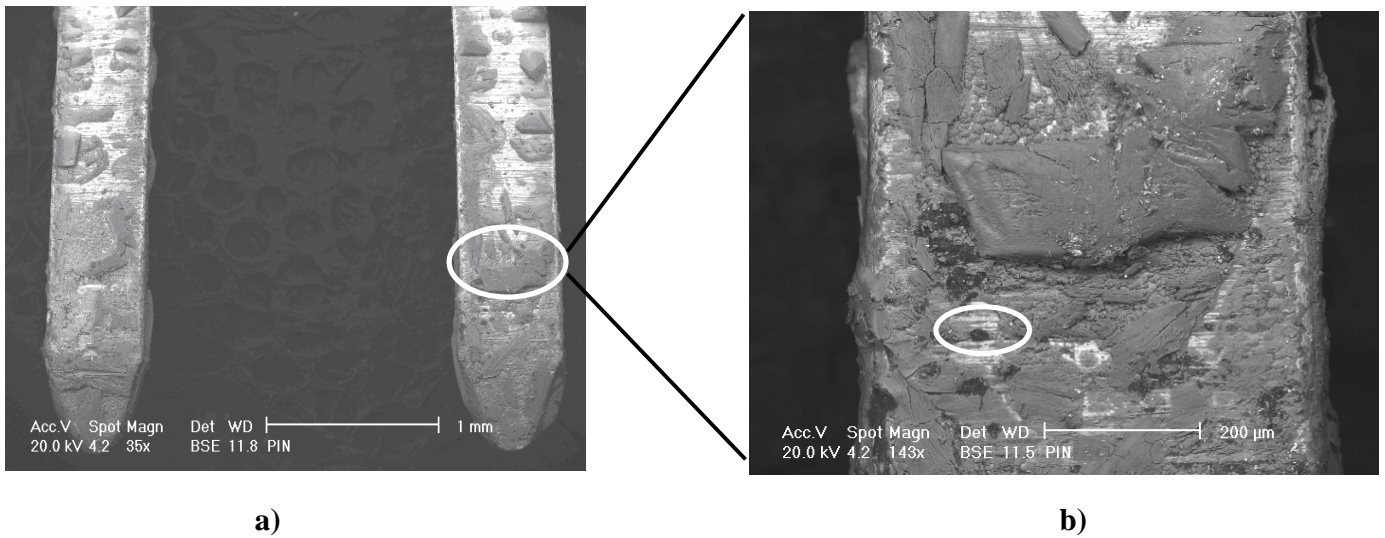


**Tabla 5.10.** Análisis cuantitativo de la figura 5.41

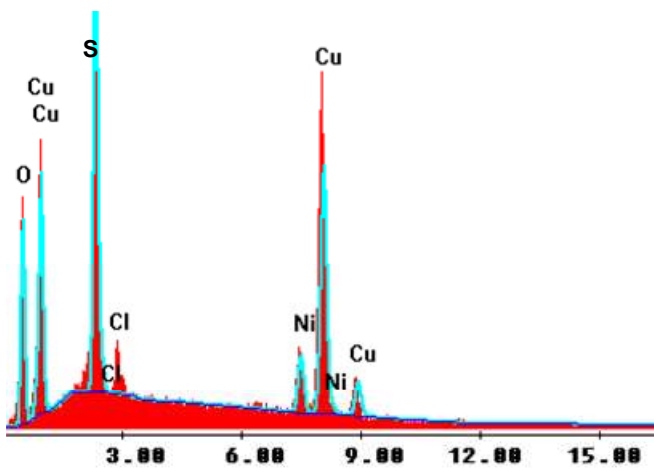
Elemento	Wt %	At %
O K	12.3	30.7
AlK	9.24	13.67
MnK	48.58	35.3
NiK	29.88	20.32
Total	100	100

**Figura 5.42** Espectro químico correspondiente a la micrografía 5.41 donde se encuentra en mayor porcentaje el Mn, elemento perteneciente a la composición del medio magnético del plato además de níquel también perteneciente a dicha composición, también se aprecia la existencia de Oxígeno, elemento precursor del fenómeno corrosivo.

3) Análisis Químico en Terminales de Conexión (Pines)



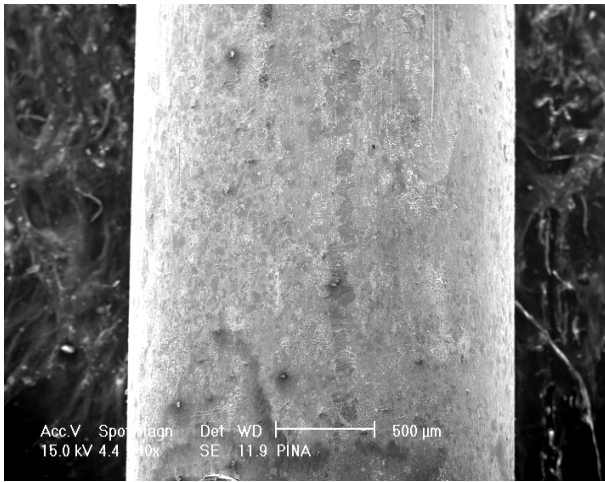
**Figura 5.43.** (a) Micrografía que muestra la apariencia de las terminales de conexión del tipo Pin IDE donde es notorio apreciar los depósitos de sustancias corrosivas sobre el recubrimiento del pin acompañadas de fisuras en dicho pin a detalle en (b).



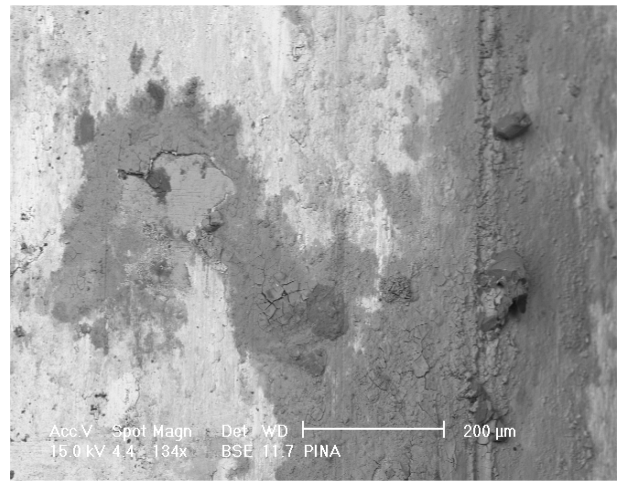
**Tabla 5.11.** Análisis cuantitativo de la figura 5.43

Elemento	Wt %	At %
O K	17.54	46.79
S K	22.39	22.41
Cl K	7.81	4.05
Ni K	8.35	4.57
Cu K	43.91	22.18
Total	100	100

**Figura 5.44** Espectro químico correspondiente a la micrografía 5.43(b) donde se aprecia la presencia de Azufre, Cloruros y Oxígeno, agentes altamente corrosivos favoreciendo el deterioro de la terminal que conlleva a una deficiente comunicación entre la UDD y la BIOS.

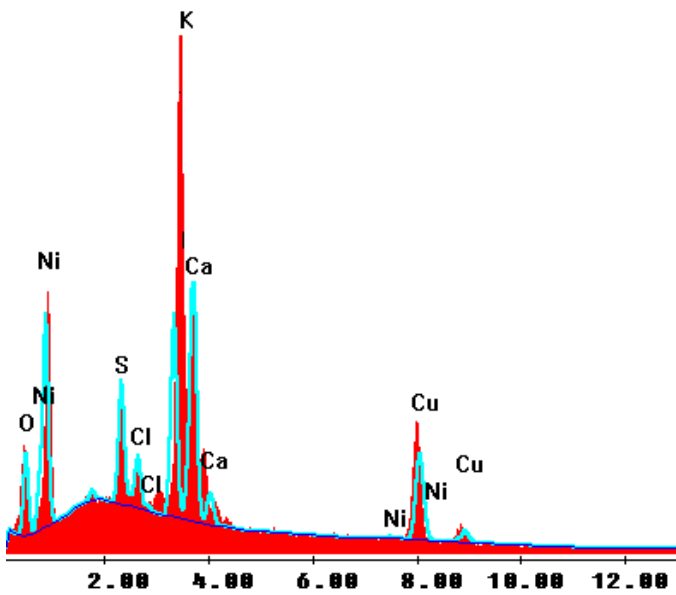


a)



b)

**Figura 5.45.** (a) Micrografía que muestra la apariencia de una de las terminales de conexión del tipo Pin de Alimentación donde al igual que la figura 5.43 se aprecia a simple vista los depósitos de sustancias corrosivas sobre el recubrimiento del Pin (b).



**Tabla 5.12.** Análisis cuantitativo de la figura 5.45

Elemento	Wt %	At %
O K	8.78	22.77
S K	5.81	7.53
ClK	3.19	3.84
K K	12.57	13.34
CaK	18.15	18.8
NiK	0.98	0.69
CuK	50.54	33.02
Total	100	100

**Figura 5.46** Espectro químico correspondiente a la micrografía 5.45(b) donde se encuentra la presencia de Azufre, Cloruros, y Oxígeno, agentes altamente corrosivos además de potasio en gran proporción favoreciendo el deterioro de la terminal que conlleva a una mala conductividad de corriente.

Después de analizar las UDD que fueron sometidas al ensayo acelerado se aprecia que todas las unidades presentan las mismas características de deterioro sobre todo en las UDD de tecnología más obsoletas. A partir de los resultados obtenidos después del ensayo acelerado se determinó que las UDD provenientes del servicio se tornan inservibles debido: las fallas mecánicas, electrónicas o bien combinación de estas, que son las principales fallas que se presentan debido al deterioro presente y la consecuente inutilidad de la unidad; el deterioro más característico que se localizó y determinó en el interior de las UDD es el que se relaciona con la constante colisión entre los elementos de la IMCP, teniendo como resultado la caída de la C. de L/E, partículas como tercer cuerpo en la IMCP, pérdida de material tanto en la superficie del plato como en la C de L/E que sin duda, esto afecta a ciertos sectores donde ha sido guardada la información, pérdida de revestimientos protectores (capa de carbono y lubricante), además de la adhesión de la C de L/E a la superficie del plato debido a la absorción de humedad y contaminantes químicos entre otros.

Este ensayo se diseñó para simular la posible corrosión en las UDD que se presume sea del tipo galvánica que según lo reportado en la literatura, para los medios magnéticos, se caracteriza por la formación de Co y Ni que contienen nódulos corrosivos. La corrosión en los discos duros está asociada a la generación de fallas. El origen de la corrosión en sitios puntuales es típicamente debido a agujeros microscópicos o porosidades, debido a la imperfección y crecimiento del grano durante la deposición de las capas o revestimientos delgados subsecuentes que conlleva a la exposición de los metales al medio ambiente.

La correlación entre la densidad de los agujeros y varias condiciones de deposición se han establecido, específicamente, la alta rugosidad del sustrato y el espesor mínimo de la capa tanto del Cr así como de la capa protectora de carbono y de PFPE que facilita el fenómeno de corrosión. La importancia de correlacionar los parámetros del proceso y el desempeño de la resistencia a la corrosión es evidente y la necesidad de entender el mecanismo de corrosión es la fundamental para cualquier esfuerzo por minimizar la corrosión.

En algunos análisis químicos realizados en la superficie del plato se encontraron indicios de cloruros, sulfuros, níquel y cobalto como elementos predominantes, con este hecho se podría pensar que el níquel y cobalto migraron a la superficie del plato como forma de corrosión en el medio magnético, sin embargo bajo las condiciones de este ensayo la corrosión sobre la superficie del plato y C de L/E no fue un factor fundamental para que las UDD dejaran de funcionar por el efecto de la corrosión atmosférica.

Por otro lado en lo que se refiere al exterior, el daño a componentes de la TC es el resultado del ataque corrosivo a cada uno de los componentes electrónicos el cual es irreparable y compromete a la fiabilidad de del disco duro ya que la TC controla gran cantidad de operaciones de la UDD. Por eso, ensayos en ambientes controlados en la electrónica y el desarrollo de programas de prevención y control de la corrosión están volviéndose una precaución necesaria en el diseño y desarrollo de tecnología de almacenamiento de información.

Sin duda la evaluación de los dispositivos tanto de campo como las pruebas de laboratorio, dejan información muy valiosa para la determinación de las principales causas de falla en las UDD por efectos de corrosión atmosférica. Con ello se logra determinar que elementos son los que realmente ocasionan que las UDD no funcionen adecuadamente.

# CAPÍTULO 6

## *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

---

Los ensayos de corrosión no son sólo útiles para analizar los daños y buscar los posibles métodos de protección, sino también para la investigación, es decir, el estudio de la corrosión con la consiguiente ampliación de conocimientos.

Sin duda la evaluación de los dispositivos provenientes tanto de *en servicio* como *los ensayos de simulación acelerada en laboratorio*, proporcionan información muy valiosa para la determinación de las principales causas de falla en las UDD por efectos de corrosión atmosférica. Con ello se logra determinar que elementos son los que realmente ocasionan que las UDD no funcionen apropiadamente.

A lo largo de cinco capítulos se presentó, de acuerdo con los objetivos de esta tesis, un análisis, determinación y evaluación de la influencia del medio ambiente natural, de una atmosfera agresiva así como los principales mecanismos de falla en el deterioro de los componentes de una UDD.

Se dieron a conocer conceptos básicos de la corrosión atmosférica, estructura física y funcionamiento de una UDD así como los métodos y materiales utilizados para su creación. Se determinó el modo y mecanismo de falla de las principales fallas que se pueden presentar en una UDD debido principalmente al efecto de los parámetros ambientales, además del desgaste de la propia UDD.

Posteriormente se planteó e implementó una metodología que se empleó en el análisis de las muestras de servicio y de las muestras expuestas a ensayos acelerados de corrosión atmosféricas con el fin de determinar el daño que sufren las UDD por corrosión atmosférica; y con esto evaluar el grado de deterioro sufrido tanto en condiciones normales de operación, como en el ensayo acelerado del deterioro de las UDD por corrosión atmosférica.

### **RESULTADOS**

En principio se creía que la falla por corrosión era si no la más importante, una de las que conllevaban al mal funcionamiento de las UDD. Sin embargo las UDD se tornan inservibles por varios factores que afectan los componentes internos como son el plato y los componentes de la C de L/E (sensores, deslizador, alambres de conductividad) como son partículas generadas por diferentes fuentes (desgaste, interacción de gases adsorbidos, condensación etc.), absorción de humedad y gases corrosivos producidos por los mismos elementos de la unidad o bien del medio ambiente.

En lo referente a los componentes externos, los componentes de conexión (Pines) así como el deterioro en elementos pertenecientes a la tarjeta controladora (CI, Conectores, Pistas de Conductores) son los elementos que presentan mayor deterioro por efecto del polvo sobre todo en conectores y terminales de circuitos, depósitos de condensado en las terminales de los circuitos.

Con base a lo reportado en la literatura se puede hacer mención que los platos de una UDD son susceptibles a corrosión pero debido a la baja agresividad de los ensayos de simulación acelerada de corrosión atmosférica cabe resaltar que la corrosión no fue factor fundamental para el deterioro de los dispositivos y por ende no se puede considerar que una UDD deje de funcionar por el efecto de corrosión atmosférica sobre la superficie del plato y/o C de L/E.

Al igual que en las muestras para ensayo, en los especímenes de campo no se encontraron indicios de corrosión en el plato, ni en la C de L/E, siendo las causas más comunes por las que el dispositivo ha dejado de funcionar, las fallas mecánicas o bien electromecánicas que influyen de forma importante en el funcionamiento de la UDD.

Por otro lado, se logró detectar que los pines IDE y de alimentación son los primeros en resentir los efectos ambientales, pues en dichos elementos se da la mayor acumulación de polvo y condensado, formación de sulfatos y la presencia de cloruros.

Un elemento a evaluar también es el material del sello que se encuentra en la tapa de la carcasa de la UDD, el cual en un inicio en unidades de baja capacidad (comparadas con las actuales) se tiene filtración de humedad al interior que si bien no es factor determinante (la cual es mínima), no deja de ser un problema para la integridad de los componentes internos de la unidad.

En términos generales se puede decir que el mal funcionamiento de una UDD se da de acuerdo a sus componentes en el siguiente orden de deterioro:

1. Pines IDE y Alimentación.- Elemento principal que sufre deterioro debido a la formación de sulfatos en su superficie causando mala conductividad.
2. Circuitos integrados.- Se presenta resistencia a la conductividad causando sobrecalentamiento y posteriormente el quemado del componente, debido a la acumulación de condensado en sus terminales, la subsecuente corrosión y pérdida de material.
3. Pistas conductoras de la TC.- Deterioro causado por la de acumulación de condensado siendo muy susceptible a efectos de humedad.
4. Cabeza de L/E y Plato.- El deterioro sufrido en estos elementos se da por el choque entre la C de L/E y el plato debido a la vibración existente o producto de la existencia de un tercer cuerpo en la IMCP, provocando desprendimiento de material de ambos componentes induciendo con esto alta aspereza térmica, distorsión en la señal de lectura/escritura, pérdida de datos en las zonas dañadas, e incluso la caída de la C de L/E.
5. Conectores y demás elementos.- Sufren deterioro al igual que los anteriores pero soportan más los efectos corrosivos.

6. Adhesión de la C de L/E a la superficie del plato provocando desprendimiento de material magnético e incluso la caída de esta.
7. Sello protector de la carcasa.- Aunque se han mejorado los materiales de este elemento, sigue existiendo filtración mínima de humedad al interior de las UDD.

De acuerdo a lo anterior se concluye que la corrosión en el plato de un disco duro no es factor determinante en el mal funcionamiento del mismo ni causa de falla por dicho fenómeno bajo los parámetros establecidos en este ensayo, todo recae en el efecto corrosivo existente en los componentes electrónicos de la tarjeta controladora del disco y generadores (contaminación y humedad) de falla mecánica. Así mismo, el principal factor que conlleva al deterioro propiciando la generación de corrosión en cualquier tipo de componente electrónico es la *humedad*, seguida de los *ciclos de temperatura* que se tienen durante el día dependiendo de la región en que se encuentren, en tercer lugar ubicaremos a los contaminantes que se pueden localizar en la atmósfera, siendo el más agresivo en las pruebas realizadas en laboratorio el SO<sub>2</sub>.

## RECOMENDACIONES

Desde punto de vista de la fiabilidad, el fin será siempre minimizar y controlar la corrosión. Hay dos aspectos fundamentales en este problema. Primero, el comienzo de la corrosión y los problemas funcionales de la UDD necesitan ser determinados. Segundo, la cinética de los procesos de corrosión y el medioambiente necesitan ser comprendidos para especificar el diseño de la UDD. Con el conocimiento de éstos, la optimización será entonces posible para asegurar que el inicio de la corrosión no se alcanzará dentro de la vida de la UDD. El estudio actual proporcionó una visión en el mecanismo fundamental del proceso de corrosión; sin embargo, estudios en la cinética de corrosión y la correlación entre el nivel de corrosión y los problemas en el desempeño de la UDD son necesarios para proporcionar un entendiendo del efecto global de corrosión en los medios magnéticos de almacenamiento de información.

En términos generales para disminuir la interacción del medio ambiente y el desgaste o inutilidad de la UDD, se propone lo siguiente:

- La opción de incorporar en la unidad un sistema de la filtración que prevenga el ingreso de químicos y partículas del ambiente externo capturando así partículas no deseadas y volátiles, incluso el agua. El costo de tal sistema de filtración debe ser mínimo y contar con un volumen mínimo. El filtro debe limpiar todo el flujo de aire entrante a través del agujero del respirador y equilibrar la presión interna con la presión externa para el óptimo funcionamiento de la UDD.
- Mejorar los procesos de Fabricación de los Componentes Internos (Acabado). De acuerdo a la inspección se encontró que ciertos elementos cuentan con porosidad o mal acabado superficial en los cuales se da la acumulación de partículas absorbidas o producto de la condensación que al desprenderse pudieran interferir en el funcionamiento de la IMCP y con esto en el brazo que sostiene la C de L/E.

- Puesto que los discos duros son dispositivos electromecánicos, están sujetos a varias limitaciones en su velocidad y rendimiento. Cada petición de L/E requiere que los diferentes componentes del disco funcionen juntos para satisfacer la petición., el rendimiento general del disco duro está determinado por la suma del rendimiento de los componentes individuales. Sin embargo, los componentes electrónicos son al menos un orden de magnitud más rápidos que sus componentes mecánicos. Por lo tanto, son los componentes mecánicos los que tienen el mayor impacto en el rendimiento general del disco duro. La forma más efectiva de mejorar el rendimiento del disco duro es reduciendo la actividad mecánica de la unidad tanto como sea posible.
- Protección de Tarjeta Controladora para evitar en lo menos posible la interacción con el medio ambiente en donde se encuentre operando la UDD.
- El desarrollo de una tecnología de sellado en las UDD que deberá proporcionar protección de los efectos negativos a la altura de vuelo de la C de L/E causada por la altitud y variaciones de presión que se encuentran en un ambiente aerotransportado.
- Uno de los resultados de la reducción en el espesor de la capa protectora de carbono es la presencia de corrosión en el plato que no sólo afecta la actuación magnética, también reduce la distancia de la cabeza y el medio magnético del plato y afecta la durabilidad de la IMCP. Una posible manera de controlar la corrosión es aumentar el espesor del lubricante sobre el plato para proporcionar una buena protección contra la corrosión.

A modo de cierre, es sumamente importante para el diseño de los sistemas de protección conocer con exactitud las características del medio en el que se ubicará la UDD, para poder determinar cuales son los mecanismos de deterioro que se pueden presentar. Se ha detectado que en todos los casos la influencia de la humedad sobre la superficie del plato y C de L/E, al convertirse en un medio para el transporte de electrones, es un factor determinante en la velocidad de corrosión, agravado por la presencia de productos contaminantes sobre dicha superficie. Por esta razón, es determinante el conocimiento del medio para realizar cualquier tarea de diseño.



# BIBLIOGRAFÍA

## *Libros y Publicaciones Científicas.-*

1. Abbott.,W. *The Development and Performance Characteristics of Flowing Mixed Gas Test Environments*, IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, vol.11, 1989.
2. Bhushan Bharat, PH. D, *Modern Tribology Handbook, Materials, Coating and Industrial Applications Volume Two* 2006 by CRC Press LLC.
3. Bhushan Bharat, *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices*, Springer- Verlag 1990.
4. B. Bhushan, *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices, Second Edition*, Springer, New York, 1996.
5. B. Hiller, B. Bhushan (Ed.), *Handbook of Micro/ Nanotribology*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995, pp. 505–557.
6. Cerrud S., Jacobo V., Ortiz A., Schouwenaars R. *Corrosión y Protección*, Facultad de Ingeniería UNAM, 2003.
7. Cerrud, S., Ortiz A., Jacobo V., Schouwenaars R., *Design, Construction and Testing of a System for Accelerated Simulation of Damage by Atmospheric Corrosion on Electronic Equipment*. Corrosion Reviews. Vol. 21, 2003.
8. Cueva G. Ignacio, *Desarrollo y Validación de Pruebas Aceleradas de Corrosión Atmosférica en Macrocomponentes Electrónicos*, Tesis Magistral, Posgrado de Ingeniería, UNAM, 2006.
9. D. Y. Lee, J. Hwang, G. N., *Effect of disk rotational speed on contamination particles generated in a hard disk drive*, Bae Microsystem Technologies, 2004, pag.103–108.
10. Eui Sung Yoon, Bharat Bhushan, *Effect of particulate concentration, materials and size on the friction and wear of a negative-pressure picoslider flying on a laser-textured disk*, Computer Microtribology and Contamination Laboratory, Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH 43210-1107, USA Received 9 December 1999; accepted 11 September 2000.
11. Feng Y. Ji, Anoin T., Martner C., *Evolution of the corrosion process on thin-film media*, MMC Technology Incorporated, San Jose, California 95131, 2000.
12. Goglia Peter R., Berkowitz Jeffrey, Hoehn J., Xidis A., Stover Lance. *Diamond like carbon applications in high density hard disk recording heads*, Diamond and related materials, 2001, pag. 271-277.

13. Gold G., *Five Years of Research in Atmospheric Corrosion*. British Corrosion Journal Vol 25, 1990, pp 125-129.
14. Guttenplan J., Hasimoto L., *Corrosion Control for Electrical Contacts in Submarine Based electronic equipment*. Materials Performance, Vol. 18, 1978.
15. Hitachi GST México 2006.
16. J.C. Uy, *Head/disk interface failure mechanism*, IEEE Trans. Magn. , No.26, 1990, pp. 783–785.
17. Jesh, Mark S, Segar, Peter R, *The effect of vapor phase chemicals on head/disk interface tribology*, Tribology Transactions, 1999.
18. Karis T.E., Nayak U.V., *Liquid Nanodroplets on Thin Film Magnetic Recording Disks*, Hitachi Global Storage Technologies San Jose Research Center, San Jose California 95120-6099.
19. Karis T. E., Tawakku M. A., *Water Adsorption and Friction on Thin Film Magnetic Recording Disks*, Hitachi Global Storage Technologies Inc., San Jose Research Center San Jose, California 95120.
20. Knotkova D., Boschek K., “*Results of ISO CORRAG program: Processing of one year data in respect to corrosivity classification*”. *Atmospheric Corrosion, ASTM STP*. American society for testing and Materials 1995.
21. Kucera V. Gullman J., *Atmospheric corrosion. ASTM-STP 727*. ASTM, 1981, page 215.
22. Kucera V., Matsson E., *Corrosion in natural environments*. ASTM-STP 558. ASTM, 1974 Filadelfia, pp. 241.
23. Leygraf C., Graedel, T., *Atmospheric Corrosion*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
24. Marcus P., *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*, Marcel Dekker Publisher, 2002.
25. Mariaca Rodríguez Labaria, Genescá Llongueras Joan, Uruchurtu Chavarin Jorge, Salvador Hernández Luis, *Corrosión atmosférica (MICAT – México)*, México, Plaza y Valdez Editores. 1999. }
26. M. Tokuyama, K. Tanaka, Y. Yamaguchi, Y. Takeuchi, *Flying characteristics of magnetic disk slider with dust (1st Report, influence of dust adhesion to slider rails on flying height)*, ASME 53, 1987, pag. 968–971.
27. M. Tokuyama, S. Hirose, *Dynamic flying characteristics of magnetic head slider with dust*, ASME J. Tribol. 116, 1994, pag. 95–100.
28. Muñoz L. Ramón, Uruchurtu C. Jorge, *Caracterización de la Agresividad Atmosférica sobre los Materiales Metálicos Estructurales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/Vol. 18, número 001, UNAM, pp. 27-32.
29. Norton Peter, *Introducción a la Computación*, Mc Graw-Hill, 1995.

30. Ortiz, A., *Simulación Acelerada de la Corrosión Atmosférica en Equipo Electrónico*, Tesis Doctoral, Posgrado de Ingeniería UNAM 2004.
31. Pinheiro E., Wolf-Dietrich W., Barroso L. A., *Failure Trends in a Large Disk Drive Population*, Google Inc., 1600 Amphitheatre Pkwy Mountain View, CA 94043.
32. Rajan Ambat, Per Møller, *A Review of Corrosion and environmental effects on electronics*, Department of Manufacturing and Management, Technical University of Denmark
33. Roberge P.R., *Handbook of Corrosion Engineering*, Mc Graw-Hill, USA, 2000.
34. Rocha J. Editor, *Productos Electro-Electrónicos en Ambientes Tropicales*. Campinas, 2003.
35. Sánchez, F., Barrios, L., *Deterioro por Corrosión Atmosférica en Sistemas de Almacenamiento Magnético de Datos*. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2005.
36. Shukla N.<sup>a</sup>, Gellman A. J.<sup>b</sup>, Ma X.<sup>c</sup>, Gui<sup>c</sup> J., *Effect of humidity on lubricated carbon overcoats*, <sup>a</sup>Seagate Research Center, Pittsburgh, PA 15203, USA; <sup>b</sup>Department of Chemical Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA, <sup>c</sup>Seagate Technology, Inc., Fremont, CA 94538, USA.
37. Sung-Hoon C., *The effects of corrosion on MR disk*, Tribology Transactions, 2001.
38. Tomashov N. D., *Theory of corrosion and protection of metals*. Collier Mc Millan, 1966, Londres, pp 255.
39. Toshiba Corporation 2005.
40. Trethewey K.R., Chamberlain J., *Corrosion*, Longman Scientific & technical, 1988.
41. Zhao Z., Bhushan B., *Humidity effect on friction/stiction and durability of head-disk interface with polar perfluoropolyether lubricant*.
42. 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.

**Internet.-**

[1] <http://www.pcguides.com/ref/hdd/index.htm>. - The PC Guide Site Version: 2.2.0 - Version Date: April 17, 2001 © Copyright 1997-2004 Charles M. Kozierok. All Rights Reserved - *Internet's sites for detailed PC reference information*.

[2] <http://www.cab.cnea.gov.ar/cab/invbasica/Resonancia>. *Comisión Nacional de Energía Atómica Centro Atómico Bariloche Argentina*.

[3] <http://www.almaden.ibm.com/sst/html/leadership/leadership.htm>.

[4] <http://www.tiscali.co.uk/reference/encyclopaedia/hutchinson/m0030289.html>

[5] <http://www.rama.com.mx> Red Automática de Monitoreo Atmosférico