



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA EN
COMPONENTES DE EQUIPO ELECTRÓNICO
POR EFECTOS AMBIENTALES EN LA CIUDAD
DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A

DANIEL OCTAVIO MARTÍNEZ GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. FRANCISCO SÁNCHEZ PÉREZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

ÍNDICE

PRÓLOGO	4
AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1	9
Corrosión Atmosférica.....	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Corrosión atmosférica en exteriores.....	12
1.3 Corrosión atmosférica en interiores.....	14
1.4 Problemática.....	16
CAPÍTULO 2	19
Clasificación de atmosferas en la Cd. de México.....	19
2.1. Climatología y meteorología.....	19
2.1.1. Regiones climáticas de México.....	20
2.1.2. Características geográficas de la región climática del centro.....	21
2.2. Cd. de México.....	21
2.2.1 Condiciones fisiográficas.....	21
2.2.2 Usos del suelo en la Cd. de México.....	24
2.2.3 Condiciones meteorológicas típicas.....	25
2.2 Climas en la Cd. de México.....	25
2.3 Variables meteorológicas superficiales.....	27
2.3.1 Temperatura ambiente en la Cd. de México.....	29
2.3 Precipitación pluvial.....	29
2.3.3 Humedad relativa en la Cd. de México.....	30
2.4 Contaminantes existentes y fuentes de emisión, en la Cd. de México.....	31
2.4.1 Concentraciones de los principales contaminantes en la Cd. de México.....	33
2.4.2 Normas oficiales mexicanas de salud ambiental (NOM).....	38
CAPÍTULO 3	40
Metodología para evaluación del grado de corrosividad atmosférica y desarrollo del proyecto con Arduino.....	40
3.1 Antecedentes.....	40
3.1.2 Parámetros a considerar para la realización de ensayos acelerados.....	42

*CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA EN COMPONENTES DE EQUIPO ELECTRÓNICO POR EFECTOS
AMBIENTALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO*

3.1.3	Norma ISO 9223 (1992).....	43
3.1.4.1	Normas ASTM.	44
3.1	Pruebas de corrosión empleadas en la industria electrónica.....	44
3.2	Metodología.....	45
3.2.1	Consideraciones iniciales.	45
3.2.2	Plataforma Arduino.	46
3.2.3	Abrigos meteorológicos.	48
3.2	Diseño y fabricación de garita meteorológica.	49
3.4	Diseño y ensamble de circuito para monitoreo atmosférico	51
3.4.1	Recursos empleados.	52
3.4.2	Características de los elementos.....	52
3.4.3	Descripción Funcional.	55
CAPÍTULO 4		59
Ensayos acelerados en dispositivos electrónicos de garita meteorológica.		59
4.1	Antecedentes.....	59
4.2	Variables a considerar en los ensayos acelerados por corrosión atmosférica	61
4.3	Metodología empleada para diagnóstico en equipo electrónico	62
4.4	Definición de los parámetros para la realización del ensayo.	63
4.5	Especímenes sometidos a ensayos acelerados.....	66
4.6	Resultados de especímenes sometidos a ensayos acelerados	67
4.6.1	Evaluación de la presencia de corrosión en tarjetas Arduino UNO sometidas a condiciones del Ensayo #1.....	67
4.6.2	Evaluación de la presencia de corrosión en tarjetas Arduino sometidas a condiciones del ensayo #2.	72
4.6.3	Inspección en microscopio electrónico de barrido (MEB) de las tarjetas Arduino sometidas bajo las condiciones del Ensayo #1	77
4.6.4	Inspección en microscopio electrónico de barrido (MEB) de las tarjetas Arduino sometidas bajo las condiciones del Ensayo #2.	81
CAPÍTULO 5		92
Conclusiones y Recomendaciones.		92
5.1	Conclusiones.....	92
5.2	Recomendaciones.....	93
REFERENCIAS.....		95

PRÓLOGO

El presente trabajo se centra en el deterioro que causa la corrosión atmosférica a los equipos electrónicos, esto bajo las condiciones climáticas y meteorológicas características de la Cd. De México, esta es una gran metrópoli, en la cual se emplean diferentes tipos de equipos electrónicos, ya sea que se encuentren dentro de la industria, en oficinas, en el hogar o trabajando en la intemperie, estos pueden presentar fallas que pueden ser causadas por la presencia de corrosión.

Para la parte experimental del trabajo se empleó el uso de la tarjeta Arduino UNO, esta se encontrará censando datos de temperatura y humedad en tiempo real durante el desarrollo de los ciclos establecidos para cada tipo de ensayo, la tarjetas se ubicara dentro de la cámara de simulación acelerada, y así se podrá monitorear el momento en el que se presenten fallos en el funcionamiento de las tarjetas, al término de un numero de ciclos establecidos, se realizara una inspección visual del deterioro que sufren las tarjetas, al cumplirse los ciclos establecidos y cumplirse los puntos citados en la metodología se realizara un seccionamiento de la tarjeta y se observara con la ayuda de la microscopia electrónica de barrido el deterioro en los elementos.

El trabajo escrito consta de 5 capítulos, en los cuales se describe detalladamente las bases teóricas, la metodología empleada, la fabricación de las garitas meteorológicas, la implementación de la tarjeta Arduino para la toma de mediciones, el deterioro sufrido por las tarjetas a causa de las características de los ensayos empleados durante la experimentación, así como un apartado de conclusiones y recomendaciones.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, M. en C. Francisco Sánchez Pérez, por la ayuda en todas las etapas del presente trabajo, por su apoyo y consejos en momentos difíciles, y por brindarme su amistad, al Ing. Jorge Luis Romero Hernández, por su apoyo en la inspección de las muestras en el microscopio electrónico de barrido. A los compañeros de servicio social, Carlos, Elizabeth y Rosario, por su apoyo en la realización de los ensayos en la cámara de simulación.

A todo el personal académico y administrativo dentro de la UDIATEM, por permitirme el uso de las instalaciones del laboratorio de corrosión.

DEDICATORIAS

A mis padres Fidencio Martínez y Carolina García (q.e.p.d), los cuales me brindaron su amor y apoyo incondicional en todo momento, por educarme con buenos valores y enseñarme a como ser un hombre de bien, sin ustedes esto no sería posible, los amo. A mis hermanos José Antonio y Fernando, por sus palabras de aliento y apoyo en momentos difíciles, los quiero mucho.

A mis amigos, con los que compartí momentos de alegría y diversión dentro la facultad, así como su apoyo en momentos difíciles, Néstor, Mariana, Juan José y Ozziel. Al igual que a todos los miembros de la patrulla.

A mis tíos y primos, que ante la adversidad me extendieron su mano y me reconfortaron a mí y a mi familia, a mis padrinos Jorge y Fabiola, por su apoyo y afecto, gracias.

Su apoyo me ayuda a continuar, para lograr mis objetivos

Con todo mi amor y cariño, gracias mamá.

INTRODUCCIÓN

La industria electrónica ha crecido rápidamente en los últimos cincuenta años, contribuyendo al progreso económico de los países, esta industria abarca el diseño, desarrollo, fabricación, montaje y aplicación de los equipos, sistemas y diferentes componentes electrónicos.

Estudios realizados [*Sánchez F, 2014*], han demostrado que, al estar expuestos a una amplia gama de ambientes agresivos, se origina deterioro en sus componentes, generándose así fallas en los equipos, consideradas como prematuras y con ello pérdidas económicas, por la pérdida de información en los sistemas.

Los diferentes tipos de dispositivos electrónicos pueden presentar fallas por diversos motivos, tales como una inadecuada exposición a vibraciones, choques electrostáticos, interferencias electromagnéticas, así como a la acción corrosiva, que en este caso se denomina corrosión atmosférica.

Consideración importante es la miniaturización de los componentes electrónicos siendo uno de los factores que influyen en la presencia de problemas de corrosión, debido a sus reducidas dimensiones, cantidades microscópicas de agentes corrosivos o de productos de corrosión acumulados, que son suficientes para causar un grave deterioro de dichos componentes, incluso conllevando al deterioro total del sistema.

La corrosión atmosférica es una de las causas más frecuentes de deterioro de materiales de origen estructural y natural. El fenómeno de la corrosión atmosférica, es la acción conjunta de los factores de contaminación y meteorológicos, los cuales determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, los cuales, al actuar simultáneamente, aumentan sus efectos [*Hernández A, 2009*].

Con lo antes citado, el presente trabajo evalúa el comportamiento de dispositivos electrónicos (tarjeta Arduino UNO), bajo condiciones ambientales más representativas de la Cd. de México, como lo son temperatura, humedad y la presencia de los gases contaminantes.

Uno de los objetivos del presente trabajo es determinar el tiempo (que tienen los dispositivos electrónicos bajo condiciones severas ambientales, ciclo de vida),

para poder identificar cuáles son los principales componentes que sufren deterioro y saber cuál es la importancia en el funcionamiento de dicho dispositivo a evaluar.

Lo anterior es posible, gracias a la simulación acelerada por corrosión atmosférica considerando variable como humedad, temperatura y en este caso SO₂ y NO, estos contaminantes son de los más representativos en la Cd. de México.

Así mismo se tiene también como objetivo determinar e identificar las variables que inciden directamente en el deterioro por corrosión atmosférica.

Para lograr este cometido, se diseñará una estación meteorológica denominada "Garita meteorológica", dónde se colocará el sistema "Arduino", programado para evaluar las condiciones en tiempo real de los ensayos, con lo que se tendrán resultados más confiables y tiempos de vida como se establece en párrafos previos. Las pruebas se realizarán en el laboratorio de corrosión de la UDIATEM.

CAPÍTULO 1

Corrosión Atmosférica

1.1 Antecedentes

La corrosión se define como la reacción química o electroquímica entre un material y su entorno lo cual provoca el deterioro del material y de sus propiedades [Botia, F.J.S, 1985]. Dado que un material manufacturado implica un estado de esfuerzos asociados al proceso de manufactura, por lo que los materiales tienen la tendencia a buscar su forma más estable o de menor energía interna [Smith, W, 1998].

Para que ocurra la corrosión se necesitan los componentes de una celda electroquímica, un ánodo, un cátodo, una conexión entre el ánodo y cátodo (circuito externo) y finalmente una disolución conductora (circuito interno, agua). El ánodo y el cátodo están situados en el metal (pueden ser el mismo o diferentes metales, los cuales pueden estar en contacto) los cuales tienen una diferencia de potencial entre ellos. Cuando esto sucede, la oxidación se da en el ánodo.

La (Figura 1.1) muestra las reacciones que se presentan en el fenómeno de corrosión.

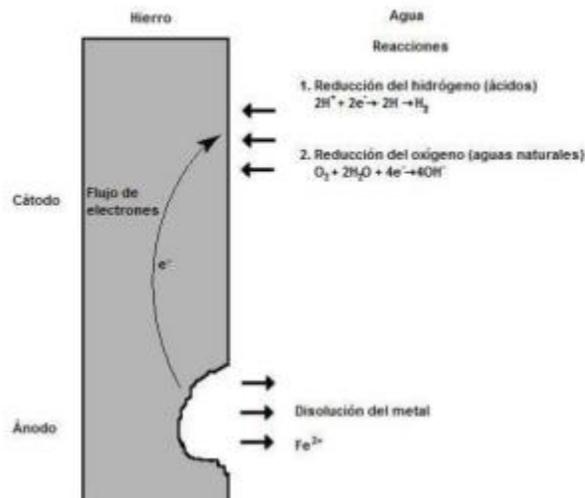


Figura 1.1. Principales reacciones que producen la corrosión de las superficies metálicas (fuente: Gray, 1994)

El presente trabajo se enfoca al estudio de la corrosión atmosférica (CA), siendo esta la oxidación paulatina de los materiales metálicos por acción de agentes externos, tales como la temperatura y la humedad presentes en el ambiente. Cualquier elemento o componente ya sea que se encuentre en interiores o en exteriores, en los cuales se incluyen equipos electrónicos, partes electrónicas, etc., expuestos a las condiciones ambientales que por su actividad de acuerdo a la región en la que se encuentra pueden presentar en mayor o menor grado la presencia de (CA), sufriendo daños causados directamente por la corrosión y por la interacción de la humedad, gases contaminantes, partículas contaminantes y agentes catalíticos como el O_3 . El fenómeno de la corrosión atmosférica es la acción conjunta de los agentes contaminantes y de los factores meteorológicos, los cuales determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, los cuales al actuar simultáneamente se convierten en catalizadores del proceso.

La corrosión atmosférica inicia a partir de la formación de una capa acuosa en la superficie metálica del material, la cual se produce por la humedad del ambiente y está determinada por las precipitaciones pluviales, niebla o cualquier factor climatológico (corrosión en exteriores). Esta capa acuosa puede actuar como solvente para ciertos contaminantes aumentando así las reacciones electroquímicas que dan como resultado la oxidación del metal.

Los principales contaminantes gaseosos que desde el punto de vista de corrosión atmosférica afectan más son el ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y el cloro (Cl^{-1}) (la presencia de este elemento depende de la zona en la que se encuentra el material, el cloro generalmente se encuentra en zonas con clima marino), estos contaminantes están presentes en varias formas y de los cuales los primero cuatro se encuentran presentes en la atmosfera de la Cd. de México.

La contaminación atmosférica en la Cd. de México, se debe principalmente a las fuentes antropogénicas fijas y móviles como lo son la industria y los vehículos, tales como autos particulares así como el transporte público, esto como resultado del crecimiento de la Cd. de México a partir de los años cuarenta [IECCZMCM-SMA, 2006].

Los factores más importantes que intervienen en la corrosión atmosférica son:

- Variación de la temperatura
- Humedad Relativa (HR)
- Contaminantes gaseosos presente en el aire (composición y concentración), partículas contaminantes (composición, tamaño y concentración).

Los contaminantes y condiciones climatológicas se han agrupado en diferentes tipos de ambientes [Ortiz A, 2004]:

- a) **Ambiente Industrial:** Se caracteriza por la emisión de la industria pesada, tiene todo tipo de contaminación por azufre en forma de SO_2 , Adicionalmente, a este contaminante se encuentra los NO_x , el cual proviene en su gran mayoría de la combustión. Así como la concentración de importantes cloruros, fosfatos y nitratos.
- b) **Ambiente Urbano:** Este tipo de ambiente presenta un menor nivel de emisiones producto de la industria pesada, sus contaminantes también son producto de la combustión de materiales fósiles, principalmente producidas por automóviles y transporte público. Los contaminantes más usuales son NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) y SO_2 , principalmente.
- c) **Ambiente Marino:** Posee altas concentraciones de cloruro. La concentración en el ambiente del cloruro de sodio (NaCl) es superior a 15 mg/m^2 al día. La presencia de la industria, temperatura y vientos dominantes ayudan al aumento de la corrosividad.
- d) **Ambiente Rural:** No se compara con los tres anteriores al no presentar una alta densidad de población, ni de industrias; sin embargo los fertilizantes y la descomposición de materia orgánica, activa otros mecanismos de corrosión debida a la presencia de iones amonio, nitratos, etc.

De estos diferentes tipos de ambientes se pueden subclasificar, ya que, dependiendo de las características geográficas y climáticas, así como de la concentración de los diferentes contaminantes se pueden presentar combinaciones de estos ambientes, para el presente trabajo se enfocará en el ambiente industrial y el ambiente urbano, siendo estos los más predominantes en la zona de la Cd. de México.

Como caso particular de estudio, en la Cd. de México las temperaturas mínimas y máximas absolutas son de 6°C y 30°C respectivamente mientras que la humedad relativa varía entre un 45% y 60%.

La concentración de los contaminantes tanto en interiores como en exteriores se ve influida por las características que presenten la construcciones, ya que en algunos casos las necesidades de cada construcción son distintas, el hecho de contar con un sistema de aire acondicionado se ve reflejado en la concentración de contaminantes ya que este estará por debajo al nivel que se presenta en el

exterior del mismo, debido a las características del clima presente en la Cd. de México, es muy común que las concentraciones de los contaminantes sean muy similares tanto en exteriores como en interiores, ya que la mayoría de los hogares y en algunos edificios no cuentan con sistema de aire acondicionado y la única forma de ventilación es el hecho de dejar entrar el aire del exterior al interior, teniendo así condiciones similares tanto en exteriores como en interiores, sin tomar en cuenta que las diferentes actividades que realiza el ser humano en interiores produce una alta concentración de contaminantes.

1.2 Corrosión atmosférica en exteriores.

La mayoría de los estudios sobre corrosión atmosférica se enfocan principalmente en la corrosión en exteriores, la cual es considerado como la más agresiva, la corrosión atmosférica es producida por la acción combinada del oxígeno del aire y la humedad que hay en el ambiente, como en la atmosfera siempre existe humedad a la temperatura ambiente, los metales se ven más afectados por la corrosión que por la oxidación. Siendo sus efectos mucho mayores en los metales que se encuentran en contacto directo con agua como es el caso de las estructuras metálicas que se encuentran a nivel del mar.

Como el mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica, su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico, con un electrolito de resistencia óhmica determinado. La mayoría de los metales expuestos a la atmosfera se corroen debido al proceso de reducción de oxígeno, la resistencia óhmica que existe entre las zonas anódicas y catódicas que se llevan a cabo en las pequeñísimas pilas de corrosión las cuales se distribuyen sobre el metal expuesto al ambiente es grande cuando el espesor de la capa de humedad es pequeño [Genesca J. 1990].

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

La (Figura 1.2), muestra la relación existente entre la corrosión atmosférica y el espesor de la capa del electrolito sobre la superficie metálica. Se puede observar que en espesores muy pequeños la corrosión no existe, ya que la resistencia óhmica que presenta la capa de electrolito sobre la superficie metálica es muy grande y la disolución del metal es difícil. Conforme se aumente el espesor se disminuye la resistencia de la capa de electrolito y la polarización catódica, lo cual origina un aumento en la velocidad del proceso de corrosión hasta que este alcanza nivel máximo, el cual va disminuyendo después con el aumento del

espesor. En esta zona, la polarización anódica es determinante en el proceso de corrosión: el factor óhmico y la polarización anódica pierden importancia, pues la difusión del oxígeno en la superficie metálica es muy lento y por lo tanto es determinante del proceso global.

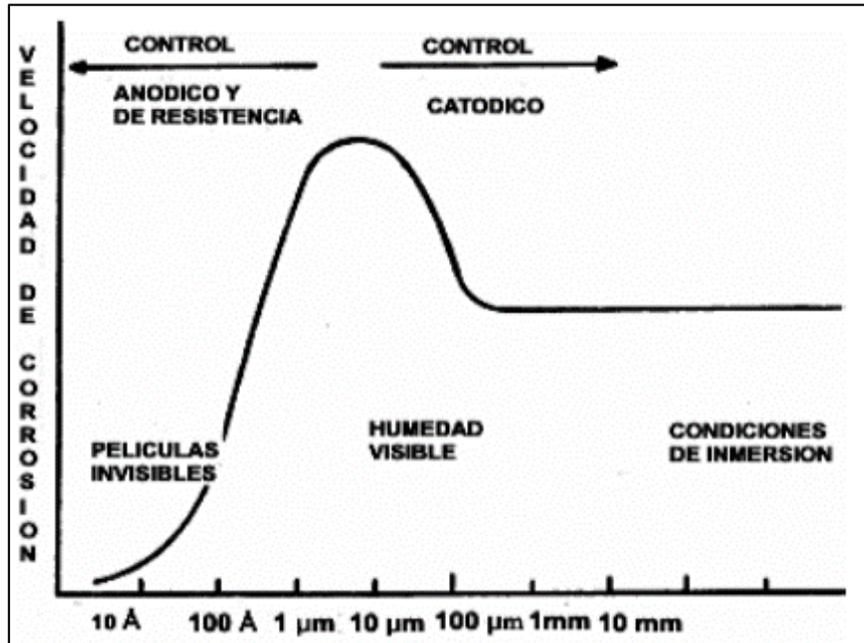


Figura 1.2. Influencia del espesor de la película de humedad condensada sobre la superficie metálica en la velocidad de corrosión. (Fuente Joan Genesca, Más allá de la herrumbre, III, 1986)

Esto nos permite poder entender la importancia de conocer las causas y los factores que afectan directamente a la formación de la película de humedad que se forma sobre la superficie metálica del material. La causa más importante es la precipitación atmosférica que se puede presentar ya sea en forma de lluvia o en niebla muy espesa, esto dependiendo de las características climatológicas del lugar donde se encuentra el material. La capa de electrolito que se forma en el material en el proceso de la corrosión en exteriores depende en gran medida de las variaciones estacionales y diarias de la humedad de la precipitación, rocío o niebla.

Cuando se alcanza el nivel de humedad necesario para que se puedan formar las pilas de corrosión, comienza a tomar importancia otro factor que es muy importante: la contaminación atmosférica.

Uno de los factores que determina principalmente la intensidad con la que se presenta el fenómeno corrosivo en la atmosfera es la composición química de la misma. El SO₂ y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmosfera. La contaminación atmosférica la cual afecta en gran medida al proceso de corrosión depende de la presencia de industrias y de un gran grupo de población, ya que las actividades que se realizan en una Cd. producen en gran cantidad de agentes corrosivos como el SO₂, provenientes del empleo de combustibles que contienen azufre.

La concentración de estos elementos contaminantes presentes en el ambiente de la Cd. de México, ayuda a acelerar el proceso de corrosión en la superficie metálica de los materiales que están expuestos a la intemperie, el tamaño de la capa de electrolito depende de la características del lugar donde se encuentra el material, esto hace que la corrosión atmosférica en exteriores sea muy agresiva, debido a esto en el presente trabajo se evaluarán diferentes características y ambientes los cuales están presentes en Cd. de México.

1.3 Corrosión atmosférica en interiores.

Se considera que existen diferencias importantes entre las condiciones en interiores y exteriores, la capa de electrolito formada en exteriores depende de las variaciones estacionales y diarias de humedad de la precipitación, rocío o niebla. En interiores la capa formada depende de condiciones con menor variación del nivel de humedad, esto quiere decir, que en interiores los ciclos de humedad o seco son menos drásticos y notorios que en exteriores.

La diferencia de la concentración de contaminantes en interiores como en exteriores se debe principalmente a la concentración de gases y de partículas en el aire en interiores y a la disminución de las variaciones atmosféricas exteriores por medio de sistemas de ventilación [Ortiz A, 2004].

La gran mayoría de los contaminantes que se encuentran en interiores provienen del exterior, aunque algunos se producen dentro tales como productos de calefacción, partículas sólidas, contaminantes producidos por las estufas y calentadores de gas, grasas ocupadas en la cocina, cigarros, etc. En lugares tales como la Cd. de México, en donde el empleo de sistemas de aire acondicionado no es muy utilizado, debido a las características del ambiente, esto permite que exista un amplio intercambio entre las zonas interiores de los edificios y el exterior.

En interiores que cuentan con sistema de aire acondicionado al estar en continuo funcionamiento pueden asegurar una atmosfera filtrada, limpia y seca, con una humedad relativa baja, pero su interrupción (debido a una descompostura o al estar apagado durante la noche) puede causar condensación del agua con la consiguiente promoción de precursores de la corrosión. Es importante considerar, que si se cuenta con equipos de aire acondicionado, estos dispongan de deshumificadores, ya que de otra manera la humedad relativa en el interior sería superior a la presente en el exterior.

En interiores, la capa de electrolito que se forma en la superficie está sujeta a ciclos de menor variación tanto de la temperatura como de la humedad. Esto produce que en interiores los ciclos de condensado- evaporación sean menos notorios y menos drásticos, se debe de tomar en cuenta que para que exista precipitación de condensado con efectos corrosivos, no es un requisito el hecho de alcanzar el punto de rocío.

Desde el punto de vista de los materiales para la construcción las condiciones características que se presentan en interiores son poco agresivas, pero para los productos formados por partes metálicas, tales como maquinaria, instrumentos de precisión, aparatos eléctricos, circuitos eléctricos y otros muchos, pueden sufrir daños por corrosión durante su almacenamiento. El daño puede convertir a los instrumentos en productos totalmente inadecuados, provocar el mal funcionamiento de los mismos o simplemente, puede crear problemas estéticos.

Las posibles diferencias existentes entre las concentraciones de agentes contaminantes en interiores como en exteriores se deben principalmente a la adsorción de gases y partículas en interiores y a la disminución de las variaciones atmosféricas en exteriores por medio de los sistemas de ventilación y de las mismas características de la construcción.

En la **Tabla 1.1** se observa que la concentración general de los contaminantes presentes en interiores es menor que en exteriores a excepción del amoniaco (NH_3) y del formaldehido (HCHO). En la tabla se puede observar que las concentraciones en interiores y exteriores son diferentes, ya que las concentraciones de los contaminantes varían según el ambiente y las condiciones de la edificación.

Tabla 1.1. Comparativa de la concentración de contaminantes en interiores y exteriores. [Fuente: Tesis doctoral; Ortiz A, 2004]

Compuesto		Concentración en (ppb)	
		Exteriores	Interiores
O ₃	Ozono	4 - 42	3 - 30
H ₂ O ₂	Agua oxigenada	10 - 30	5
SO ₂	Dióxido de azufre	1 - 65	0.3 - 14
H ₂ S	Ácido sulfhídrico	0.7 - 2.4	0.1 - 0.7
NO ₂	Dióxido de nitrógeno	9 - 78	1 - 29
HNO ₃	Ácido nítrico	1 - 10	3
NH ₃	Amoniaco	7 - 16	13 - 259
HCl	Ácido clorhídrico	0.18 - 3	0.005 - 0.18
Cl ₂	Cloro	0.005 - 0.08	0.001 - 0.005
HCHO	Formaldehido	4 - 15	10
HCOOH	/	4 - 20	20

1.4 Problemática.

Aunque no es reciente la preocupación por los problemas de corrosión en la industria electrónica, la susceptibilidad de los equipos electrónicos frente a los fenómenos de corrosión se ha ido incrementando de manera importante desde la fabricación del primer circuito integrado.

Con la antigua tecnología electromecánica, la corrosión no solía constituir un problema importante (siempre que los equipos electrónicos no entraran en contacto directo con el agua) pues las reacciones de corrosión eran insuficientes para poder reducir de manera apreciable el espesor de los conductores a lo largo de la vida útil de servicio de los equipos. Sin embargo, las dimensiones de los elementos ocupados en la electrónica han disminuido de tal manera, que los conductores pueden deteriorarse a causa de la corrosión atmosférica, esto en un lapso corto de tiempo.

Desde el punto de vista de la corrosión, la tendencia a la miniaturización (que se encuentra ya dentro del régimen submicrométrico) es una fuente potencial de graves problemas que, de no resolverse, podría frenar futuros desarrollos e innovaciones tecnológicas en este campo [Sinclair J, 1988]

La corrosión de componentes críticos de los dispositivos electrónicos puede producir problemas que van desde el ruido en la señal, el incremento en la resistencia del circuito, corrientes en cortocircuito, entre otras fallas inminentes, hasta el hecho de presentarse la incapacidad total del equipo para poder seguir trabajando. Si bien algunas de las fallas que se pueden presentar no se le pueden acreditar a la corrosión, este si puede ser precursoras de ésta, como lo es la generación de cortocircuitos entre pistas por efecto de la presencia de humedad. Además, este problema puede pasar desapercibido en gran medida para el operador, sólo haciéndose visible cuando se genera un error o una parada inesperada de un proceso productivo (Figura 1.3.)

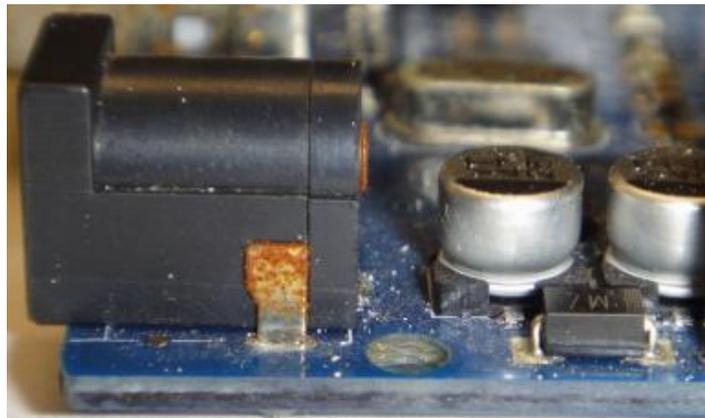


Figura 1.3. Presencia de corrosión en soporte metálico de conexión.

El énfasis en poder analizar el efecto que tiene la corrosión atmosférica en el buen funcionamiento del equipo electrónico se remonta a mediados de los años 60's, producto de los inconvenientes que los dispositivos electrónicos del equipo militar norteamericano presentaron durante la guerra de Vietnam. A raíz de estos problemas se comenzaron a desarrollar estudios en los cuales se concluyó que una gran cantidad de las fallas que se presentaban tenían su origen en fenómenos corrosivos, los cuales se producían por las características del medio ambiente en donde se ocupaba estos elementos. Estas fallas pueden ser originadas debido a que durante su diseño no se consideró el efecto que produce el medio ambiente en el buen desempeño de los elementos electrónicos. Este tipo de inconvenientes se sigue presentando en la actualidad, a pesar de que durante las labores de mantenimiento, se ha podido comprobar la presencia de los fenómenos que producen la corrosión en componentes electrónicos. Esto se presentaba con frecuencia en condiciones que se caracterizan por tener una elevada humedad relativa que es una característica típica de las regiones costeras y tropicales, pero esto también se puede llegar a presentar en equipos electrónicos instalados en la

Cd. de México, esto debido a las condiciones climáticas presentes en las que se encuentra operando el equipo.

El hecho de subestimar el efecto que puede ocasionar los fenómenos corrosivos, pueden originar en la presencia de fallas de equipos electrónicos, estas fallas pueden ser ocasionados por diversas causas como la falta de información sobre el lugar en específico en el cual se tendrá operando al equipo, la suposición de que las condiciones en las que se desempeñan el circuito son favorables para trabajar con la presencia del aire acondicionado, la presencia de concentración de contaminantes, etc.

Entre los factores que propician la corrosión en circuitos eléctricos, se pueden destacar entre otros:

- Cambios bruscos de temperatura: La temperatura de circuitos cae debajo del punto de condensación.
- Humedad relativa sobre 50%: Acelera la corrosión, formando soluciones conductivas que, posteriormente, se convierten en electrolitos.
- Gases corrosivos: Tanto el ácido sulfhídrico, óxidos de azufre y de nitrógeno, así como el cloro y el amoníaco, son elementos comunes en la industria, sin embargo, pocos conocen sus nocivos efectos.

Una vez que estos elementos afectan un sistema eléctrico o electrónico, encontramos los primeros efectos de la corrosión que, por ejemplo, pueden manifestarse con señales falsas, pérdida de la misma o interrupción inesperada de procesos, todo esto puede ser causado por los efectos de la corrosión así como el mal funcionamiento de algunos elementos dentro del sistema, los que dependiendo del grado de deterioro pueden traducirse en consecuencias potencialmente muy costosas.

CAPÍTULO 2

Clasificación de atmosferas en la Cd. de México.

El conocimiento del medio físico que nos rodea es fundamental para poder controlar la influencia que éste ejerce sobre las actividades humanas. De todos los elementos de dicho medio los que nos afectan de manera más directa son los atmosféricos.

En la Cd. de México la presencia de asentamientos humanos, en las actividades agrícolas, en procedimientos industriales, intercambios comerciales, etc., el clima tiene influencia constante, a veces determinante y otras veces con una jerarquía menor, pero siempre es obligado tomarlo en cuenta.

2.1. Climatología y meteorología

La climatología y meteorología se encuentran relacionadas íntimamente, pues su objeto de estudio es el mismo, aunque desde diferentes puntos de vista. La segunda estudia el comportamiento físico de la atmósfera y sus leyes, y analiza el comportamiento de ésta ante un fenómeno específico, como por ejemplo un huracán, o de un momento particular como en el caso de las cartas sobre el estado o pronósticos del tiempo, que son una de las principales aplicaciones de esta ciencia.

La climatología, por el contrario, no se dedica a efectuar pronósticos del tiempo, o por lo menos no a nivel diario, sino que hace uso de datos meteorológicos que son indispensables en la planeación de multitud de actividades humanas, con el objeto de adquirir conocimiento sobre los elementos climáticos actuales y del pasado, presentes en un área determinada; así se logran comprender la frecuencia de tales condiciones y sus valores extremos. Este conocimiento puede utilizarse para evaluar la probabilidad de algún evento futuro, pero no a nivel de un pronóstico inmediato de corto alcance, sino más bien para proporcionar evaluaciones sobre cómo pueden las sociedades humanas adaptar de una mejor manera sus vidas y actividades a ciertas condiciones climáticas esperadas.

2.1.1. Regiones climáticas de México.

En 2005, Rosalía Vidal Zepeda señala que para la geografía el concepto de región es útil con la intención de poder explicar la distribución de un fenómeno variable especialmente, tal es el caso del tiempo y el clima. Una región o provincia climática es cierta extensión de la superficie terrestre en la cual, por su situación geográfica y por la orientación general de los accidentes del relieve dominan el mismo o los mismos sistemas de vientos y por su latitud presenta análogas condiciones de calentamiento, de aquí que se muestre gran similitud en los tipos de clima principalmente en cuanto a régimen de lluvias, marcha anual de la temperatura y oscilación térmica. (p.15).

Con base en el mapa de Regiones de Climas de la República Mexicana, que fue presentado por García, Vidal y Hernández en el Congreso Nacional de Geografía en Guadalajara, Jalisco (1983) y el cual se publicó en la sección de Climas del Atlas Nacional de México (1989), dando como resultado que en el país hay once regiones climáticas bien definidas (Figura 2.1).

La presencia de altitud y la presencia de los vientos dominantes, al modificar la cantidad de lluvia y el valor de las temperaturas, traen como consecuencia que dentro de una misma región puedan encontrarse diferentes grados de humedad y de temperatura, esto produce una amplia diversidad de climas.

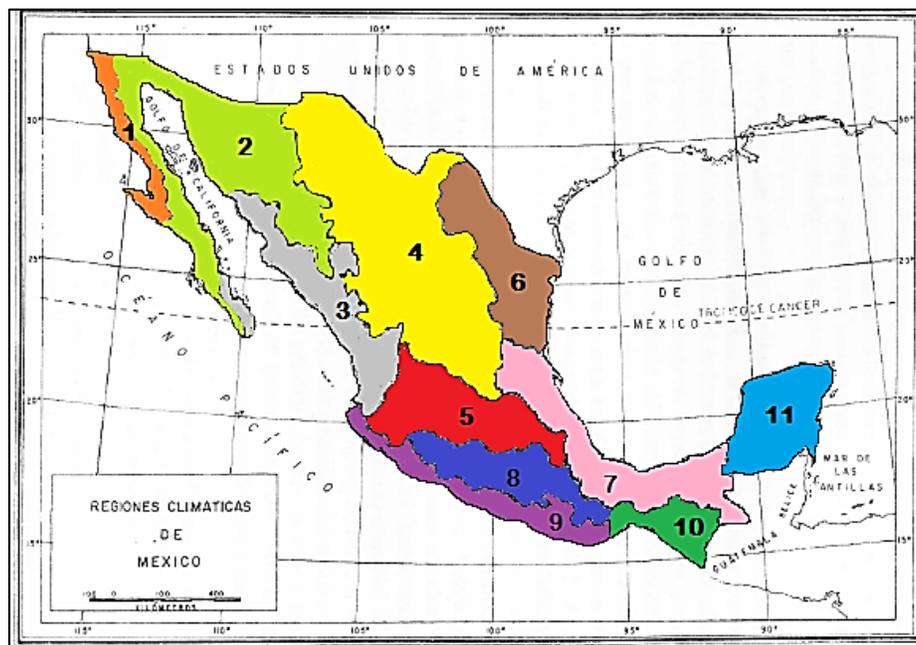


Figura 2.1. Regiones Climáticas de México (Fuente: Rosalía Vidal Zepeda. (2005)): 1. Noroeste, 2. Golfo de California, 3. Pacífico Central, 4. Norte, 5. Centro, 6. Noroeste, 7. Golfo de México, 8. Cuenca de Balsas y Valles de Oaxaca, 9. Pacífico Sur, 10. Sureste, 11. Península de Yucatán.

2.1.2. Características geográficas de la región climática del centro.

Ocupa la parte sur de la Altiplanicie Mexicana conocida como meseta central o de Anáhuac y las laderas que hacia ella se inclinan, de las sierras que la limitan: al sur, el Eje Volcánico, al oeste las derivaciones australes de la Sierra Madre Occidental, al este la Sierra Madre Oriental y la región del Cofre de Perote al Pico de Orizaba, y al norte las sierras de Zacatecas, Guanajuato, Pinal de Amoles y Jalpan de Serra (Figura 2.2).

Su altitud varia, de 900 m en el oeste y suroeste a 5,452 m en el Popocatepetl. Los fenómenos volcánicos han sido muy intensos en la región, los materiales ígneos separaron numerosas cuencas de altitud superior a 2,000 m, las principales de este a oeste, son: Llanos de San Juan, llanos de Ápan, cuenca de México, valle de Toluca, cuenca de Pátzcuaro y otras cuencas más pequeñas situadas al oeste.



Figura 2.2. Relieve de la región centro [INEGI 2014]

2.2. Cd. de México.

2.2.1 Condiciones fisiográficas.

La Cd. de México se asientan sobre la planicie aluvial que dejaron los antiguos lagos de Texcoco, México, Chalco y Xochimilco el en el interior de la Cuenca del Valle de México la cual se encuentra en la región central del territorio nacional, y tiene como centroide la confluencia del paralelo 19° 30' de Latitud Norte y el meridiano 99° 02' de Longitud Oeste. La altitud promedio es de 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm). La cuenca donde se ubican, presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en donde alguna vez se encontraban los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. La Cuenca

del Valle de México aloja en su interior pequeñas elevaciones topográficas que perturban el terreno (Figura 2.3), en el norte se localiza la Sierra de Guadalupe y el Cerro del Chiquihuite; en el centro se ubica el Cerro de la Estrella; hacia el oriente se encuentra el Cerro de San Nicolás y la Sierra volcánica de Santa Catarina; al sur y suroeste el terreno se eleva más de 3,600 metros de altitud en la región conocida como la Sierra del Ajusco, que aparta a la Cd. de México del Valle de Cuernavaca; mientras que al poniente, la Sierra de las Cruces la separa del Valle de Toluca. Las principales elevaciones topográficas son los volcanes Popocatépetl (5,465 metros de altitud) e Iztaccíhuatl (5,230 metros de altitud) localizados en el sureste de la Cd. [CAM, 2003].

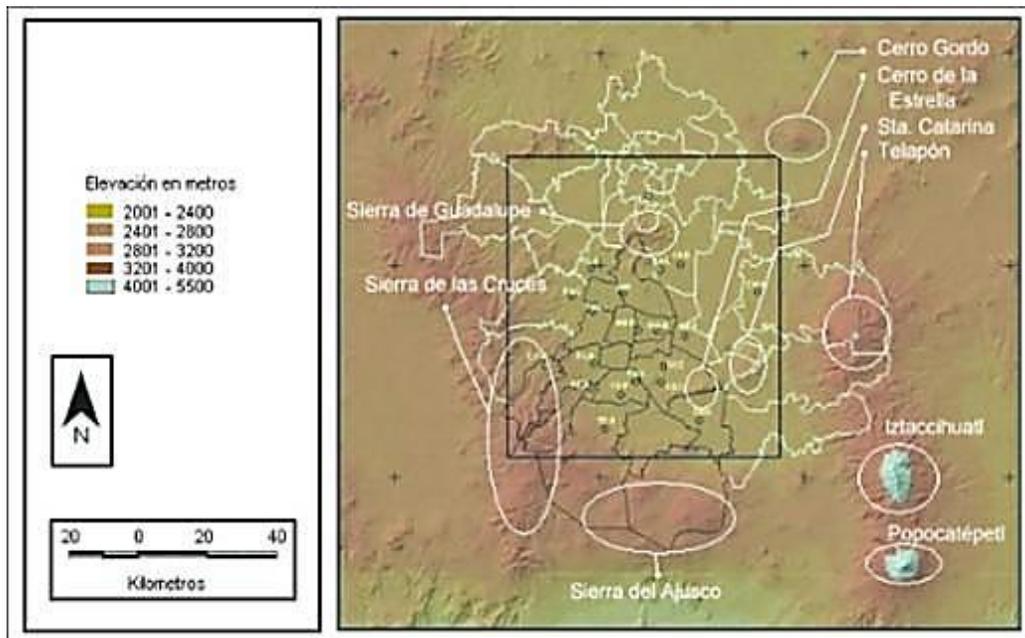


Figura 2.3. Ubicación Geográfica (Cd. de México y Área Metropolitana) (Fuente: SIMAT, 2006).

La gran altitud a la que se encuentra la Cd. de México, ocasiona que los procesos de combustión operen de manera diferente y emitan una mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera; esto como consecuencia del bajo contenido de oxígeno del aire, el cual es aproximadamente 23% menor que al nivel del mar, así mismo, la cadena montañosa que la rodea, propicia el estancamiento de los contaminantes. La Cuenca del Valle de México es tan extensa que contiene simultáneamente diferentes climas en su interior. Debido a que se encuentra en la Zona Intertropical recibe una alta insolación durante todo el año, lo cual provoca que temperatura ambiente sea alta, pero esta condición se ve modificada por la altitud y el relieve, de tal forma que en el noreste se cuenta con un clima templado semiseco, en el centro es templado subhúmedo y en las regiones elevadas, a más de 2,800 msnm, se considera semifrío subhúmedo [SIMAT, 2006].

Con el propósito de informar a la población de los niveles de contaminación que se registran en la Cd. de México el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) ha dividido a esta región en 5 zonas, para facilitar el presente trabajo se ocuparan esas mismas zonas, (Figura 2.4):

- **Zona Noroeste (NO.)**, está integrada por las Delegaciones y Municipios: Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapán de Zaragoza, Nicolás Romero, Cuautitlán.
- **Zona Noreste (NE.)**, está integrada por las Delegaciones y Municipios: Gustavo A. Madero, Nezahualcóyotl, La Paz, Ecatepec, Tlalnepantla, Chimalhuacán, Chicoloapan, Texcoco, Acolman, Coacalco, Jaltenco.
- **Zona Centro (CE.)**, está integrada por las Delegaciones: Venustiano Carranza, Iztacalco, Benito Juárez y Cuauhtémoc.
- **Zona Suroeste (SO.)**, está integrada por las Delegaciones: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Coyoacán, La Magdalena Contreras y Tlalpan.
- **Zona Sureste (SE.)**, está integrada por las Delegaciones: Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco

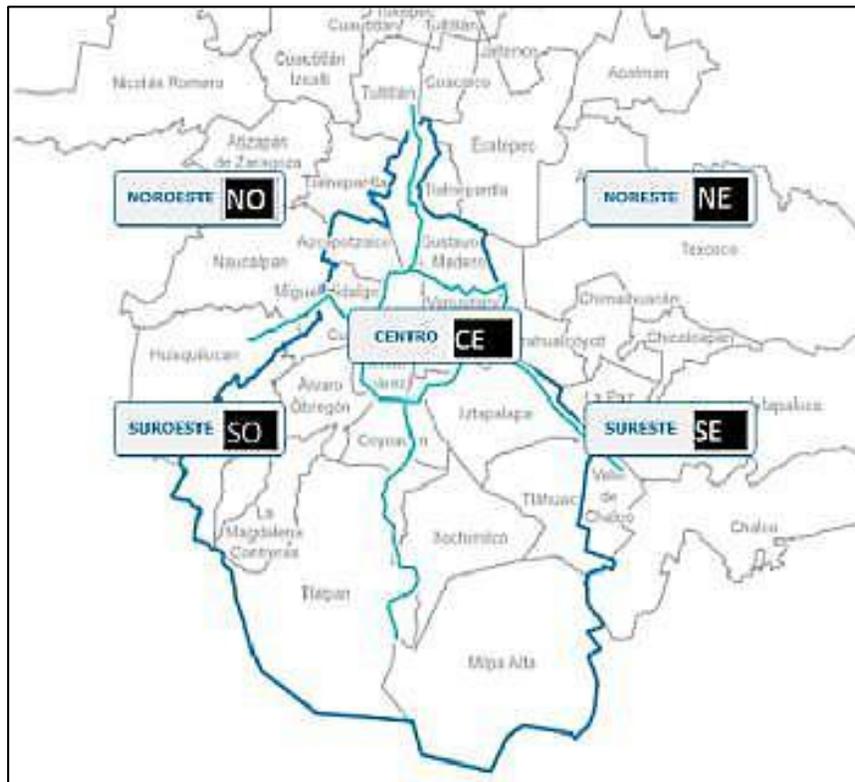


Figura 2.4. Zonas de estudio (Fuente: SIMAT)

2.2.2 Usos del suelo en la Cd. de México.

En la Cd. de México tiene dos tipos de uso del suelo predominantes: el urbano básicamente hacia el centro-norte y el rural en la porción sur, oeste y con vestigios en lo correspondiente a las Sierras de Guadalupe y Santa Catarina (Figura 2.5). El primero cubre cerca de 45% del territorio de la entidad y el segundo el 55% restante. El área rural tanto en lo que se refiere a zonas forestales, pecuarias y agrícolas es considerada como reserva ecológica.

En la Cd. de México existe agricultura de riego y de temporal. La primera se ha desarrollado principalmente por la existencia histórica de los lagos de Chalco y Xochimilco, en los vestigios que quedan de ellos es clara la disminución de los contenidos de agua en el subsuelo; así como, la contaminación del agua disponible para la agricultura, sobre todo en los canales de Xochimilco.

La agricultura de temporal se lleva a cabo en las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac principalmente. Los nopales de amplia comercialización a nivel nacional, son producidos principalmente en Milpa Alta.

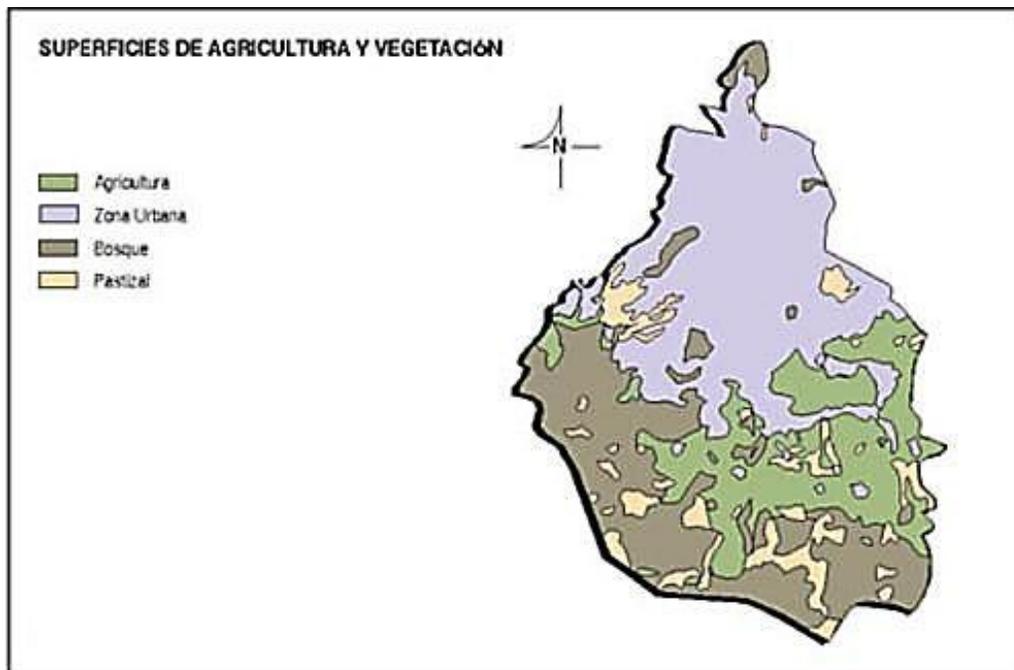


Figura 2.5. Usos de suelo y diferentes tipos de superficie (Fuente: INEGI, 2006)

2.2.3 Condiciones meteorológicas típicas.

Las características geográficas así como las climáticas de la Cd. de México son considerados como uno de los principales factores que condicionan la acumulación o la dispersión de los contaminantes, los cuales se encuentran en el aire y estos en su mayoría son generados por medio de los procesos antropogénicos, aunado a esto el clima y el estado del tiempo en pequeña escala o microclima presente en la Cd. de México, tiene considerables influencias que afectan el aire así como el comportamiento de los contaminantes.

La ubicación geográfica del Valle de México es motivo para que sea impactado por vientos ubicados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas meteorológicos ocasionan estabilidad atmosférica que inhibe el movimiento ascendente del aire y, por lo tanto, también inhibe la formación de nubosidad, dando lugar a que una gran cantidad de radiación solar incida sobre la superficie terrestre, haciendo que la atmósfera sea altamente fotoreactiva. De esta manera, la radiación solar constituye un primer elemento básico para que los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno reaccionen y se lleve a cabo la formación de ozono troposférico y otros gases oxidantes.

2.2 Climas en la Cd. de México.

Encontrándose a una altitud superior a 2,000 msnm, la Cd. de México cuenta con cuatro tipos de clima (Figura 2.6 y Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Simbología y clasificación de climas. [Fuente: INEGI, Carta de Climas]

Tipos de Climas			
Tipo	Características	Símbolo	% de la superficie
Templado Subhúmedo	Con lluvia en verano	C(w)	57
Semifrío Húmedo	Con abundantes lluvias en verano	C(E)(m)	10
Semifrío Subhúmedo	Con lluvias en verano	C(E)(w)	23
Semiseco Templado	/	BS1k	10

- **Templado Subhúmedo (C (w)):** Ocupa más de la mitad de la superficie, con lluvias en verano, se caracteriza por presentar una temperatura media anual que varía de 12° a 18° C, su grado de humedad es intermedio y tiene una temporada lluviosa en verano, la precipitación total anual se encuentra en rango de menos de 600 mm en el noroeste a menos de 1,500 mm en la porción occidental, siendo muy propicio para el desarrollo de asentamientos humanos.

- **Semifrío Húmedo (C (E) (m)):** Se localiza hacia el sureste de la Cd. de México, con abundantes lluvias en verano; se considera la región más húmeda de la capital. En esta zona se presentan temperaturas medias anuales entre 5° y los 12° y una precipitación total anual en un rango mayor a 1,200 mm al año.
- **Semifrío Subhúmedo (C (E) (w)):** Se localiza hacia el sur y suroeste de la Cd. de México, con lluvias en verano; su grado de humedad es alto y tiene una temporada lluviosa en el verano; mantiene temperaturas medias anuales entre 5° y 12° C y su precipitación total anual se encuentra en un rango de 1,200 a menos de 1,500 milímetros.
- **Clima Semiseco Templado (BS1k):** Localizado hacia la zona noreste y tiene como límite el Vaso de Texcoco, ocupando sólo 10.0% del territorio. Este clima es semiseco templado, con lluvias en verano, temperaturas medias anuales entre 12° y 18° C, con una precipitación total anual menor de 600 mm.

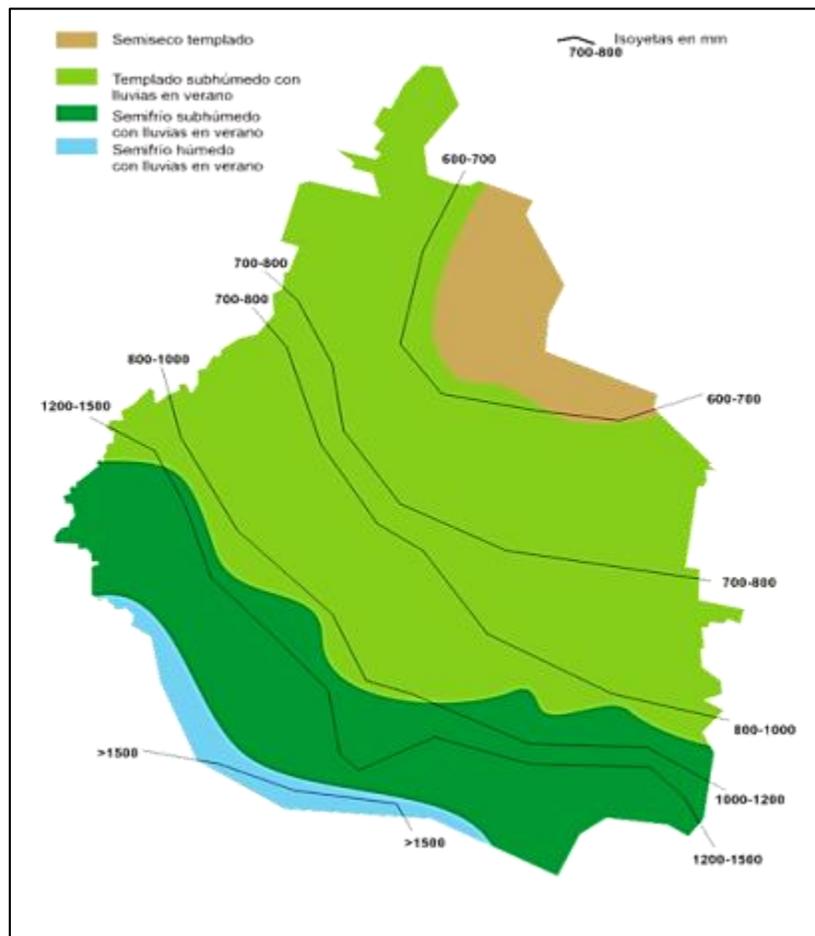


Figura 2.6. Localización de los diferentes climas en la Cd. de México (Fuente: INEGI)

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de clima se puede observar que en diferentes delegaciones se presenta el mismo tipo clima, y en algunas delegaciones se presentan más de dos tipos de clima, esto se detalla en la (Tabla 2.2)

Tabla 2.2. Tipo de clima presenten en cada delegación de la Cd. de México

Delegaciones del Cd. de México	Tipo de Climas Presente
Álvaro Obregón	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo
Azcapotzalco	Templado Subhúmedo
Benito Juárez	Semiseco Templado/ Templado Subhúmedo
Coyoacán	Templado Subhúmedo
Cuajimalpa	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo
Cuauhtémoc	Semiseco Templado/ Templado Subhúmedo
Gustavo A. Madero	Semiseco Templado/ Templado Subhúmedo
Iztacalco	Semiseco Templado/ Templado Subhúmedo
Iztapalapa	Semiseco Templado/ Templado Subhúmedo
Magdalena Contreras	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo/Semifrío Húmedo
Miguel Hidalgo	Templado Subhúmedo
Milpa Alta	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo/Semifrío Húmedo
Tlalpan	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo/Semifrío Húmedo
Tláhuac	Templado Subhúmedo
Venustiano Carranza	Semiseco Templado
Xochimilco	Semifrío Subhúmedo/Templado Subhúmedo

2.3 Variables meteorológicas superficiales

La posición latitudinal de la Cd. de México ocasiona que reciba una radiación solar intensa lo cual acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos como el ozono y de partículas suspendidas en el aire. Aunado a esto, su ubicación en el centro del país permite que a lo largo del año, la Cd. de México resulte afectada por sistemas de vientos, los cuales mantienen el cielo despejado y aumentan la capacidad fotoquímica de la atmósfera; además, estos sistemas inducen a que la velocidad de los vientos disminuya cerca de la superficie del suelo, situación que inhibe el movimiento vertical y horizontal del aire, dificultando la dispersión de los contaminantes.

Con la intención de mostrar la distribución de la temperatura ambiente en la Cd. de México, a continuación, se presentan algunas tablas y gráficas que representan las condiciones térmicas anuales correspondientes al año 2014.

Para poder realizar el presente trabajo se ocuparon los datos recolectados de algunas de las estaciones de monitoreo meteorológico del SIMAT, para así poder obtener datos más confiables, el SIMAT cuenta con 16 estaciones disponibles en la Cd. de México así como de 14 estaciones ubicadas en el Estado de México, de estas se seleccionaron 11 estaciones las cuales están repartidas en las 5 zonas de estudio, las estaciones seleccionadas cuentan con el porcentaje más alto de toma de mediciones correctas de su zona de estudio correspondiente, las estaciones seleccionadas son (Figura 2.7):

- **Zona Noroeste (NO.):** FES Acatlán (FAC) y Tlalnepantla (TLA).
- **Zona Noreste (NE.):** Nezahualcóyotl (NEZ), San Agustín (SAG) y Montecillo (MON).
- **Zona Centro (CE.):** Hospital General (HGM) y Merced (MER).
- **Zona Suroeste (SO.):** Santa Fe (SFE), Pedregal (PED) y Tlalpan (TPN).
- **Zona Sureste (SE.):** Tláhuac (TAH).

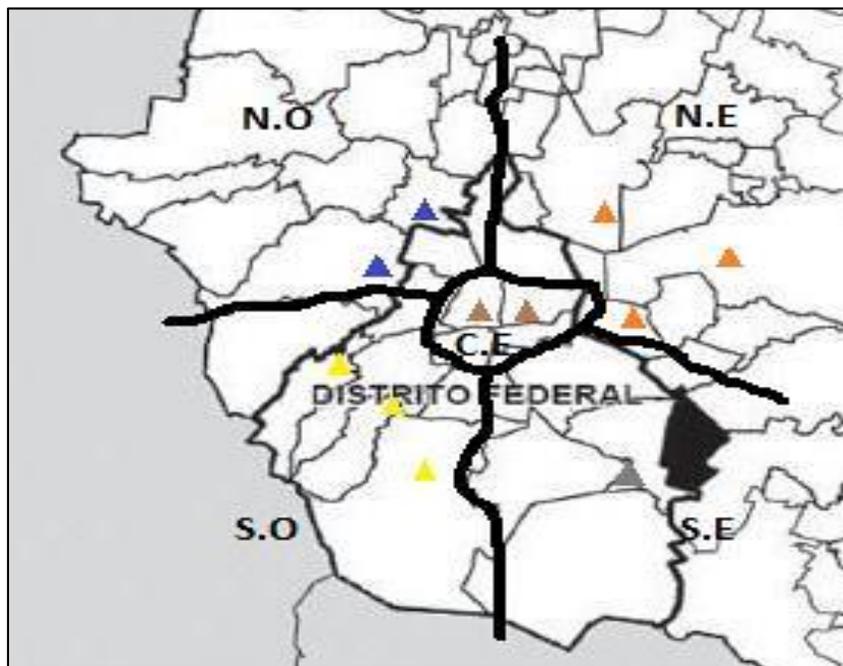


Figura 2.7. Estaciones seleccionadas, estas están indicadas por color según su zona (NO.): Azul, (NE.): Anaranjado, (CE.): Marrón, (SO.): Amarillo y (SE.): Gris.

En la Tabla 2.3 se muestran los datos promedio de la temperatura ambiente, los cuales fueron registrados durante el año 2014.

2.3.1 Temperatura ambiente en la Cd. de México.

Tabla 2.3. Temperatura mínima promedio, máxima promedio y promedio anual por zona durante el año 2014. [Fuente: SIMAT]

ZONA	ESTACION	TEMP. MIN	TEMP. MAX	TEMP. PROM.
NO.	FES Acatlán (FAC)	3.0 °C	33.4 °C	17.12 °C
NO.	Tlalnepantla (TLA)	0.6 °C	29.9 °C	17.0 °C
NE.	Nezahualcóyotl (NEZ)	1.1 °C	29.9 °C	17.25 °C
NE.	Montecillo (MON)	-3.3 °C	29.1 °C	16.06 °C
NE.	San Agustín (SAG)	4.5 °C	30.8 °C	17.60 °C
CE.	Hospital General (HGM)	3.4 °C	30.0 °C	17.82 °C
CE.	Merced (MER)	1.8 °C	29.7 °C	17.71 °C
SO.	Pedregal (PED)	0.1 °C	30.4 °C	15.07 °C
SO.	Santa Fe (SFE)	-0.8 °C	28.7 °C	16.47 °C
SO.	Tlalpan (TPN)	-3.4 °C	28.9 °C	14.22 °C
SE.	Tláhuac (TAH)	-1.3 °C	30.5 °C	15.79 °C
	PROMEDIO ANUAL	0.518 °C	30.118 °C	16.55 °C

La zona que menor temperatura promedio anual presentó, fue la zona Sureste con una temperatura de -1.3 °C, mientras que la zona que presentó el promedio más alto de temperatura máxima fue la zona Noroeste con un promedio anual de 31.65 °C, y la zona que presentó un promedio de temperatura anual más alto fue la zona Centro con una temperatura promedio de 17.77 °C.

2.3 Precipitación pluvial

El promedio de precipitación pluvial, indica que la mayor cantidad de lluvia se presenta en la parte occidental de la Cd. de México, al pie de la sierra Ajusco-Chichinautzin. Esta situación se presenta por el flujo de viento de verano, durante las lluvias más intensas y reforzada por la fuerza del aire que golpea una montaña, rebota y asciende. Debido a la humedad suficiente, ésta se condensa formando nubes y produce la precipitación. El incremento de la precipitación pluvial propicia que descendan los niveles de algunos contaminantes por la inestabilidad atmosférica lo cual favorece una mejor calidad del aire de la zona, puesto que mitiga la generación de partículas contaminantes.

La temperatura promedio anual registrada por zona durante el año 2014 de junio a septiembre, se asocia a la entrada de aire tropical, con alto contenido de humedad procedente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México. Durante estos meses se registra un periodo conocido como canícula, donde hay un intenso calor, con lluvias escasas y normalmente se da en agosto (aunque no siempre se

presenta), durante este año la cantidad de acumulado de precipitación fue de 1214 mm.

2.3.3 Humedad relativa en la Cd. de México

A la humedad relativa se le define como el equivale al porcentaje de humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima cantidad de humedad que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

Uno de los elementos fundamentales de la atmósfera y que juega un papel fundamental en la vida y en la regulación del clima del planeta es el agua. Como se mencionó la humedad atmosférica, es la cantidad de vapor de agua existente en el aire. En las condiciones ambientales que se presentan en la Tierra, el agua es la única sustancia de la atmósfera que puede condensarse o evaporarse. El vapor de agua en la atmósfera provoca una gran cantidad de fenómenos meteorológicos como la lluvia, el rocío, las nubes y la regulación del clima, por citar algunos.

La evaporación, que se realiza a través de los importantes cuerpos de agua como son los océanos, mares, lagos, lagunas, ríos, etc., junto con la transpiración y respiración de las plantas, los seres humanos y animales, son los principales mecanismos encargados de producir la humedad requerida para el ciclo hidrológico en la atmósfera.

Existen varias formas de poder cuantificar la humedad que se presenta en el medio ambiente. El parámetro más conocido es el de HR, que es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire en un momento dado para cierta temperatura con respecto a la cantidad máxima de vapor que puede contener a esa misma temperatura. Una humedad relativa del 100% significa un ambiente saturado a una temperatura específica, cuando la humedad alcanza éste valor se produce condensación.

De manera similar con la temperatura, a continuación, se presenta una serie de tablas mostrando cómo se comportó la humedad relativa superficial en la Cd. de México durante el año 2014.

En la Tabla 2.4 se muestran los datos promedio registrados durante el año 2014 de humedad relativa.

Tabla 2.4. Humedad Relativa mínima promedio, máxima promedio y promedio anual registrados por zona durante el año 2014. [Fuente: SIMAT]

ZONA	ESTACION	HR PROM.
NO.	FES Acatlán (FES)	59.63 %
NO.	Tlalnepantla (TLA)	52.41 %
NE.	Nezahualcóyotl (NEZ)	49 %
NE.	Montecillo (MON)	48.5 %
NE.	San Agustín (SAG)	51.5 %
CE.	Hospital General (HGM)	48.01 %
CE.	Merced (MER)	51.20 %
SO.	Santa Fe (SFE)	58.21 %
SO.	Pedregal (PED)	51.07 %
SO.	Tlalpan (TPN)	58.07 %
SE.	Tláhuac (THA)	53.17 %
PROMEDIO ANUAL		52.79 %

La zona que menor porcentaje de humedad relativa presento fue la zona Suroeste con un promedio del 48.01% de humedad relativa, mientras que la zona que presento el mayor porcentaje de humedad relativa fue la zona Suroeste con un promedio del 59.63% de humedad relativa y el promedio anual de humedad relativa fue del 52.79%

2.4 Contaminantes existentes y fuentes de emisión, en la Cd. de México

La concentración de contaminantes depende de factores meteorológicos como la temperatura, la velocidad del viento que interaccionan con la topografía local del lugar en cuestión, favoreciendo o no la dispersión de las impurezas de la atmósfera. Cuando una capa de aire caliente se encuentra bajo una capa de aire frío, se produce una inversión térmica, aun cuando la temperatura suele decrecer con la altitud; entonces, la mezcla atmosférica se retarda y los contaminantes se acumulan cerca del suelo. Las inversiones pueden durar más cuando un sistema anticiclónico se vuelve estacionario o se mueve muy lentamente, provocando vientos de baja intensidad y gran estabilidad en su entorno. Los efectos se manifiestan muy claramente con la disminución de la visibilidad debido a la presencia de diminutas partículas suspendidas en el aire, además de posibles malos olores que pueden ser percibidos en el ambiente.

Los contaminantes atmosféricos que mayor influencia tienen en el proceso de la corrosión atmosférica son: dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfhídrico (H₂S), bióxido de carbono (CO₂), amoníaco (NH₃), ozono (O₃), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), y formaldehído

(HCHO); además de que en forma de partículas se tiene al cloruro de sodio (NaCl), sulfatos de amonio ((NH₄)₂SO₄), cloruro de amonio (NH₄Cl) y sulfato de sodio (Na₂SO₄).

De estos contaminantes algunos se encuentran en el aire del Cd. de México el cual ha sido considerado por varias décadas como uno de los más contaminados debido a las emisiones provenientes de los sectores, transporte, industria, servicios, doméstico y otros. Los principales contaminantes atmosféricos presentes en el aire de la Cd. de México son: el ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) [SIMAT, 2006].

Para realizar la investigación correspondiente a la concentración de los contaminantes, se trabajó con datos recolectados de otras estaciones de monitoreo meteorológico disponibles del SIMAT, para así poder lograr obtener datos más confiables de cada zona de estudio, las estaciones que se tomaron en cuenta para la medición de los valores de los contaminantes son las siguientes (Figura 2.8):

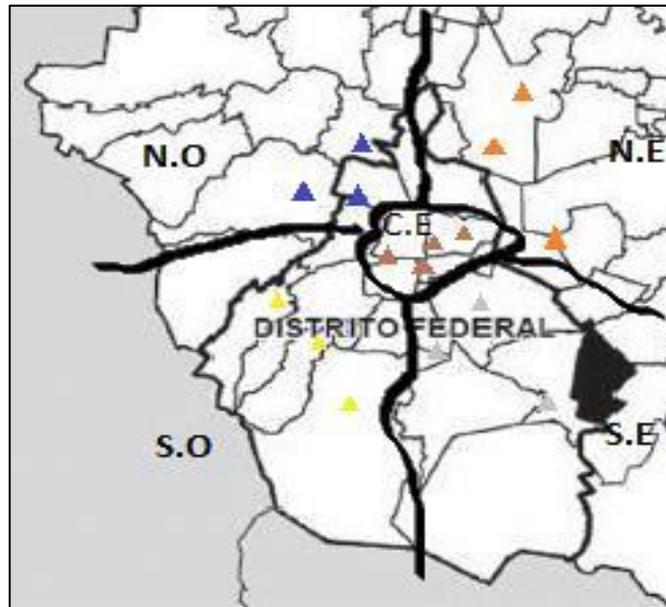


Figura 2.8. Estaciones seleccionadas, para la medición de los niveles de contaminantes, estas están indicadas por color según su zona, (N.O.): Azul, (N.E.): Anaranjado, (C.E.): Marrón, (S.O.): Amarillo y (S.E.): Gris.

2.4.1 Concentraciones de los principales contaminantes en la Cd. de México.

La contribución de emisiones contaminantes por sector (precursores de ozono y partículas) en la Cd. de México durante el 2014, se muestra en la Figura 2.9.

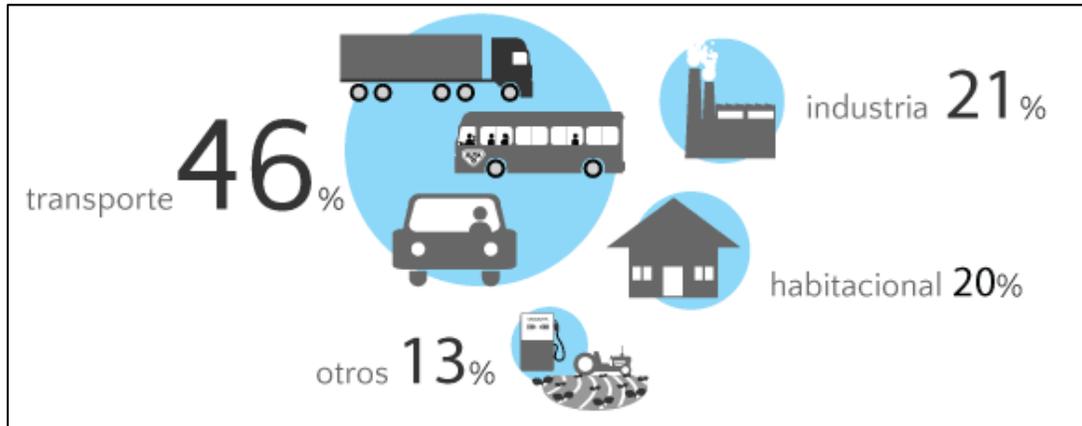


Figura 2.9 Porcentaje de emisiones producidas por diferentes sectores. [SIMAT, 2014]

Ozono (O₃)

Es un alótropo del oxígeno mucho más reactivo que el oxígeno diatómico (O₂). El ozono es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, es inestable cuando se encuentra en altas concentraciones.

El ozono es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida. La mayor parte del ozono se encuentra en la parte superior de la atmósfera, en una región de la estratósfera a más de 10 km de la superficie, llamada ozonósfera en donde se concentra más del 90% del ozono atmosférico y forma una capa que limita el ingreso de radiación ultravioleta proveniente del Sol. Al nivel de la superficie, el ozono es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales.

En México la Norma Oficial Mexicana (**NOM-020-SSA1-1993**) recomienda concentraciones menores a 110 ppb para el promedio de 1 hora, y menores a 80 ppb para el promedio de 8 horas (evaluado como el quinto máximo anual). En la Tabla 2.5 se indican las concentraciones anuales correspondientes al año 2014 de este contaminante.

Tabla 2.5. Concentración mínima promedio, máxima promedio y promedio anual de (O₃) registrado durante el año 2014. [Fuente: SIMAT]

ZONA	ESTACION	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO
NO.	Camarones (CAM)	1 ppb	152 ppb	22.90 ppb
NO.	FES Acatlán (FAC)	1 ppb	163 ppb	27.67 ppb
NO.	Tlalnepantla (TLA)	1 ppb	156 ppb	25.68 ppb
NE.	Los Laureles (LLA)	1 ppb	159 ppb	29.68 ppb
NE.	Nezahualcóyotl (NEZ)	1 ppb	180 ppb	28.48 ppb
NE.	Xalostoc (XAL)	1 ppb	150 ppb	26.17 ppb
CE.	Hospital General (HGM)	1 ppb	161 ppb	28.40 ppb
CE.	Iztacalco (IZT)	1 ppb	174 ppb	25.91 ppb
CE.	Merced (MER)	1 ppb	175 ppb	25.07 ppb
CE.	San Juan de Aragón (SJA)	1 ppb	159 ppb	24.92 ppb
SO.	Pedregal (PED)	1 ppb	173 ppb	31.23 ppb
SO.	Santa Fe (SFE)	1 ppb	153 ppb	31.88 ppb
SO.	Tlalpan (TPN)	1 ppb	145 ppb	29.88 ppb
SE.	Tláhuac (TAH)	1 ppb	179 ppb	33.24 ppb
SE.	UAM Xochimilco (UAX)	1 ppb	184 ppb	31.09 ppb
SE.	UAM Iztapalapa (UIZ)	1 ppb	162 ppb	27.51 ppb
	PROMEDIO ANUAL	1 ppb	164.062 ppb	28.11 ppb

La concentración mínima promedio de ozono es la misma para todas las zonas, la concentración de este contaminante va disminuyendo conforme va anocheciendo, la presencia de este contaminante es mínima por la noche y comienza a aumentar conforme va amaneciendo, la zona que mayor concentración máxima promedio de ozono presentó fue la zona Sureste con un promedio de 175 ppb, la zona con mayor concentración promedio anual es la zona Suroeste con una concentración promedio de 31 ppb.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un compuesto químico. Es un gas de color rojo pajizo y tiene un olor irritante. El NO₂ es un gas de particular importancia en la atmósfera, no solo por sus efectos en la salud sino también porque absorbe luz visible y contribuye a la disminución de la visibilidad, tiene un resultado directo en el efecto de cambio climático y junto con el óxido nítrico participa en la capacidad oxidativa de la atmósfera controlando la producción de radicales incluyendo el radical hidroxilo y desempeña un papel crítico en la producción de ozono en la tropósfera debido a que la fotólisis del NO₂ es el factor inicial de la formación fotoquímica del ozono en ambientes contaminados y no contaminados. El dióxido de nitrógeno está involucrado en la formación de nuevos contaminantes que contribuyen a la producción de aerosoles ácidos, nitratos, y diversos compuestos orgánicos nitrogenados.

La Norma Oficial Mexicana (**NOM-023-SSA1-1993**) establece un límite para el dióxido de nitrógeno (NO₂) de 210 ppb para el promedio de una hora, el cual no debe excederse más de una vez al año.

Con la intención de mostrar la distribución de la concentración de NO₂ presente en la Cd. de México, la Tabla 2.6 muestra datos que representan las concentraciones anuales correspondientes al año 2014 de este contaminante.

Tabla 2.6. Concentración mínima promedio, máxima promedio y promedio anual de (NO₂) registrado durante el año 2014. [Fuente: SIMAT]

ZONA	ESTACION	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO
NO.	Camarones (CAM)	4 ppb	146 ppb	32.71 ppb
NO.	FES Acatlán (FAC)	2 ppb	111 ppb	26.97 ppb
NO.	Tlalnepantla (TLA)	7 ppb	127 ppb	33.35 ppb
NE.	Los Laureles (LLA)	3 ppb	101 ppb	27.42 ppb
NE.	Nezahualcóyotl (NEZ)	4 ppb	123 ppb	26.97 ppb
NE.	Xalostoc (XAL)	5 ppb	152 ppb	32.72 ppb
CE.	Hospital General (HGM)	2 ppb	147 ppb	34.05 ppb
CE.	Iztacalco (IZT)	3 ppb	131 ppb	32.11 ppb
CE.	Merced (MER)	6 ppb	138 ppb	36.52 ppb
CE.	San Juan de Aragón (SJA)	2 ppb	118 ppb	30.31 ppb
SO.	Pedregal (PED)	2 ppb	103 ppb	24.90 ppb
SO.	Santa Fe (SFE)	3 ppb	106 ppb	23.67 ppb
SO.	Tlalpan (TPN)	1 ppb	78 ppb	17.23 ppb
SE.	Tláhuac (TAH)	1 ppb	78 ppb	18.43 ppb
SE.	UAM Xochimilco (UAX)	2 ppb	120 ppb	26.03 ppb
SE.	UAM Iztapalapa (UIZ)	4 ppb	134 ppb	29.73 ppb
	PROMEDIO ANUAL	3.19 ppb	119 ppb	28.32 ppb

La zona que presento una menor concentración promedio de dióxido de nitrógeno (NO₂) fue la zona Suroeste con un promedio de 2 ppb, mientras que la zona que mayor concentración máxima promedio registro fue la zona Centro con un promedio de 133.5 ppb, y la zona que presento una mayor concentración promedio anual de (NO₂) fue la zona Centro con un promedio de 33.25 ppb.

Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro, de olor irritante y soluble en agua, que se forma durante la combustión de compuestos que contienen azufre como la gasolina, el carbón, el diésel, etc. La exposición aguda a altas concentraciones en periodos cortos de tiempo, puede ocasionar dificultad para respirar e irritación severa de las vías respiratorias, mientras que una exposición crónica al

contaminante puede vulnerar el sistema inmunológico, ocasionar enfermedades respiratorias como la bronquitis y agravar enfermedades cardiovasculares y respiratorias preexistentes.

En México la Norma Oficial Mexicana (**NOM-022-SSA1-2010**) de dióxido de azufre (SO₂) recomienda concentraciones menores a 110 ppb como promedio máximo de 24 horas y 200 ppb como el segundo máximo de los promedios de 8 horas. Además recomienda un límite de exposición crónica de 25 ppb como promedio anual.

Con la intención de mostrar la distribución de la concentración de Dióxido de Azufre (SO₂) presente en la Cd. de México, la tabla 2.7 presenta los datos que muestran las concentraciones anuales correspondientes al año 2014 de este contaminante.

Tabla 2.7. Concentración mínima promedio, máxima promedio y promedio anual de (SO₂) registrado durante el año 2014. [Fuente: SIMAT]

ZONA	ESTACION	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO
NO.	Camarones (CAM)	1 ppb	192 ppb	8.10 ppb
NO.	FES Acatlán (FAC)	1 ppb	237ppb	7.45 ppb
NO.	Tlalnepantla (TLA)	1 ppb	232 ppb	9.70 ppb
NE.	Los Laureles (LLA)	1 ppb	224 ppb	7.69 ppb
NE.	Nezahualcóyotl (NEZ)	1 ppb	253 ppb	5.17 ppb
NE.	Xalostoc (XAL)	1 ppb	209 ppb	7.55 ppb
CE.	Hospital General (HGM)	1 ppb	151 ppb	6.96 ppb
CE.	Iztacalco (IZT)	1 ppb	223 ppb	6.41 ppb
CE.	Merced (MER)	1 ppb	226 ppb	6.48 ppb
CE.	San Juan de Aragón (SJA)	1 ppb	208 ppb	5.67 ppb
SO.	Pedregal (PED)	1 ppb	151 ppb	4.50 ppb
SO.	Santa Fe (SFE)	1 ppb	178 ppb	4.49 ppb
SO.	Tlalpan (TPN)	1 ppb	71 ppb	3.17 ppb
SE.	Tláhuac (TAH)	1 ppb	69 ppb	3.51 ppb
SE.	UAM Xochimilco (UAX)	1 ppb	247 ppb	3.82 ppb
SE.	UAM Iztapalapa (UIZ)	1 ppb	234 ppb	4.93 ppb
	PROMEDIO ANUAL	1 ppb	194.1 ppb	5.98 ppb

(Fuente: SIMAT).

La mínima concentración promedio que se presento es la misma para todas las zonas, mientras que la zona con mayor concentración promedio anual de (SO₂) es la zona Noreste con un promedio de 228.67 ppb, y la zona que presento una concentración promedio mayor fue la zona Noroeste con un promedio de 8.42 ppb.

Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro, incoloro e insípido, poco soluble en agua, producido durante la combustión incompleta de compuestos que contienen carbono, principalmente en los motores de combustión interna, incendios forestales y quemas agrícolas.

Es altamente tóxico para los seres humanos, ya que tiene una gran afinidad con la hemoglobina y al reaccionar con ella reduce considerablemente la cantidad de oxígeno necesario para el funcionamiento de nuestro organismo, provoca síntomas que van desde dolor de cabeza hasta la muerte en el caso de una exposición a altas concentraciones durante periodos relativamente cortos.

La Norma Oficial Mexicana (**NOM-021-SSA1-1993**) establece un límite para la concentración en aire ambiente de 11 ppm, para un promedio de 8 horas.

Partículas Suspendidas

En contaminación atmosférica se reconoce como partícula a cualquier material sólido o líquido con un diámetro que oscila entre 0.0002 y 500 micrómetros (μm). En conjunto se designan como partículas suspendidas totales (PST).

Clasificación

Las partículas se clasifican de diferentes maneras: por su efecto en la salud humana, como producto derivado de un proceso natural o antropogénico y por sus características físicas.

Partículas sedimentables ($> 10 \mu\text{m}$). Son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en periodos cortos de tiempo.

Partículas menores a 10 micrómetros PM10 ($\leq 10 \mu\text{m}$). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a $10 \mu\text{m}$. Se consideran perjudiciales para la salud debido a que no son retenidas por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio.

Partículas menores a 2.5 micrómetros PM2.5 ($\leq 2.5 \mu\text{m}$). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a $2.5 \mu\text{m}$. Representan un mayor riesgo para la salud humana.

Las partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) son generadas principalmente por la suspensión del polvo del suelo, la minería y el tráfico de las carreteras, mientras que las partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) son emitidas durante la combustión de diésel, combustóleo o carbón y producidas a partir de la condensación de los gases de combustión de los vehículos a gasolina. Es relevante mencionar que en el caso de las ($PM_{2.5}$) hay una importante contribución de las partículas secundarias que se forman en la atmósfera a través de procesos fotoquímicos, y también pueden ser transportadas desde otras ciudades o fuentes industriales remotas.

Producto derivado de un proceso natural o antropogénico

- **Polvos.** Son partículas sólidas pequeñas (de 1 a 1,000 μm), se forman por fragmentación en procesos de molienda, cribado, explosiones y erosión del suelo. Se mantienen en suspensión y se desplazan mediante corrientes de aire.
- **Humo.** Son partículas sólidas finas que resultan de la combustión incompleta de materiales orgánicos como carbón, madera y tabaco. Su diámetro oscila en el intervalo de 0.5 a 1 μm .
- **Cenizas.** Son partículas finas no combustibles que provienen de la combustión del carbón. Su tamaño oscila entre 1 y 1,000 μm . Entre sus componentes se encuentran sustancias inorgánicas de metales, óxidos de silicio, aluminio, fierro y calcio. Al depositarse en superficies actúan como abrasivos.
- **Aerosoles.** Un aerosol ambiental es una suspensión en el aire de partículas finas líquidas o sólidas. Se dividen en aerosoles primarios y secundarios. Los primarios son partículas relativamente estables que se emiten directamente a la atmósfera, mientras que los secundarios son partículas que se forman en procesos de conversión de gas a partícula. Miden entre 0.01 y 100 μm de diámetro.

2.4.2 Normas oficiales mexicanas de salud ambiental (NOM).

Con el propósito de proteger la salud humana contra los daños provocados por la contaminación del aire, la Secretaría de Salud cuenta con las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental (NOM). Las NOM establecen los valores límites de los contaminantes del aire para la protección de la salud de la población. Estas normas aplican al territorio nacional [SIMAT. 2012].

Las primeras NOM se publicaron en noviembre de 1982, basadas en los resultados de algunos estudios epidemiológicos realizados en México por grupos

de investigación que estudiaron la asociación entre los contaminantes del aire y la salud humana, sin embargo, estas NOM contenían deficiencias en sus especificaciones. Lo anterior motivó que entre 1993 y 1994 se realizara una revisión de las NOM, que definió nuevos límites para monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, dióxido de azufre y partículas menores a 10 micrómetros, a continuación se muestra la Tabla 2.8. Con las Normas Oficiales Mexicanas vigentes durante el 2014.

Tabla 2.8. Normas Oficiales Mexicanas

Contaminante	Clave NOM	Especificaciones	Última actualización
Ozono (O ₃)	NOM-SSA1-020-1993	110 ppb Promedio Horario 80 ppb promedio móvil de 8 horas	30/10/02
Monóxido de carbono (CO)	NOM-SSA1-021-1993	11 ppm Promedio móvil de 8 horas	23/12/94
Dióxido de azufre (SO ₂)	NOM-SSA1-022-1993	110 promedio de 24 horas 110 ppb Promedio móvil de 8 horas, segundo máximo 25 ppb Promedio anual	8/09/10
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	NOM-SSA1-023-1993	210 ppb Promedio horario	23/12/94
Partículas suspendidas totales (PST)	NOM-SSA1-024-1993	210 µg/m ³ Promedio de 24 horas, percentil 98	26/09/05
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	NOM-SSA1-024-1993	120 µg/m ³ Promedio de 24 horas, percentil 98 50 µg/m ³ Promedio anual	26/09/05
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	NOM-SSA1-024-1993	65 µg/m ³ Promedio de 24 horas, percentil 98 15 µg/m ³ Promedio anual	26/09/05
Plomo	NOM-SSA1-026-1993	210 µg/m ³ Promedio trimestral	23/12/94

CAPÍTULO 3

Metodología para evaluación del grado de corrosividad atmosférica y desarrollo del proyecto con Arduino

3.1 Antecedentes.

La corrosión de los componentes o partes de equipo electrónico son con frecuencia más críticos que la de otros objetos, ya que no se demanda una sensible pérdida de masa [Yukonovich Electronics, 2001] Sin embargo la reducción del espacio entre los elementos presentes en los circuitos y el tamaño de estos, así como el incremento de la velocidad de operación y el de los niveles de las señales eléctricas, dan origen a que el diseño de los elementos sean más complejos y a su vez de menor tamaño provocando con ello que sean más susceptibles a la presencia de la corrosión. La gran cantidad de conexiones que hay entre los componentes genera una resistencia eléctrica y a su vez la falta de algunos voltajes, estas son causas para que los componentes no operen de manera correcta. Un equipo electrónico en la industria que presenta las fallas antes mencionadas no realiza las operaciones adecuadamente originando defectos y causando pérdidas económicas.

El empleo de los dispositivos electrónicos en aplicaciones y condiciones críticas, requieren que sea necesario tener una mayor entendimiento en la interacción de estos con el medio ambiente en el que se encuentran, donde se genera la corrosión y es donde los equipos tienden a fallar.

En general se reconoce que las fallas en equipos electrónicos a causa de los efectos ambientales se deben fundamentalmente a [Sánchez F, 2014]:

- Pérdida de la continuidad por presencia de corrosión en las pistas o elementos conductores.
- Formación de depósitos no conductores en los componentes de las tarjetas controladoras (efecto de miniaturización).
- Cortocircuitos, productos de partículas depositadas sobre las pistas conductoras, por condensación de humedad sobre estas o por la formación de depósitos filiformes.

La problemática de la corrosión en los equipos electrónicos se presenta, como se mencionó, para pérdidas mínimas de material, esto quiere decir que no se necesita observar visualmente un problema en el equipo electrónico para poder

definir la existencia de este en el equipo, esto hace que sea necesario poder examinar con mayor detalle la presencia de productos de la corrosión, para esto es necesario contar con herramientas especializadas tales como la microscopia electrónica de barrido.

En la industria electrónica, se utilizan diversos metales, siendo los más comunes:

- Aluminio y cobre ocupados en las pistas
- Estaño, oro, plata y níquel ocupado comúnmente como recubrimientos
- Galio
- Germanio
- Hierro
- Platino
- Silicio

Algunos autores se refieren a los siguientes tipos de corrosión en componentes electrónicos [Ortiz A, 2004], a continuación, se hace mención de algunos tipos, brevemente:

- a) **Corrosión anódica:** Debido a que el espacio que existe entre los circuitos integrados y diferentes elementos, cuando un potencial es aplicado se producen gradientes del orden de 10^5 , 10^6 V/cm, los cuales aceleran las reacciones electroquímica y la migración iónica.
- b) **Corrosión catódica:** Metalizados de aluminio trabajando en polaridad negativa se pueden corroer en la presencia de humedad bajo condiciones alcalinas.
- c) **Migración metálica electrolítica:** Detectada en los conectores mecánicos, este problema se hace presente en las aleaciones de plata bajo las condiciones de humedad y campo eléctrico, bajo estas condiciones se forman dendritas, las cuales crecen y eventualmente provocan cortocircuitos.
- d) **Deterioro a través de discontinuidades en el recubrimiento:** Para prevenir que se lleguen a pegar los conectores y contactos eléctricos es usual que estos sean recubiertos con un metal noble como el oro. Como estos recubrimientos no son uniformes entonces el sustrato puede presentar corrosión en las discontinuidades.
- e) **Corrosión galvánica:** Este fenómeno se hace presente cuando dos materiales distintos como lo son el aluminio y el oro los cuales se encuentran presentes en los dispositivos electrónicos, tal como sucede en los circuitos integrados, los polímeros ocupados para el empaque o encapsulados para los circuitos son porosos o estos se llegan a fracturar,

esta situación que en combinación con la humedad del ambiente da lugar a un efecto galvánico entre los diferentes componentes metálicos presentes dentro del circuito.

3.1.1. Consideraciones previas.

Una de las cuestiones fundamentales en el estudio de corrosión es cómo se puede determinar ésta. Para ello existen varios ensayos normalizados por diferentes organismos oficiales. La normalización de ensayos es de gran utilidad, ya que proporciona un marco de comparabilidad de resultados, pero estos no dejan de estar exentos de ciertos inconvenientes tales como:

- Dificultad de correlación de resultados del ensayo con los de la realidad.
- Dificultad de transposición de escalas temporales.
- Dificultad de comparar resultados obtenidos con diferentes normas.

En este apartado se explican los principales métodos de evaluación de la corrosión, como se realiza el ataque en los ensayos y cómo se categorizan los resultados. Finalmente se nombran algunos de los múltiples ensayos normalizados relacionados con la corrosión tal es el caso de la normativa ISO 9223 la cual nos proporciona como determinar la corrosividad ambiental en función de la velocidad de corrosión determinada en un espécimen metálico estándar.

3.1.2 Parámetros a considerar para la realización de ensayos acelerados.

Para determinar el tipo de ataque óptimo es necesario conocer adecuadamente el ambiente al que el metal está expuesto. Sobre la base de los ensayos que se realizan en el laboratorio, se pueden llegar a establecer las condiciones ambientales más fielmente parecidas a la realidad y, por tanto, estudiar el comportamiento de un metal o varios metales en este medio. Los principales tipos de ataque son:

- Evaporación salina intermitente alternada con ciclos de humedad: El ensayo se realiza en una cámara climática dónde se pueden programar humedades y temperaturas.
- Inmersión alternada en soluciones ácidas y secado más ciclos de temperaturas alternadas.

Para el presente trabajo se realiza una variación del método de vaporización salina, en el cual se alternan ciclos de humedad y temperatura con la inyección de diferentes tipos de gases contaminantes.

Uno de los métodos más utilizados, por su facilidad y porque permite la cuantificación del fenómeno, es el de medida de la pérdida de peso (Ensayo Gravimétrico). Como su nombre indica, este método consiste en determinar la pérdida de peso que ha experimentado un determinado metal o aleación en contacto con un medio corrosivo. A partir de la pérdida de peso se puede determinar la velocidad de corrosión. Otros métodos para evaluar la corrosión son mediante la dimensión de la superficie corroída y la intensidad de corriente. La norma ISO 9223 nos proporciona una estimación del ambiente al que se encuentra expuesta la estructura dependiendo de la velocidad de corrosión y del metal en cuestión.

3.1.3 Norma ISO 9223 (1992).

La norma ISO 9223 contempla la clasificación de los ambientes según las categorías de corrosividad del acero carbono en función de la relación polución/humedad con la acción combinada del cloro y el azufre. En la norma se hace mención de 6 tipos de ambientes y sus correspondientes grados de corrosividad a tener en cuenta, los cuales van desde un nivel bajo y medio y severo, en la **Tabla 3.1** se muestran estos datos.

Tabla 3.1: Clasificación de los tipos de ambientes y su grado de corrosividad (ISO 9223).

Abreviatura	Tipo de Ambiente	Grado de Corrosividad
RS	Ambiente rural seco	Bajo
RH	Ambiente rural húmedo	Medio
IS	Ambiente industrial seco	Medio
IH	Ambiente industrial húmedo	Severo
M	Ambiente marino	Severo
IM	Ambiente marino e industrial	Severo

Estos grados son coincidentes con la norma ISO 9223, la cual efectúa además una ponderación que va de la C1 a la C5, y con la norma CEI, cuya ponderación se corresponde con una valoración en orden numérico creciente del 1 al 4.

3.1.3.1 Categorización de la Atmósfera.

Cómo se especifica en la norma ISO 9223 (1992) existen cinco categorías para clasificar el grado de corrosividad de una atmósfera o ambiente (C1, C2, C3, C4,

C5, de menor a mayor grado). Ésta clasificación se basa en tres factores clave en la corrosión, como son la salinidad del aire, la contaminación por sulfatos y el tiempo de exposición al agua. Ésta clasificación se usa de forma cualitativa para evaluar técnica y económicamente el daño producido en una estructura metálica en un ambiente concreto y poder determinar de forma racional las medidas protectoras.

En este apartado se clasificarán algunos de los principales ensayos de corrosión de uno de los principales organismos como lo son las normas ASTM, esto se representa en la Tabla 3.2.

3.1.4.1 Normas ASTM.

Tabla 3.2. Normas ASTM de corrosión

Código	Título	Año	Material al que se aplica	Observaciones
ASTM B117-09	“Standard Practice for Operating Salt Spray Fog Apparatus”	2009	Varios	Ensayo para evaluar la corrosión utilizando una cámara climática.
ASTM C876 - 09	“Standard Practice for Operating Salt Spray Fog Apparatus”	2009	Acero	Adecuado para evaluar en servicio y para su uso en el desarrollo de futuras investigaciones.
ASTM G16-95	“Standard Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data”	2004	Varios	Guía que muestra como poder aplicar el análisis estadístico de los datos de corrosión.
ASTM G31-72	“Standard Practice for Laboratory immersion corrosion testing of metals.”	2004	Varios	Especifica un ensayo para la determinar la corrosión de los metales en el laboratorio, mediante la inmersión de los metales en diferentes soluciones.
ASTM G44-99	“Standard Practice for Exposure of Metals and alloys by alternate immersion in Neutral 3,5% sodium Chloride Solution.”	2005	Varios	Muestra un método de control de corrosión el cual consiste en sumergir los metales en una solución del 3.5% de cloruro sódico alternando unos ciclos.
ASTM G46-94	“Standard Guide for examination and evaluation of pitting corrosion.”	2005	Varios	Incluye métodos para poder evaluar y examinar la corrosión por picadura.

3.1 Pruebas de corrosión empleadas en la industria electrónica.

En la actualidad algunas de las técnicas que se utilizan para poder hacer la evaluación del fenómeno de la corrosión como se ha mencionado en apartados anteriores son la microscopia de barrido, la cual permite poder hacer una evaluación a mayor detalle del análisis de la superficie de los componentes electrónicos, sin embargo para la evaluación de los dispositivos es recomendable

que también se realicen ensayos que aceleran los procesos de corrosión causados por los efectos ambientales (cámara de simulación acelerada de condiciones ambientales).

Las pruebas aceleradas para simular el efecto de la corrosión, tienen como objetivo poder determinar de una forma más aproximada a las condiciones climáticas de un cierto entorno de trabajo, así como al deterioro que se presentará durante la exposición de un cierto elemento para así proporcionar información que permita encontrar el tiempo de vida real de un producto, así como identificar las causas que propician fallas por corrosión en equipo electrónico [Ortiz A, 2004].

Como se menciona en el apartado anterior se han desarrollado una serie de metodologías para la evaluación, varias de éstas han sido establecidas por la ASTM, todas estas normas tienen la intención de poder permitir la predicción del comportamiento del material o dispositivos.

Con el trabajo de Campbell y Thomas en 1930 [Campbell, 1939], se dio inicio al desarrollo de pruebas ambientales en equipo eléctrico. A lo largo de 70 años se han desarrollado una gran variedad de métodos de ensayos que por lo general incluyen uno o varios de los siguientes contaminantes: SO₂, O₃, NO_x, HCl, NH₃ y H₂S; también considerando a la humedad y temperatura, las cuales pueden permanecer constantes durante el ensayo o variar en forma cíclica. De tal forma es posible simular diferentes condiciones de trabajo.

En un principio se emplearon pruebas con altas concentraciones de un solo gas, como dióxido de azufre o H₂S. Posteriormente se desarrollaron pruebas con mezclas de gases combinados con humedad.

Las pruebas anteriores no presentan una correlación con el servicio real. Son generalmente sobre-simplificaciones del ambiente con condiciones de exposición severas y su empleo se limita al análisis comparativo del comportamiento de materiales y recubrimientos.

3.2 Metodología.

3.2.1 Consideraciones iniciales.

Las condiciones ambientales bajo las cuales un equipo electrónico sufre deterioro significativo tienen características muy singulares, los principios y condiciones que influyen en la corrosión atmosférica juegan un rol muy importante para que se presenten fallas en dispositivos electrónicos.

Como se mencionó en capítulos anteriores se define a la corrosión atmosférica como la degradación que sufren los materiales que están en contacto con el aire, y, por ende, con los constituyentes y contaminantes que se encuentran en éste.

Los factores más importantes para que se presente la corrosión atmosférica son:

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

Tomando en cuenta estos factores se planteó como objetivo el contar con un dispositivo electrónico el cual se encontrara en operación realizando una actividad en este caso tomando mediciones de humedad y temperatura en tiempo real, dentro de la cámara de simulación acelerada, y así este simule un dispositivo que se encuentra realizando una actividad en la industria, para así poder observar cómo afectan las condiciones climáticas del entorno en el que se encuentra el equipo al funcionamiento de este y observar de manera acelerada cómo es que se presenta la corrosión en equipos electrónicos.

Se trabajará bajo las condiciones climáticas presentes en la Cd. de México, como lo son las concentraciones de gases como SO₂ y NO₂ y con los factores climáticos como los son la humedad y la temperatura.

Como se menciona en el apartado anterior, el objetivo es tener un dispositivo capaz de medir los datos de humedad y temperatura, se planteó el poder trabajar con la plataforma Arduino, para lo cual se revisaron y estudiaron las ventajas que ofrecía el trabajar con dicha plataforma.

3.2.2 Plataforma Arduino.

Arduino es una herramienta utilizada para realizar multitud de proyectos entorno a dicha plataforma desde satélites, robots, equipos audiovisuales, instrumentos musicales controlados a través de éste. Dado que es una plataforma económicamente asequible, *openSoftware* y *openHardware* permite tener una herramienta de trabajo de bajo precio, la cual cuenta con fuentes de información en comunidades destinadas al desarrollo. Numerosas instalaciones están dotadas hoy de esta tecnología.

- Arduino permite trabajar con dispositivos sin la necesidad de utilizar soldadores, esta cuenta con entradas y salidas directas.

- Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de estar conectado a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software.
- Utiliza software libre, con ello se puede mejorar los trabajos existentes sin ningún tipo de restricción, con ello se puede replantear el sistema o hacer modificaciones.
- Utilización de *open hardware*, al igual que el caso anterior, si el hardware es libre se puede obtener todo tipo de información y prestaciones que los sistemas que los sistemas comerciales no pueden ofrecer.

Se procedió a investigar los diferentes dispositivos que permitan tomar las mediciones de manera directa y a la vez protegiendo al circuito del ambiente se encontró que la mejor opción sería la fabricación de un sistema basado en el funcionamiento de una estación meteorológica, ya que éstas están en contacto directo con los elementos del ambiente, ya que estos se encuentran protegidos en el interior de ésta, permitiendo así poder obtener los datos deseados. Tomando como base las características físicas de una estación meteorológica, se tendrá al equipo protegido, se procede a desarrollar una estación meteorológica, teniendo como base el uso de la tarjeta Arduino, la estación está compuesta por la tarjeta Arduino y un sensor capaz de medir la temperatura y humedad relativa del ambiente, el sistema se encontrará trabajando dentro de la cámara para ensayos acelerados de corrosión atmosférica (Figura 3.1). El circuito estará protegido por la estructura de la estación meteorológica, lo cual permitirá en un dado caso poder colocarla en la intemperie.



Figura. 3.1. Cámara para ensayos acelerados de corrosión atmosférica.

3.2.3 Abrigos meteorológicos.

Un abrigo meteorológico, también conocido como garita o pantalla, es una estructura que sirve de soporte y protección a los instrumentos, de temperatura y humedad, de una estación meteorológica contra la radiación solar directa y difusa, la precipitación y las ráfagas de viento. La garita tiene por función asegurar que las variables atmosféricas que miden estos sensores correspondan a las características del aire, evitando modificaciones introducidas por la radiación solar o el sobrecalentamiento como consecuencia de una mala ventilación de la garita.

Abrigo Meteorológico Para Instrumentos

Estructura destinada a proteger ciertos instrumentos de la radiación y la intemperie, consiguiendo al mismo tiempo una ventilación adecuada. La Figura 3.2. Ofrece un ejemplo de este tipo de abrigo.



Figura. 3.2. *Abrigo meteorológico para instrumentos (Pascual D, 2009).*

El material utilizado para la construcción de estas pantallas es, principalmente, la madera, ya que es un excelente aislante térmico. Aunque también se utilizan otros como, por ejemplo, el plástico el cual, a pesar de no ser tan buen aislante térmico a elevadas temperaturas, es más económico, más ligero, más resistente a la corrosión y a la intemperie y, por tanto, requiere un mantenimiento menor, a continuación, se mencionan algunas características que debe de cumplir el diseño con el que se fabricaran las garitas.

- Dos pantallas cilíndricas concéntricas montadas habitualmente con su eje en posición vertical.
- El material debe ser aislante térmico, aunque los hay de metal pulido para reducir la absorción de radiación solar.

- Hacer pasar una corriente de aire entre las pantallas, de velocidad comprendida entre 2,5 m/s y 10 m/s, orientada hacia el termómetro seco. La pantalla interior al mantenerse en contacto con la corriente de aire, la temperatura de ésta y la del termómetro se aproxima con suficiente precisión a la del aire.
- La radiación directa procedente del suelo puede reducirse prolongando la base apreciablemente por debajo del termómetro.

A continuación, la Figura. 3.3. Muestra un ejemplo de pantalla con ventilación artificial.



Figura 3.3. Pantalla con ventilación artificial

El diseño de las pantallas de ventilación artificial se ocupa cuando no se necesitan demasiados instrumentos de medición y el tamaño de estos sensores es muy pequeño, el tamaño de estas estaciones permite poder colocarlo en diferentes lugares y los materiales para su fabricación son de un menor costo. Con base en estas consideraciones se eligió ocupar el diseño de las pantallas con ventilación artificial, teniendo esto como base las garitas se construirán con las mismas características que requiere una para su uso en la intemperie.

3.2 Diseño y fabricación de garita meteorológica.

Materiales empleados para la construcción de la garita:

- 7 Platos porta macetas de plástico de 24 cm de diámetro y altura 3.2 cm.
- 1m de Varilla roscada de $\frac{1}{4}$ de pulgada, cortada en tres partes de 25 cm c/u
- 1 m de tubo de PVC mayor a $\frac{1}{4}$ de pulgada
- Arandelas y tuercas
- Pintura en aerosol color blanco.

Para tener un mejor flujo de aire dentro del sistema, a cuatro de los platos se les realiza un corte en el centro en forma de círculo de 15 cm de diámetro. Así mismo, los platos han de solaparse mínimamente, eso evitará que la radiación horizontal ("A") penetre en el interior de la cámara de medida; colocando unos pequeños espaciadores que permitan dicho fenómeno Figura 3.4

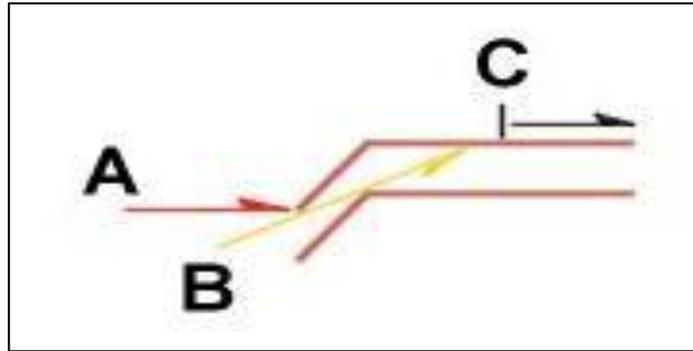


Figura 3.4. Esquema de del espacio entre platos

Los platos deben de estar pintados, por ambos lados, con pintura blanca no higroscópica, para reflejar la radiación solar e impedir la absorción de la humedad.

La garita está formada por 7 platos: un plato que forma la base, cuatro platos que forman la parte central de la garita (éstos tienen un corte en la parte central de los platos), un plato que sirve para sujetar al sensor, evitando que se mueva y un plato que funciona como tapa (Figura 3.5).



Figura 3.5. Presentación del modelo final de la garita meteorológica.

3.4 Diseño y ensamble de circuito para monitoreo atmosférico

1. Propuesta de Diseño.

2. Planificación.

3. Diseño y búsqueda de hardware:

- Búsqueda de dispositivos.
- Búsqueda de sensores.
- Diseño de circuitos.

4. Montaje de hardware:

- Montaje de Arduino
- Instalación de sensores.

5. Diseño y búsqueda de Software:

- Planificación de la programación.
- Búsqueda de librerías para sensor DHT11.
- Búsqueda librerías para guardar datos en memoria EEPROM.
- Búsqueda de librerías para lectura de memoria EEPROM.
- Búsqueda de librería para limpiar memoria EEPROM.

6. Desarrollo Programación, Parte 1:

- Desarrollo Código básico.
- Implementación librería DHT11.
- Desarrollo Código para almacenar datos en memoria EEPROM.

7. Desarrollo Programación, Parte 2:

- Código Estructurado y ahorro de energía.
- Desarrollo de control de valores.

8. Test de funcionamiento.

- Programación Parte 1
- Programación Parte 2
- Test de funcionamiento en el exterior.

9. Armado de Circuito en Garita.

- Instalación del circuito en la garita

10. Pruebas Funcionales.

- Prueba de comportamiento en un entorno apropiado para su objetivo.

11. Memoria.

- Documentación del proceso. .

12. Presentación:

- Exposición completa del modelo.

3.4.1 Recursos empleados.

A continuación se detallan los componentes y herramientas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto:

Recurso a nivel Hardware.

- Arduino UNO R3
- Sensor de temperatura y humedad DHT11
- Terminales de conexión
- Cables de conexión

Recursos a nivel de Software:

- **Entorno de programación de Arduino:** El cual ha permitido desarrollar, comprobar, compilar y cargar los programas o sketch a los equipos Arduino mediante el puerto USB. Así como la comunicación serial con la computadora.
- **Librería EEPROM:** Habilita las funcionalidades para leer, escribir y limpiar la memoria interna de Arduino.
- **Librería DHT:** Utilizada para la comunicación con el sensor DHT11.

3.4.2 Características de los elementos.

Sensor DHT11.

Realizando una investigación de cual sensor seria de más utilidad se encontró que el sensor DHT11 es uno de los más usados para trabajar en el ámbito de Arduino. El DHT11 incorpora un sensor de humedad y temperatura con una señal digital de salida calibrada. Garantiza una alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo. Para medir la humedad relativa cuenta con un sensor tipo resistivo que trabaja correctamente entre los rangos (20% a 95%), y para la temperatura presenta un sensor tipo NTC (0°C a 50°C), (Figura 3.6).

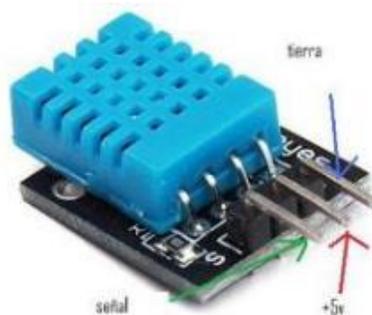


Imagen 3.6. Esquema sensor DHT11

Placa Arduino Uno R3.

Descripción de placa Arduino Uno R3:

- 14 entradas y Salidas Digitales.
- 6 entradas analógicas.
- Botón de Reinicio.
- Conexiones eléctricas de entrada y salida, voltaje de funcionamiento 5 voltios.
- Voltaje de entrada entre 7 y 12v, soportando valores inferiores.
- Micro controlador Atmega328.
- Pines seriales.
- Puerto USB.
- EEPROM 1KB (Atmega 328)
- SRAM 2KB (Atmega 328)

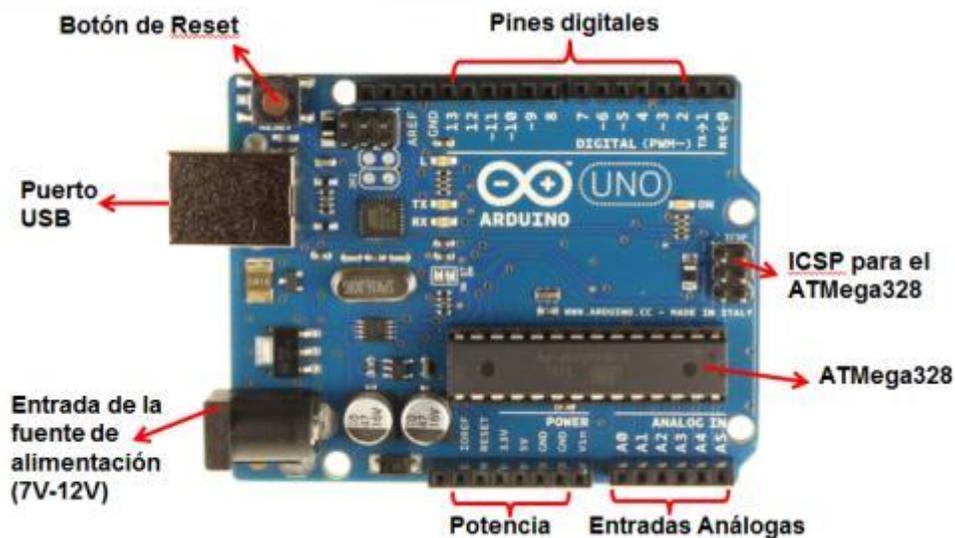


Figura 3.7. Esquema Placa Arduino Uno R3.

Elementos más representativos de la tarjeta Arduino uno

Dentro de todos los elementos que conforman a la tarjeta Arduino UNO, se tienen elementos que cumplen funciones importantes en el desempeño de la tarjeta, ya sea para suministrar de energía a la tarjeta, así como el de mantener la comunicación serial con una computadora, teniendo esto en consideración se indicaran en la Tabla 3.8 estos elementos.

En la Tabla 3.8 y en el Figura 3.8 se indican de en color verde los elementos más representativos en el funcionamiento de la tarjeta.

Tabla 3.8 Esquema que indica los elementos más representativos la tarjeta Arduino.

Numero	Elemento
1	Conector USB
2	Conector de Alimentación
3	Microcontrolador Atmega 328
4	Microcontrolador Atmega 16U2
5	Cristal Oscilador a 16 MHz
6	Amplificador operacional
7	Regulador de tensión para 5V
8	Fusible SMD de 500 mA
9	Transistor
10	Capacitores cerámicos SMD
11	Resistencias SMD
12	Conector ICSP para Atmega 16U2
13	Conector ICSP para Atmega 328
14	Regulador de tensión para 3.3V
15	Cristal Oscilador
16	LED Pin 13
17	LED TX
18	LED RX
19	LED de Encendido
20	Capacitores electrolíticos
21	Conector JP2
22	Diodo M7
23	Botón de Reinicio
24	Resistencia

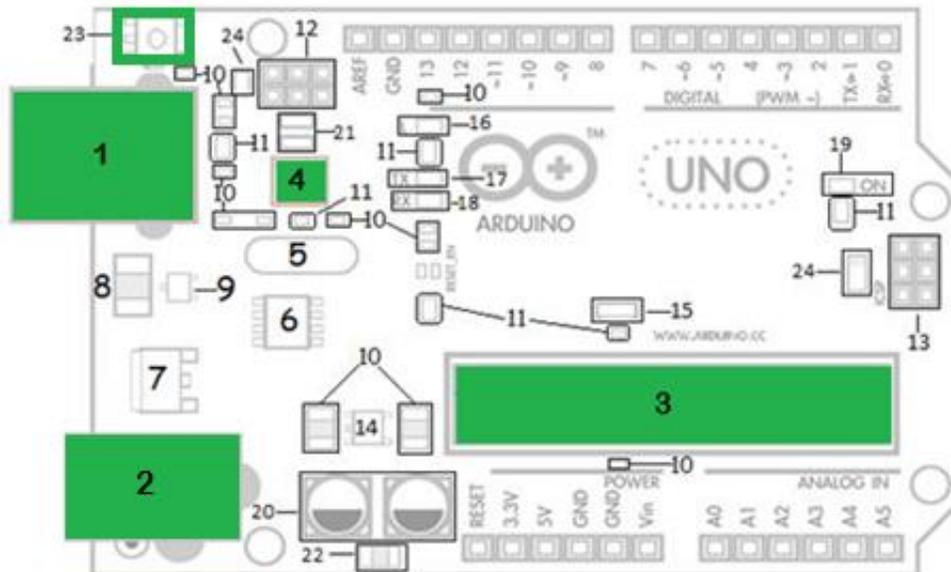


Figura 3.8 Esquema de la tarjeta Arduino, indicando sus elementos más representativos.

Para el presente trabajo se han seleccionado estos como elementos más representativos, ya que cumplen funciones importantes, estos se describen en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Breve descripción de funcionamiento de los elementos más representativos.

Elemento	Función
Conector USB	Provee la comunicación serial para la programación y la toma de datos, también provee una fuente de 5VDC para alimentar al Arduino.
Conector Jack	Entrada de alimentación externa (9-12VDC)
Microcontrolador Atmega 328	Es el microcontrolador seleccionado para ser programado es decir, que ejecuta un programa que previamente hemos escrito sus instrucciones para que realice una tarea de manera autónoma
Microcontrolador Atmega 16U2	Microcontrolador encargado de la comunicación que permite la conversión de comunicación serial a USB.
Botón de reinicio	Reinicio del sketch

3.4.3 Descripción Funcional.

El objetivo principal del programa es la de tomar las mediciones de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de simulación acelerada, el sensor tomará las correspondientes mediciones, con una diferencia de dos minutos entre cada una de éstas.

La tarjeta cuenta con una memoria interna de 512 Kb, al ser una cantidad limitada de espacio es de gran importancia el saber ocupar el espacio que se tiene de memoria, al contar con 512 Kb de espacio solo se pueden guardar 512 datos, siendo 256 datos para la humedad y 256 datos para la temperatura.

Los datos obtenidos se almacenan en la memoria interna de la tarjeta, en la Tabla 3.10 se muestra de manera breve una comparación entre el intervalo entre cada medición, dependiendo del tiempo que se desea que trabaje el sistema.

Tabla 3.10. Tabla comparativa de tiempos de medición en lapsos de 10 min c/u.

Intervalo de Tiempo entre cada medición (Minutos)	Minutos de Funcionamiento de la Tarjeta (Minutos).	Horas de Funcionamiento de la Tarjeta. (Horas)	Datos Almacenados.
10	2,560	42.66	512
20	5,120	85.33	512
30	7,680	128	512
40	10,240	170.67	512
50	12,800	213.33	512

Saber el tiempo en que se realiza un ciclo de medición es importante ya que al presentarse una variación de los datos que se obtienen, con frecuencia se puede llegar a determinar si se presenta una falla en la toma de las mediciones o una falla en la tarjeta Arduino Uno, que es la finalidad del presente trabajo, poder observar cómo afecta el entorno de las pruebas al funcionamiento de la tarjeta.

La tarjeta se mantendrá conectada vía USB a la computadora y mediante la interface del programa de Arduino se podrán observar en tiempo real las mediciones obtenidas durante las pruebas en la cámara de simulación acelerada, para así poder monitorear si se presenta una falla.

Al concluir las pruebas correspondientes se procederá a extraer de la memoria interna de la tarjeta los datos obtenidos durante los ciclos correspondientes y así poder observar que el funcionamiento de la tarjeta durante todo el periodo de pruebas es óptimo simulando así el funcionamiento de un equipo electrónico en la industria en condiciones de trabajo normal, así que si la tarjeta presenta una falla se podrá observar en tiempo real ésta.

El Sketch en el que se trabajó y se realizó el programa se separa en diferentes sub programas ya que cada uno tiene una función diferente dentro del programa principal, a continuación se muestran las partes más importantes del programa y algunos ejemplos de los datos que se obtienen.

Lo primero es incluir las diferentes librerías que se ocuparan durante la elaboración del programa:

1. Librería que permite para trabajar con el sensor DHT11.
2. Librería que permite trabajar con la memoria interna de la tarjeta Arduino, con ésta se puede escribir, leer y borrar los datos que se obtienen.

El programa se separa en dos partes esenciales dentro del ámbito de Arduino, los cuales son: ***void setup ()*** y ***void loop ()***:

1. ***Void setup***: En este apartado se declaran las funciones que tendrán los pines con los que se trabajará como son las entradas y salidas, se declara si queremos que se abra la comunicación serial con la computadora la cual nos muestra los datos que se están obteniendo, en esta parte también se incluyen lo sub programas que se ocuparán dependiendo de lo que se desea realizar.
2. ***Void loop***: Esta parte contiene la función principal del programa, esto es lo que se pretende que realice la tarjeta.

En la parte de *void setup* se declaran los pines de entrada y salida, así como la comunicación serial con la computadora (Figura 3.9) en este mismo apartado del se agregó la parte que permite tener un consumo bajo de energía, si se desea tener al sistema tomando mediciones en la intemperie.

```
MEDICION_DATOS_DORMIR §
void setup()
{
  pinMode(wakePin, INPUT);
  attachInterrupt(0, wakeUpNow, CHANGE);
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Elaborado por: Martinez Garcia Daniel Octavio");
  Serial.println("Sensor DHT11 Preparado");
  Serial.println("Iniciando lectura de datos...");
  dht.begin();
}

void sleepNow()
{
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
  sleep_enable();
  attachInterrupt(0, wakeUpNow, CHANGE);
  sleep_mode();
  sleep_disable();
  detachInterrupt(0);
}
```

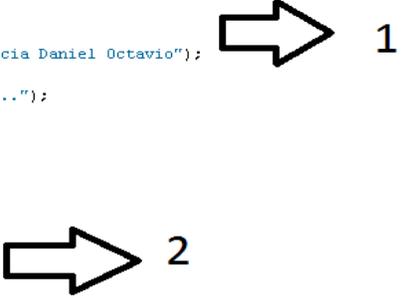


Figura 3.9. Elementos que forma la parte del Void Setup del programa.

En la parte del *void loop* del programa (Figura 3.10) se separa en las diferentes partes que forman el programa principal:

1. Se verifica que el sensor este recibiendo datos correctos, de no ser así se manda un mensaje de error vía comunicación serial, se declara que se quiere medir temperatura y humedad, así como el pin que está encargado de tomar estas mediciones.
2.
 - 2.1. Se declara cuantas veces se tomarán las mediciones durante el tiempo que se desea que funcione la tarjeta, se declara la parte correspondiente para guardar los datos en la memoria de la tarjeta se menciona que un espacio de los 512 es para la temperatura y otro es para la humedad y se hace mención del espacio con el que se cuenta en la tarjeta para poder almacenar los datos.
 - 2.2. En esta parte se menciona que si toman más de 512 se volverá a empezar a tomar las mediciones desde el bit 1, esto quiere decir que comenzara nuevamente la mediciones y los datos que se tomaron anteriormente se perderán.

```
MEDICION_DATOS_DORMIR $
void loop()
{
  int h = dht.readHumidity();
  int t = dht.readTemperature();
  int val = digitalRead(2) / 4;
  if (isnan(t) || isnan(h))
  {
    Serial.println("Fallo al leer del sensor DHT");
  }
  repeticiones = repeticiones + 1;
  if (repeticiones == 2)
  {
    Serial.print("Guardando valores en EEPROM");
    Serial.println(" ");
    EEPROM.write(addr, h); //humedad
    addr = addr + 1;
    EEPROM.write(addr, t); //temperatura
    addr = addr + 1;
    repeticiones = 0;
    if (addr == 512)
    {
      addr = 0;
      Serial.print("EEPROM llena, se reescribirá...");
      Serial.println(" ");
      digitalWrite(13, HIGH);
      delay(3000);
      digitalWrite(13, LOW);
    }
  }
}
```

Figura 3.10. Elementos que forman la parte del Void Loop del programa.

Los resultados se muestran mediante la comunicación serial, la comunicación serial nos permite poder observar en pantalla los datos que se obtienen durante todo el proceso, estos datos se pueden consultar durante la toma de mediciones, ya que la tarjeta se encuentra conectada vía USB a la computadora.

A continuación, se muestran una representación de los resultados obtenidos durante las primeras pruebas las cuales sirvieron para afinar el funcionamiento del programa (Figura 3.11), estas pruebas se realizaron en la intemperie

```
Elaborado por: Martinez Garcia Daniel Octavio
Sensor DHT11 Preparado
Iniciando lectura de datos...
Humedad = 58.0% Temperatura = 24.0
Humedad = 57.0% Temperatura = 24.0
Humedad = 51.0% Temperatura = 23.0
Humedad = 49.0% Temperatura = 23.0
Humedad = 48.0% Temperatura = 23.0
```

Figura 3.11. Ejemplo de vista de los datos consultados vía comunicación serial durante una prueba de ensayo.

CAPÍTULO 4

Ensayos acelerados en dispositivos electrónicos de garita meteorológica.

4.1 Antecedentes

Los especímenes en condiciones normales de operación pueden encontrarse bajo condiciones naturales (reproducción de climatología estacional típica, climas árticos, desérticos, tropicales, etc.), o artificiales (interior de automóviles, satélites espaciales, máquinas diversas, procesos productivos, etc.). Para tal efecto es necesario realizar ensayos acelerados con la finalidad de poder evaluar bajo condiciones aceleradas el comportamiento de los dispositivos de forma controlada, siguiendo normas específicas teniendo pruebas rápidas y confiables.

Cuando se habla de las condiciones ambientales, se refiere, no sólo a los climas naturales, sino también a climas generados por los múltiples desarrollos tecnológicos así como situaciones artificiales, pudiendo destacar las siguientes:

- Temperaturas extremas, dependiendo de la región de estudio
- Corrosión atmosférica industrial o urbana (niebla ácida de diferente composición).
- Simulación abisal (altas presiones).
- Atmósferas tóxicas y explosivas (gases controlados) (Industria)
- Simulación solar (radiaciones UV mediante lámparas de xenón).
- Simulación ciclónica (túnel de viento, polvo y arena).
- Climas agresivos (granizo, nieve, lluvia torrencial).
- Alta concentración de ozono.
- Ensayos dinámicos combinados con climas cíclicos (vibración, tracción, compresión, flexión, etc., combinados con choques térmicos).
- Reproducción de situaciones complejas diversas.

Durante los ensayos se evalúa el deterioro sufrido en elementos metálicos, para así poder realizar una comparación y una correlación de variables con respecto a las condiciones ambientales características del ambiente de trabajo en las cuales se desempeñará el equipo (tiempo real de exposición).

En investigaciones previas, se ha hecho énfasis en el estudio de componentes de equipo electrónico presentes en teléfonos residenciales así como también de elementos electrónicos que conforman a los sistemas de almacenamiento

magnético de datos, considerando aquellas regiones que en su momento se determinó como las más representativas por sus características como zonas propicias para la generación de la corrosión atmosférica

De acuerdo a los estudios realizados, los dispositivos electrónicos se han clasificados de la siguiente forma [Ortiz A, 2004]:

- A. Dispositivos de microelectrónica (circuitos integrados, circuitos impresos)
- B. Dispositivos de macroelectronica (interruptores, conectores, resistencias, capacitores, tarjetas impresas, pilas, etc.)
- C. Dispositivos de almacenamiento magnético de datos (discos duros)

Con base en esta clasificación, se realiza el estudio en microcomponentes electrónicos, con la finalidad de conocer el comportamiento de los sistemas más actuales. Dichos sistemas se componen de elementos que se describen a continuación

Circuitos impresos: Constan básicamente de una base aislante sobre la que se deposita una fina capa de material conductor (generalmente cobre) (Figura 4.1). Pueden ser rígidas o flexibles, de simple cara conductora, doble o multicapa, dependiendo del tipo de placa se utilizan diversos tipos de materiales, siendo lo más común la placa rígida de fibra de vidrio (de una cara conductora, dos o multicapa). Los conectores por lo general consisten de una base de cobre, latón, cobre-berilio u otras aleaciones de cobre recubiertas con una capa delgada de oro, estaño o níquel.

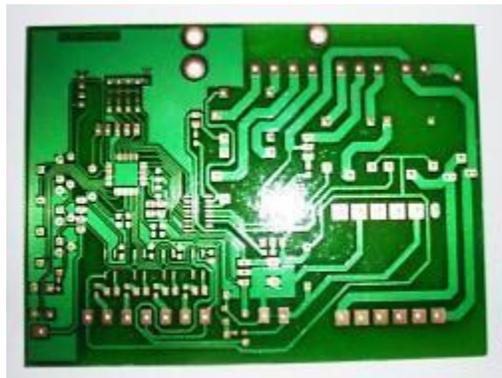


Figura 4.1 Circuito impreso

Circuitos integrados: Un circuito integrado (CI) es un chip muy delgado en que se encuentran miles de dispositivos electrónicos interconectados, principalmente diodos y transistores, los circuitos integrados son construidos sobre un soporte de silicio que viene generalmente encapsulado de plástico (polímero) o en ocasiones en encapsulados cerámicos (Figura 4.2). El encapsulado de polímero es el más

empleado para los microcircuitos (97%). Aun cuando se considera que el empaquetamiento de este tipo de encapsulado es hermético, estos son permeables al agua y por lo tanto son vulnerables a la corrosión, esto al ser expuestos en ambientes húmedos

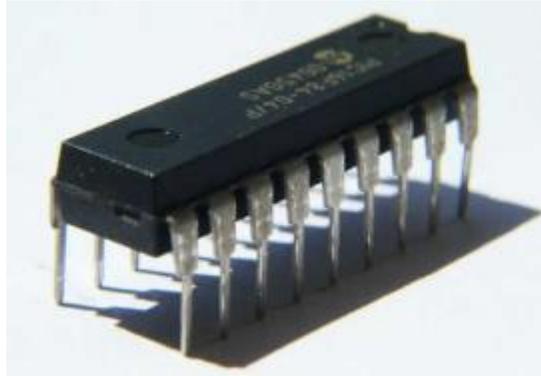


Figura 4.2 *Microcontrolador, estos están conformados por un circuito integrado el cual está formado por un monocristal de silicio, este se encuentra protegido por un encapsulado de polímero del tipo Dual in-line package (DIP).*

4.2 Variables a considerar en los ensayos acelerados por corrosión atmosférica

La necesidad de estos ensayos está orientada a la estimación de la vida del elemento bajo condiciones de servicio, esto a través del empleo de extrapolaciones. Las variables a considerar dentro de los ensayos son: 60 - 97 %HR, ciclos de temperatura (6° - 40°C), gases contaminantes SO₂ (0.194 ppm), NO_x (0.210 ppm).

Lo anterior se considera de acuerdo a la Norma ISO 9223 (1992), así como lo establecido en metodologías previas [**Sánchez F, 2014**].

En la Figura 4.3 se muestra en forma de diagrama de jerarquización la metodología empleada durante la experimentación, en la cual se describen las actividades que se realizarán dependiendo del deterioro que se presente en las muestras.

4.3 Metodología empleada para diagnóstico en equipo electrónico

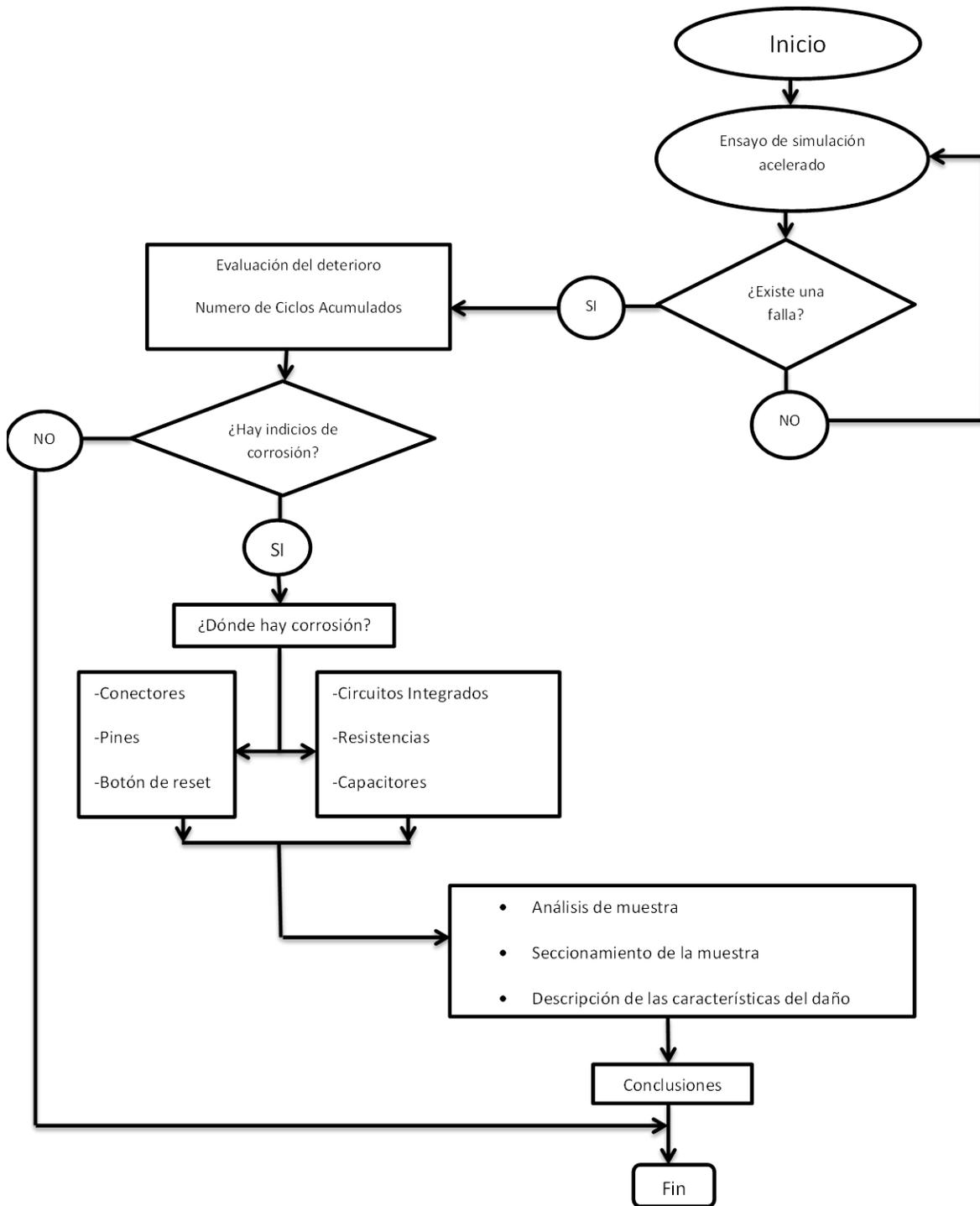


Figura 4.3 Metodología empleada para el diagnóstico de equipo electrónico

4.4 Definición de los parámetros para la realización del ensayo.

Los ensayos se efectuaron tomando como base las normas ISO 9223:1992 (E), ASTM G154, se tomaron como base en lo que se refiere a la concentración y mezcla de los gases contaminantes las normas NOM-SSA1-022-1993, NOM-SSA1-023-1993, ASTM B827 y ASTM B845.

Para la realización de estos ensayos como se menciona en el Capítulo 2 se consideran las características climáticas presentes en la Cd. de México, como lo son la temperatura máxima, temperatura mínima, así como las concentraciones máximas de algunos de los contaminantes presentes en la atmosfera de la Cd., todos los valores son datos del año 2014, los factores climáticos y concentraciones de contaminantes más importantes presentes en la Cd. son:

Tabla 4.1 Valores mínimo, máximo y promedio anual de la temperatura

	TEMP. MINIMA	TEMP. MAXIMA	TEMP. PROMEDIO
PROMEDIO ANUAL	0.52 °C	30.12 °C	16.55 °C

Tabla 4.2 Valores mínimo, máximo y promedio de la humedad relativa anual

	H.R MINIMA	H.R MAXIMA	H.R PROMEDIO
PROMEDIO ANUAL	3.2 %	96.8 %	52.94 %

Tabla 4.3 Valores de las concentraciones mínima, máxima y promedio anual de Dióxido de nitrógeno (NO₂) en ppm (partículas por millón)

	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO
PROMEDIO ANUAL	3.19 ppb	119 ppb	28.32 ppb

Tabla 4.4 Valores de las concentraciones mínima, máxima y promedio anual de Dióxido de azufre (SO₂) en ppb (partículas por millón)

	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO
PROMEDIO ANUAL	1 ppb	194.1 ppb	5.9 ppb

Se diseñaron dos diferentes ensayos:

- Ensayo #1 se trabajará con ciclos de humedad y temperatura
- Ensayo #2 se trabajará con ciclos de humedad y temperaturas, así como inyección de gases contaminantes (SO₂ y NO).

Las condiciones bajo las que se expondrán las muestras en la cámara de simulación acelerada se programan por un determinado número de ciclos, en donde cada ciclo representa 1 día de exposición en tiempo real [Sánchez F, 2014].

Con lo que se establece las siguientes condiciones de evaluación de los dispositivos para el desarrollo de ensayos acelerados:

Duración del ensayo: Se trabajará con 365 ciclos como base para ambos ensayos, se aumentará el número de ciclos en función del deterioro observado en las etapas de evaluación de acuerdo a lo planteado en la metodología. Cada ciclo tendrá una duración de 26 minutos.

Temperatura: Se trabajará con una temperatura mínima de 6 °C y máxima de 40 °C, el tipo de ciclo de temperatura será del tipo de onda trapezoidal (Figura 4.4).

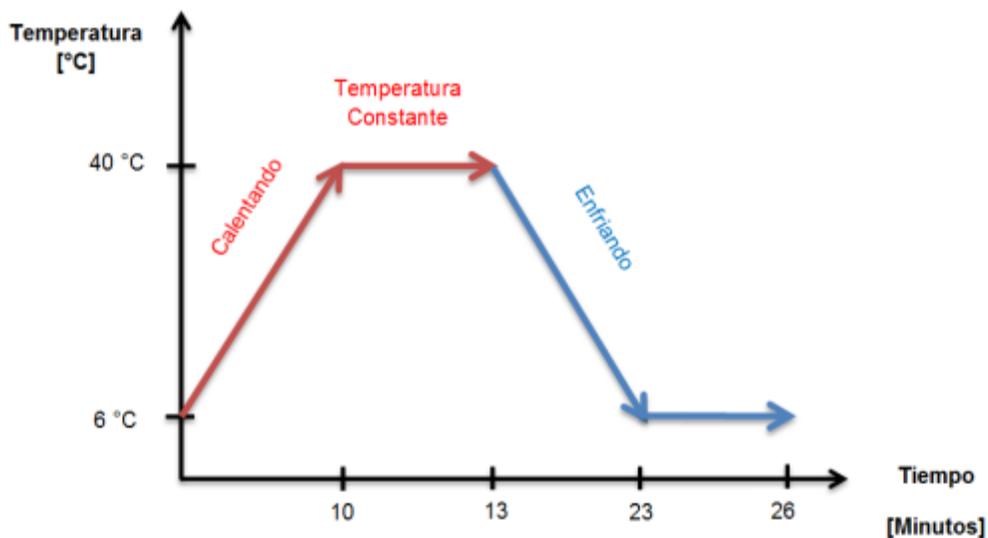


Figura 4.4 Representación gráfica del ciclo aplicado

Humedad relativa: Humedad relativa controlada de entre 60% a 97%, lo anterior se controla mediante un humificador el cual se mantendrá encendido durante 10 minutos, pasado este tiempo este se apagará de forma automática.

Concentración de contaminantes: Para el segundo ensayo se inyectarán gases contaminantes (SO₂ y NO₂) bajo concentraciones de acuerdo a las Normas [NOM-SSA1-022-1993] y [NOM-SSA1-023-1993], al inicio de cada ciclo se inyectarán los gases por un tiempo de 10 segundos

ENSAYO #1

- A. Duración del ensayo 365 ciclos.
- B. Humedad relativa controlada entre 60% a 97%
- C. Duración del ciclo de temperatura de 26 minutos
- D. Tipo de ciclo de temperatura; onda trapezoidal (facilita el control del ciclo e incrementa los tiempos de condensación) (Figura 4.4)
- E. Temperatura mínima de 6 °C y máxima de 40 °C

Para el segundo ensayo se toma en consideración que la norma indica para ensayos acelerados la inyección de gases contaminantes durante la reproducción de las pruebas debe considerar al menos **100 veces** el valor mínimo establecido [Ortiz, 2004], Para la República Mexicana se toman los valores establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaria de Salud (NOM) [**NOM-022-SSA1**], como se mencionó en el Capítulo 2.

Teniendo en consideración los valores establecidos por las normas citadas y comparándolas con los valores máximos que se obtuvieron durante todo el 2014 se obtiene la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Comparación de los valores máximos emitidos durante el 2014 y los valores máximo permitidos en las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaria de Salud.

CONTAMINANTE	LIMITE PERMITIDO	VALORES MAXIMOS 2014 Registrados
Dióxido de Azufre (SO ₂) NOM-SSA1-022-1993	0.110 ppm	0.194 ppm
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) NOM-SSA1-023-1993	0.210 ppm	0.119 ppm

ENSAYO #2

- A. Duración del ensayo, inicialmente 365 ciclos, finalizando en 640 ciclos.
- B. Humedad relativa controlada entre 60% a 97%
- C. Duración del ciclo de temperatura de 26 minutos
- D. Temperatura mínima de 6 °C y máxima de 40 °C
- E. Concentración de gases contaminantes (Mínimo 100 veces la máxima) (valores de acuerdo a la Tabla 4.5)
- F. Gases contaminantes: SO₂ y NO₂.

Para este ensayo al inicio de cada ciclo se inyectarán por 10 segundos los gases (SO₂ y NO₂) en las concentraciones antes mencionadas (Figura 4.5).

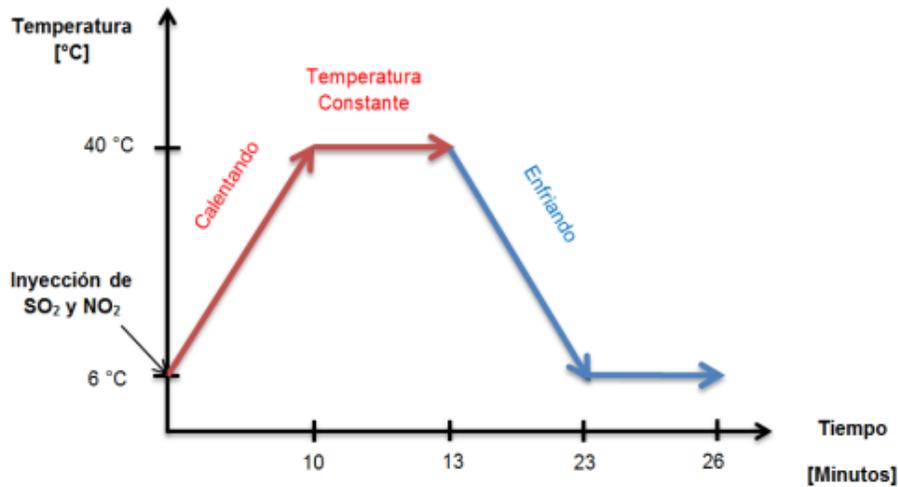


Figura 4.5 Representación gráfica del ciclo aplicado para el Ensayo #2.

4.5 Especímenes sometidos a ensayos acelerados

El estudio experimental tiene como finalidad la reproducción de las fallas que se pueden ocasionar por la presencia de la corrosión atmosférica en las tarjetas Arduino UNO, siendo este tipo de elementos los más utilizados en la actualidad en varios sectores.

Las tarjetas Arduino UNO que se ocuparon para realizar los ensayos son tarjetas nuevas, al igual que los sensores y cables usados para la realización de los ensayos (Figura 4.6), para el ensayo #1 se trabajó con 3 tarjetas Arduino y para el ensayo #2 se trabajó con 2 tarjetas, cada uno de ellas sometidas a las características de cada uno de los diferentes ensayos.



Figura 4.6 Tarjeta Arduino UNO R3

Las tarjetas se colocaron dentro de las garitas meteorológicas colocadas dentro de la cámara de simulación acelerada como se muestra (Figura 4.7) para así poder

tomar mejores mediciones durante los ensayos y así tener datos más fiables, teniendo todos los elementos listos se procede a realizar los ensayos correspondientes.

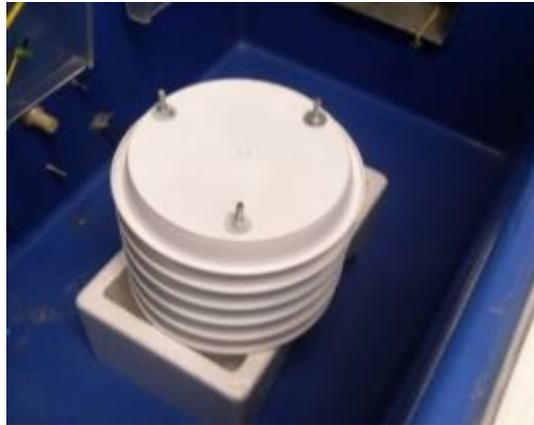


Figura 4.7 Garita colocada dentro de cámara de simulación acelerada.

La garita se colocó sobre una base para ubicarla en una posición en la que la corriente de aire generada por la cámara así como el rocío de la agua dosificada por el humidificador incidan directamente sobre esta, es importante recalcar que las condiciones propuestas para la realización de los ensayos son extremas y por consiguiente difícilmente las tarjetas se encontrarán operando bajo estas condiciones, sin embargo lo que se pretende es acelerar los eventos que dan lugar al deterioro, por corrosión atmosférica. Como se hace mención en el Capítulo 3, las tarjetas se encontrarán monitoreando en todo momento, las condiciones climáticas dentro de la cámara de simulación, logrando identificar el momento en el cual el sistema como tal pueda fallar.

4.6 Resultados de especímenes sometidos a ensayos acelerados

4.6.1 Evaluación de la presencia de corrosión en tarjetas Arduino UNO sometidas a condiciones del Ensayo #1.

Durante la realización de los ensayos al momento de alcanzar 100 ciclos se procede a realizar una inspección visual del estado de las muestras después de concluir con los ciclos establecidos, siguiendo los pasos que se citan en la metodología.

En los primeros 100 ciclos se presentaron problemas de intermitencia de comunicación entre la tarjeta y la computadora haciendo en ocasiones imposible

ver los datos en tiempo real de las pruebas, pero las tarjetas seguían realizando de manera eficiente la toma de mediciones y el almacenamiento de los mismos. Durante la realización de los siguientes 100 ciclos fueron más frecuente las intermitencias en la comunicación de la tarjeta Arduino con la computadora, ya no era posible poder observar en tiempo real los valores obtenidos durante las pruebas en la pantalla, aun con este problema las tarjetas se seguían desempeñando de buena manera.

Al realizar una comparación de cómo se ven afectados los elementos de las tarjetas sometidas bajo estas condiciones, se consideró que el daño de los elementos puede ser solo superficial y esto no afectará su funcionamiento, se decidió retirar las tarjetas en lugar de 100 ciclos en 150 ciclos para así a completar los 365 ciclos establecidos para este primer ensayo.

Al momento de cumplirse los 365 ciclos las tres tarjetas seguían presentando el problema de intermitencia en la comunicación con la computadora, dos de las tres tarjetas fallaron de manera tal que la computadora ya no las reconocía al momento de ser conectados vía USB, el deterioro de una de las tarjetas es más evidente que en las demás

A continuación, se presenta como fue el progreso gradual del deterioro en los elementos que se vieron más afectados a causa de la presencia de corrosión, a causa de las condiciones del ensayo #1, como los son: Conector Jack (Figura 4.9), conector USB (Figura 4.10), cristal oscilador (Figura 4.11), cristal oscilador tipo SMD (Figura 4.12), conector ICSP (Figura 4.13) y Microcontrolador Atmega 16U2.

Los elementos que mostraron mayor deterioro fueron: **(A) Conector USB**, **(B) Cristal oscilador 16 MHz**, **(C) Conectores ICSP**, **(D) Conector Jack**.

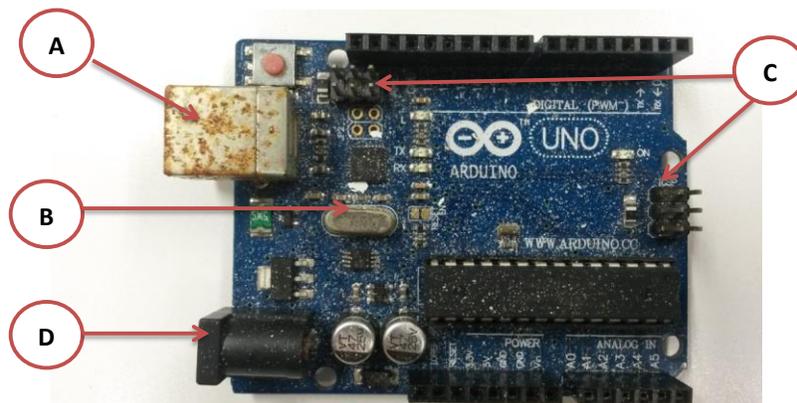


Figura 4.8 Tarjeta Arduino después de concluir 100 ciclos bajo las condiciones del Ensayo #1.

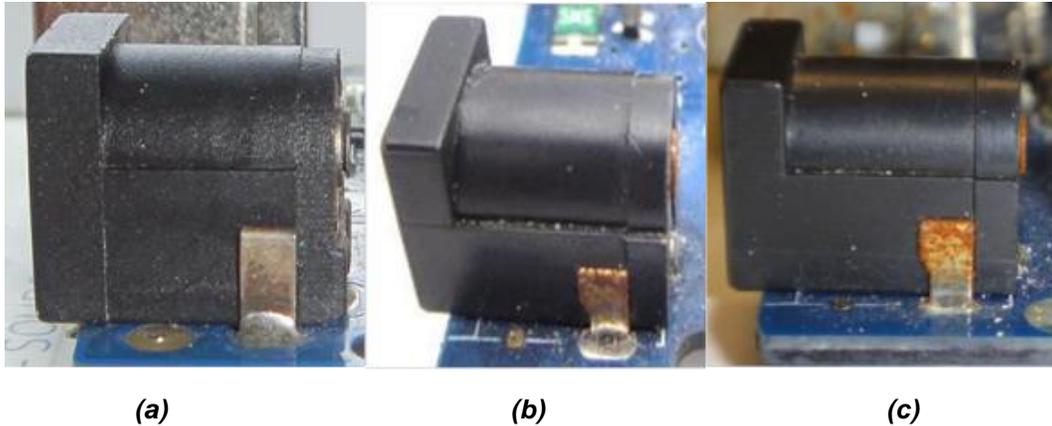


Figura 4.9. Conector Jack

(a) Forma inicial del conector Jack. (b) Después de realizarse más de 50 ciclos se comenzó a presentar indicios de productos de corrosión en la superficie de las terminales de conexión del conector, así como la formación de depósitos de condensado en su superficie. (c) Al efectuarse los ciclos establecidos para el primer ensayo, el deterioro en las terminales se ha incrementado, se tiene la presencia de herrumbre en todas las terminales metálicas del conector, este sigue trabajando de manera correcta.

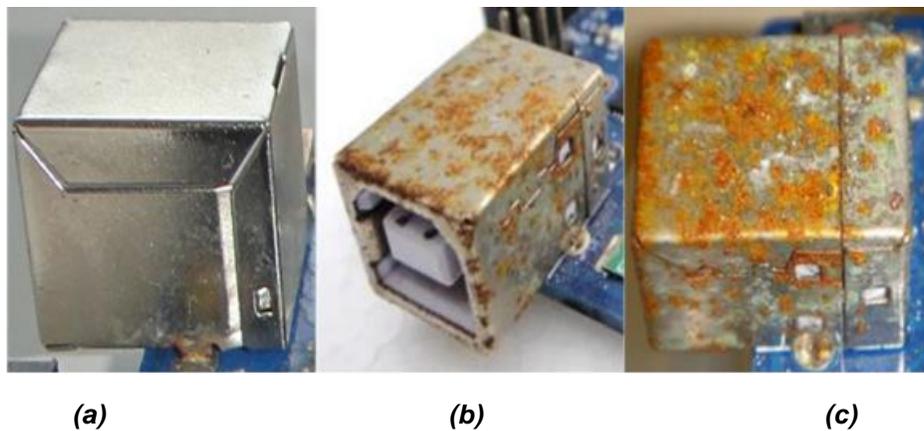


Figura 4.10. Conector USB

(a) Fisionomía inicial del elemento. (b) En seguida de acumular más de 100 ciclos, la superficie del conector presenta una capa de herrumbre, la cual cubre parcialmente el elemento, se tiene la presencia de condensado en las terminales de conexión. (c) Al completar los ciclos, la presencia de herrumbre en toda la superficie del conector se ha incrementado, esta se encuentra presente en las hendiduras del conector, así como en menor grado en la parte interior del conector, los depósitos de condensado siguen presentes en las terminales de conexión.

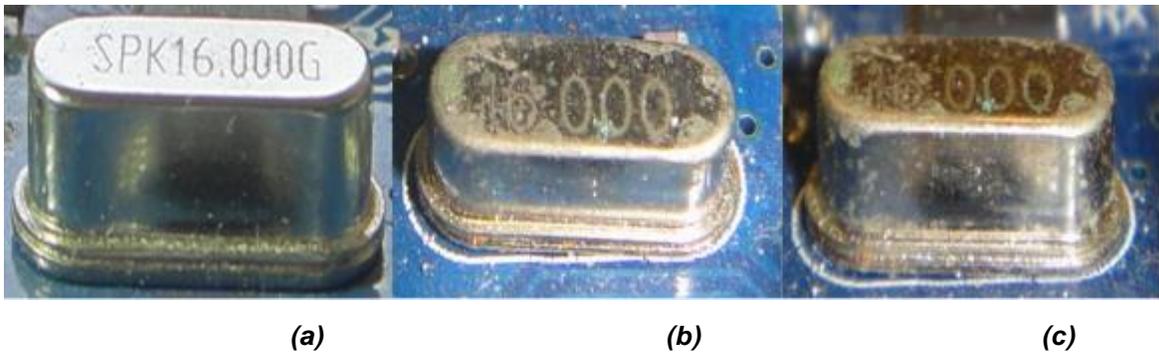


Figura 4.11. Cristal Oscilador de 16 MHz.

(a) Exterior inicial del cristal oscilador. (b) Después de 100 ciclos, se tiene la presencia de la formación de depósitos de productos de corrosión en la superficie del elemento, estos son de un tono verdoso, estos depósitos son indicativos de la presencia de corrosión. (c) Al completar de 365 ciclos, la superficie del cristal presenta un aumento en la presencia de productos de corrosión, también se tiene la presencia de depósitos de condensado en la superficie del elemento, el deterioro en este es evidente.

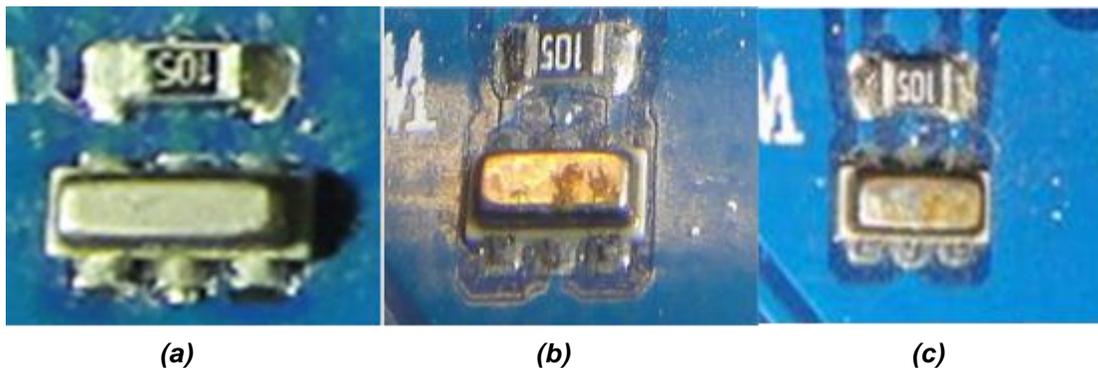
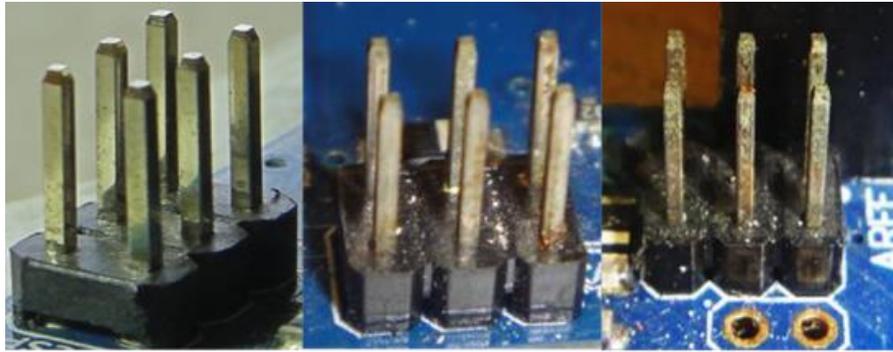


Figura 4.12 Cristal Oscilador tipo SMD

(a) Estado inicial del cristal oscilador. (b) Luego de 100 ciclos, se tiene la presencia de formación de herrumbre en la superficie del conector, así como la presencia de depósitos de condensado en sus terminales de conexión. (c) Al finalizar 365 ciclos, se ha incrementado la presencia de herrumbre en la superficie del elemento, esta también cubre parte de las terminales de conexión, los depósitos de condensado cubren también la superficie del elemento, el deterioro a causa de la presencia de corrosión es notorio.



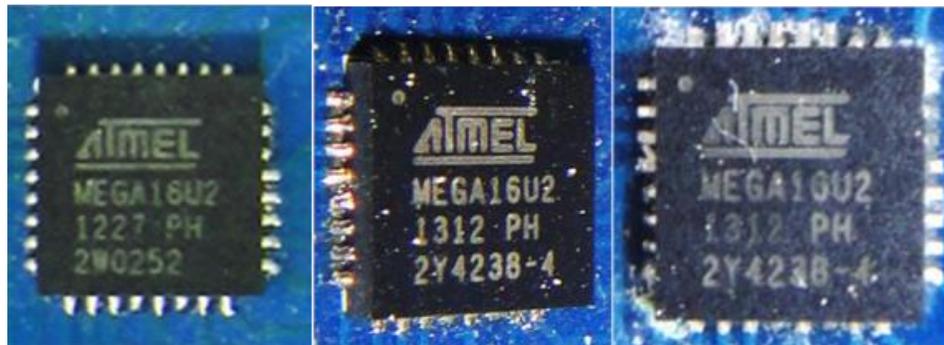
(a)

(b)

(c)

Figura 4.13. Conector ISCP

(a). Forma inicial del elemento. (b) Después de 100 ciclos, se tiene la formación de depósitos de condensado en la parte inferior del conector, así como la presencia de herrumbre en la superficie de las terminales de conexión. (c) Al término de 365 ciclos, las superficies de las terminales tienen mayor presencia de depósitos de productos de corrosión, la presencia de herrumbre en las puntas de las terminales de conexión se comienza a ser presente, el depósito de condensado en la parte inferior del conector está presente en toda la superficie del elemento.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.14 Microcontrolador Atmega 16U2

(a) Apariencia inicial del elemento. (b) Al término de 100 ciclos, la acumulación de depósitos de condensado en las terminales del conexión del microcontrolador es notoria, en la superficie de su encapsulado también están presente los depósitos. (c) Finalizados los ciclos, la acumulación de depósitos de condensado en las terminales del elemento aumento, esto puede ser un factor en la presencia de fallas en el funcionamiento del elemento, el encapsulado del elemento presente también depósitos de condensado en toda su superficie.

4.6.2 Evaluación de la presencia de corrosión en tarjetas Arduino sometidas a condiciones del ensayo #2.

Se realizaron un total de 640 ciclos, las tarjetas fueron sometidas bajo las mismas condiciones climáticas que las tarjetas empleados en el primer ensayo, para este ensayo se inyectaron gases contaminantes (SO_2 y NO_2) durante el inicio de cada ciclo, estos gases ayudaran como catalizadores en el fenómeno de la corrosión.

De la misma forma que en el ensayo anterior, al concluir un número de ciclos se retiran las tarjetas y se hace una inspección visual de la tarjeta, para este ensayo las tarjetas se retiran cada 210 ciclos, esto se decidió tomando como referencia los resultados obtenidos durante el ensayo anterior.

Después de 210 ciclos, el sistema que conforman la tarjeta y el sensor trabaja correctamente, al igual que en el ensayo anterior se han presentado intermitencias en la comunicación de los datos con la computadora, al correr de los ciclos estas fallas se incrementaron, el deterioro en elemento tales como switches hicieron que se presentaran fallas en el funcionamiento de la tarjeta, la presencia de gases contaminantes ayudo a que se aumentara el deterioro en las tarjetas.

A continuación, se presenta como fue el progreso gradual del deterioro en los elementos que presentaron mayor formación de productos de corrosión, a causa de las condiciones del ensayo #2, como los son: Conector USB (Figura 4.15), conector Jack (Figura 4.16), cristal oscilador (Figura 4.17), cristal oscilador tipo SMD (Figura 4.18), conector ISCP (Figura 4.19) y Botón de reinicio (Figura 4.20).

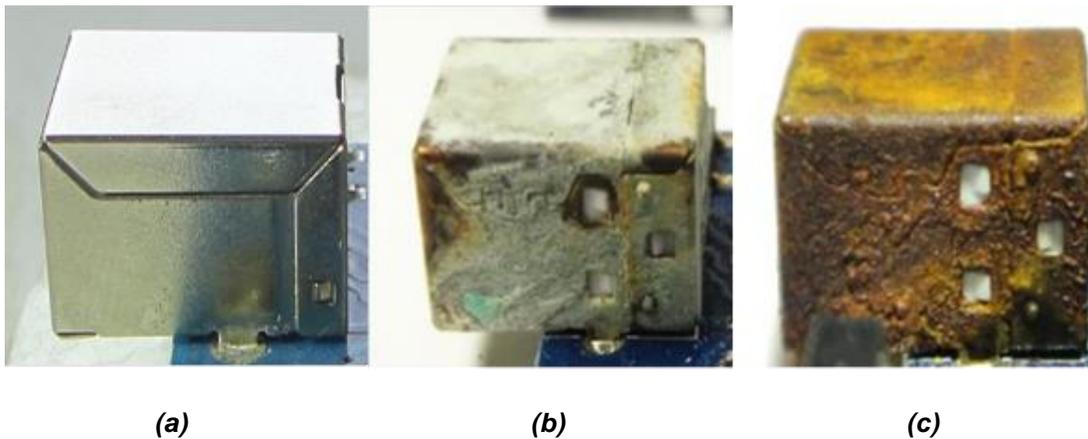
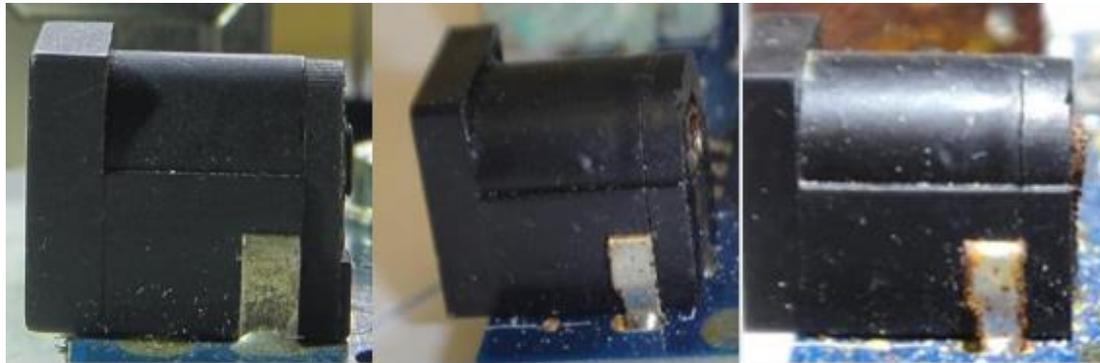


Figura 4.15. Conector USB

(a) Aspecto inicial del elemento. (b) Después de concluir más de 200 ciclos, se formó una capa de productos de corrosión en toda la superficie del elemento, esta capa tiene un tono de color verde claro, en las terminales del conector se tiene la formación de depósitos de condensado. (c) Al termino del ensayo, el deterioro en el elemento es total, tanto en la superficie de su carcasa como en la parte interior del

conector se tiene una capa de herrumbre, el cambio en el tono de color de los depósitos en este elemento son un indicativo del deterioro sufrido en la pieza.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.16 Conector Jack

(a) Forma inicial del elemento. (b) Luego de más de 200 ciclos, el elemento no sufre mucho deterioro, se aprecia la formación de depósitos de herrumbre en sus terminales, así como la formación de depósitos de condensado en su carcasa. (c) Al consumarse los ciclos, la formación de herrumbre en las terminales de conexión se ha incrementado, pero no cubre toda la superficie de las terminales, los depósitos de polvo en toda la superficie del conector también se han incrementado.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.17. Cristal Oscilador de 16 MHz.

(a) Físico inicial del elemento. (b) Al término de 200 ciclos, se tiene la formación de una capa de productos de corrosión en toda la superficie del cristal, el tono de color de esta capa es similar a la que presento el conector USB, el deterioro en este elemento es mayor a la mitad del ensayo en comparación al ensayo anterior. (c) Al completarse el ensayo, la formación de herrumbre cubre por completo la

superficie del elemento, el tono de esta capa es de un verde oscuro, en los alrededores del elemento se tiene la presencia de depósitos de productos de corrosión.

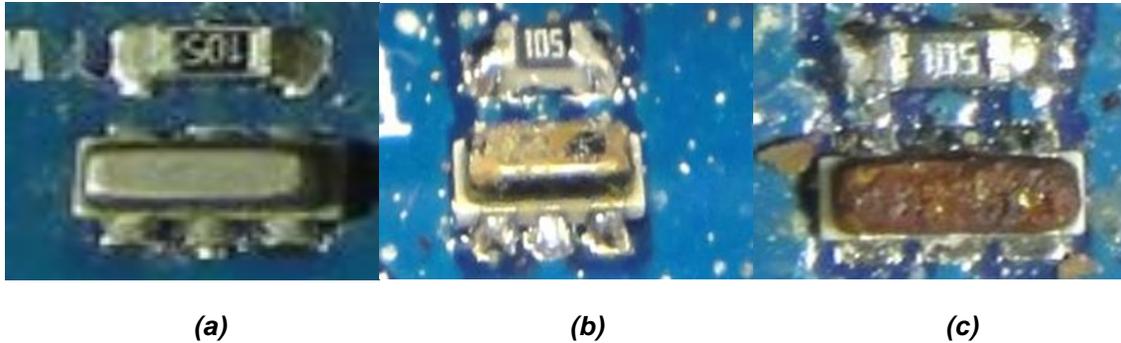


Figura 4.18. Cristal oscilador tipo SMD

(a) Forma inicial del elemento. (b) Al concluir 200 ciclos, se tiene la presencia de la formación de herrumbre en la mayor parte de la superficie del elemento, al igual que en susterrminales de conexión la reistencia junta a este elemento preseneta depositos de condesado. (c) Al terminar los ciclos, la presencia de herrumbre cubre toda la superficie del cristal, el deterior en este elemento es total, la resistencia presenta indicios de productos de corrosión en sus terminales de conexión, se tiene la presencia de depositos de productos de corrosión alrededor del cristal.

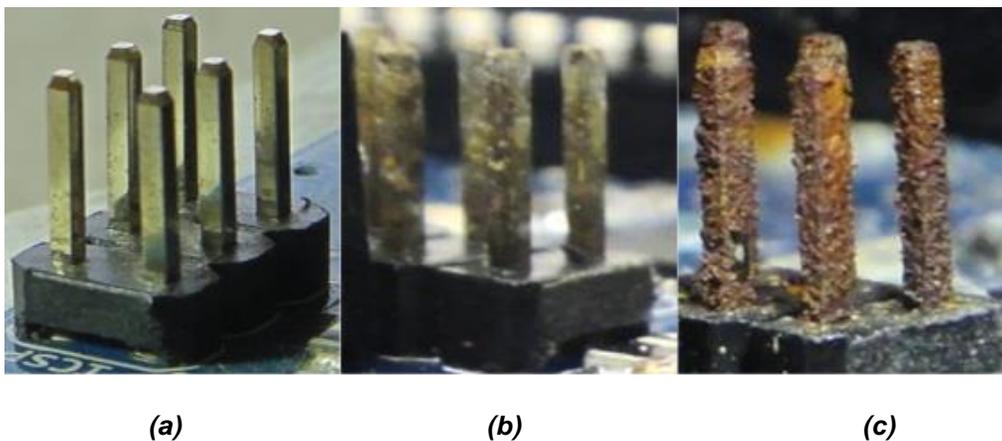
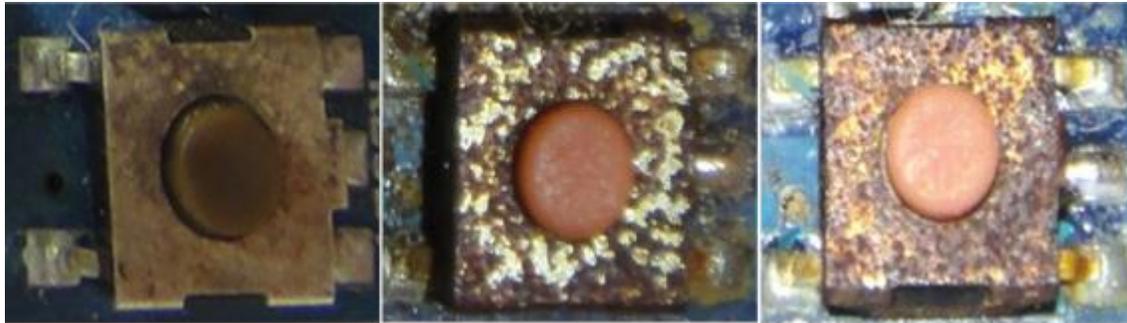


Figura 4.19. Conector ISCP

(a) Apariencia inicial del conector. (b) Luego de concluir 210 ciclos, la superficie de las terminales de conexión del elemento presenta, la formación de depsoritos de productos de corrosión, estos depositos se alojan en mayor parte en la punta de las terminales. (c) Luego de finiquitar los ciclos, la superficie total de las terminales de conexión se encuentra cubierta en su totalidad de herrumbre y en la parte

inferior de las terminales se tiene la presencia de depósitos de productos de corrosión, este elemento es uno de los más deteriorados.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.20. Botón de reinicio

(a) Aspecto inicial del botón. (b) Al término de 200 ciclos, la presencia de herrumbre tanto en la carcasa del botón así como en las terminales de conexión es notorio, el elemento sigue trabajando de manera correcta a pesar del deterioro presente. (c) Al completar el ensayo, la presencia de herrumbre cubre toda la superficie del elemento, al igual que en sus terminales de conexión, el deterioro de este elemento se ve reflejado en su funcionamiento, el botón ya no trabaja de manera adecuada, lo que afecta al funcionamiento de la tarjeta.



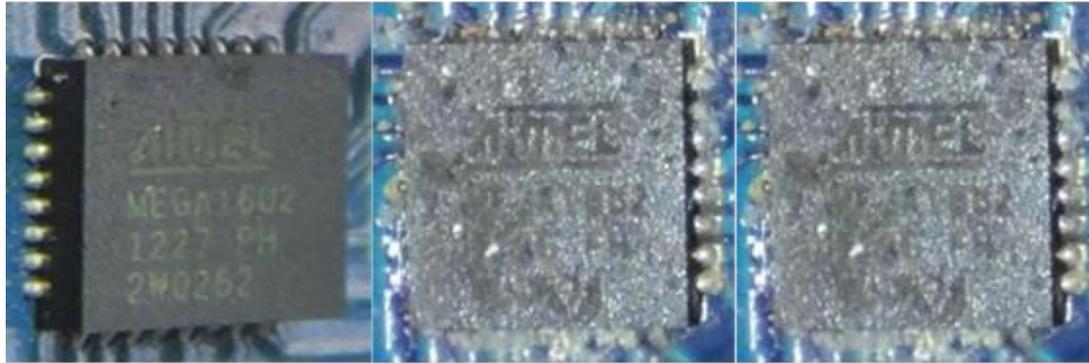
(a)

(b)

(c)

Figura 4.21 Regulador de tensión

(a) Vista inicial del elemento. (b) Luego de más de 200 ciclos, se presenta la formación de productos de corrosión en la terminal central del elemento, en su encapsulado se tiene la presencia de depósitos de condensado. (c) Después de concluir 640 ciclos, la terminal presenta un mayor deterioro y las demás terminales presentan la formación de depósitos de productos de corrosión a su alrededor, el encapsulado del elemento tiene la presencia de depósitos de condensado.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.22. Microcontrolador Atmega 16U2

(a) Fisonomía inicial del elemento. (b) Al termino de 200 ciclos, en las terminales de conexión se tiene la presencia de depósitos de condensado, de la misma forma en la superficie del encapsulado se tienen la acumulación de depósitos de condensado. (c) Al completar los ciclos, los depósitos se han incrementado su presencia en las terminales de conexión, en los alrededores del elemento se tiene la presencia de depósitos de productos de corrosión, estos productos también se puede acumular entre las terminales de conexión, la superficie del encapsulado presenta depósitos de condensado.



(a)

(b)

Figura 4.23 Conjunto de capacitores y resistencias SMD

Figura 4.23. Conjunto de capacitores y resistencias SMD: (a) Forma inicial del conjunto de elementos. (b) Los capacitores y presentan una capa de productos de corrosión, la cual cubre toda su superficie, este conjunto de elementos se encuentra ubicado junto al conector USB, se observa que hay desprendimiento de material perteneciente al conector el cual se acumula entre el conjunto de capacitores y resistencias.

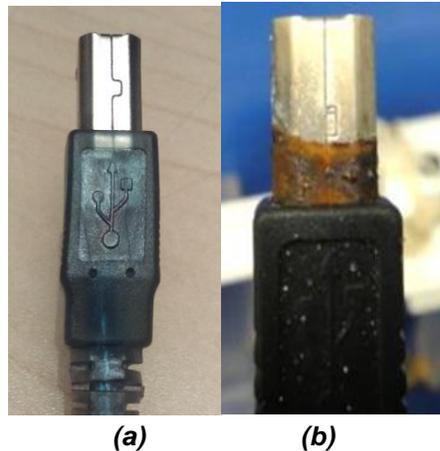


Figura 4.24. Conector de cable de conexión USB

(a) Aspecto inicial cable de conexión USB. (b) Apariencia después de 420 ciclos, al retirar las tarjetas para su evaluación se identificó la presencia de deterioro en la parte inferior de la superficie del conector, la presencia de productos de corrosión en este elemento es uniforme en la parte afectada, la superficie que no se ve afectada es la que entra en al conector USB de la tarjeta, la parte interna del conector no presenta daño, el cable en este momento del ensayo trabaja de manera correcta, solo se ve afectado de manera superficial el conector.

4.6.3 Inspección en microscopio electrónico de barrido (MEB) de las tarjetas Arduino sometidas bajo las condiciones del Ensayo #1

Una vez identificados los elementos con mayor deterioro se procede a evaluar los especímenes mediante microscopia electrónica de barrido, en donde, con auxilio de la microsonda, se identifican con mejor detalle el deterioro y los depósitos generados por efectos corrosivos, permitiendo identificar así a los agentes que causan en mayor efecto en el deterioro.

Uno de los elementos que se vieron más afectados a causa de la presencia de productos de corrosión, fueron los cristales osciladores en los cuales se observa la presencia de depósitos de condensado y la formación de depósitos de productos de corrosión (Figura 4.25), gracias a la ayuda de la microscopia es más fácil poder observar la formación de los depósitos que no son perceptibles a simple vista.

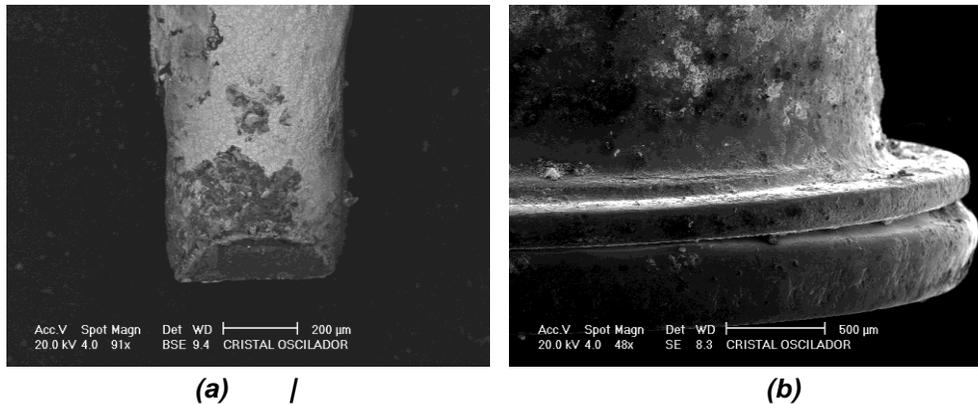


Figura 4.25 (a) Terminal de conexión del cristal oscilador de 16 MHz. (b) Vista lateral del cristal oscilador de 16 MHz.

(a) Fisionomía de una de las terminales de conexión del cristal oscilador, en la cual se observa la formación de depósitos de productos de corrosión en la punta de la terminal, estas terminales se encuentran protegidas en la mayor parte de su superficie por la soldadura, como se observa en la imagen la punta de la terminal presentan deterioro, esto puede ser causado por una mala aplicación de la soldadura durante su instalación. (b) Se aprecia la formación de una capa de condensado en la superficie del cristal, así como la presencia de acumulación de depósitos de productos de corrosión en la parte inferior del cristal, estos depósitos cubren la mayor parte de la superficie de éste elemento, en las hendiduras presentes en éste elemento se tiene la presencia de productos de corrosión.

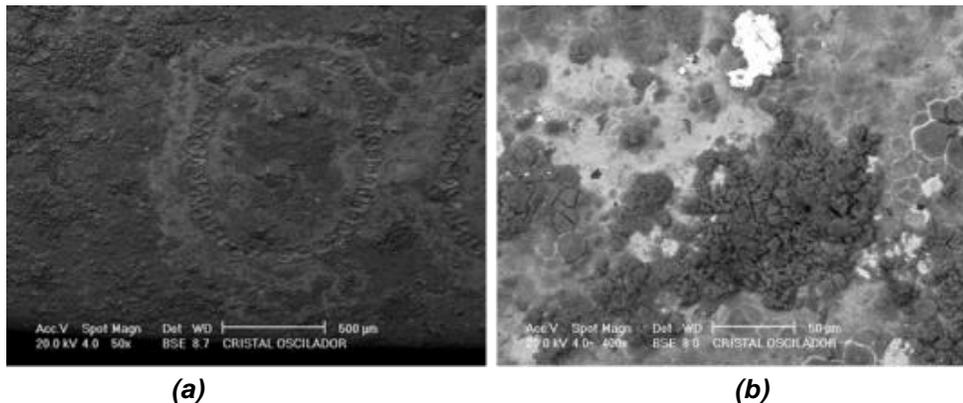
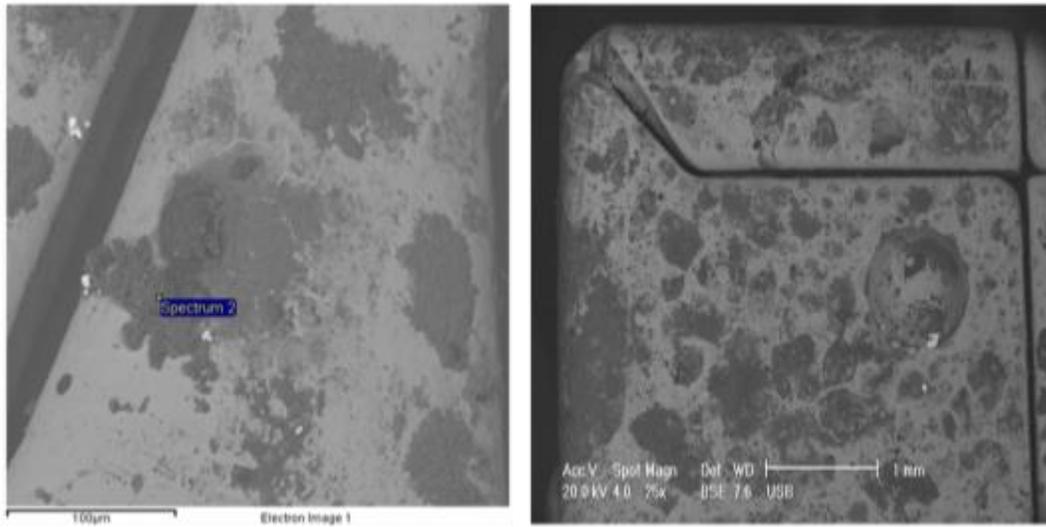


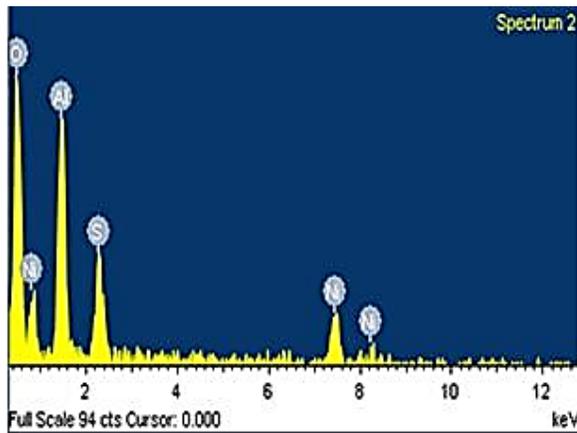
Figura 4.26 (a) Vista superior de la superficie del cristal oscilador de 16 MHz. (b) Imagen ampliada de los depósitos de productos de corrosión presentes en la superficie del cristal.

(a) Acumulación de depósitos de productos de corrosión, los cuales se almacenan dentro del espacio donde se ubica el dígito número cero que nos indica el valor del cristal 16 MHz. (b) Imagen ampliada de la acumulación de depósitos de productos de corrosión, así como la presencia de una pequeña acumulación de soldadura.



(a)

(b)



(c)

Tabla 4.6 Análisis cuantitativo de la superficie del conector USB

Element	Weight %	Atomic %
O	67.24	80.60
Al	18.71	13.30
S	5.56	3.33
Ni	8.49	2.77
Totals	100.00	

Figura 4.27 (a) Exterior de la superficie del conector USB que se seleccionó para realizar el análisis con la ayuda de la microscopia electrónica de barrido. **(b)** Imagen de la carcasa a bajos aumentos, se tiene la formación de depósitos en toda la superficie de éste elemento, así como en las hendiduras que tiene éste conector. **(c)** Espectro de la superficie del conector USB analizada. Tomando como base los datos obtenidos en la **Tabla 4.6**, uno de los elementos que tiene mayor presencia es el oxígeno, indicando que hay deterioro, otros elementos presentes son los metales tales como el aluminio y el níquel, éste elemento se encuentra protegido por un recubrimiento de níquel, aun cuando para éste ensayo no se emplearon gases contaminantes, en el espectro se tiene la presencia de azufre.

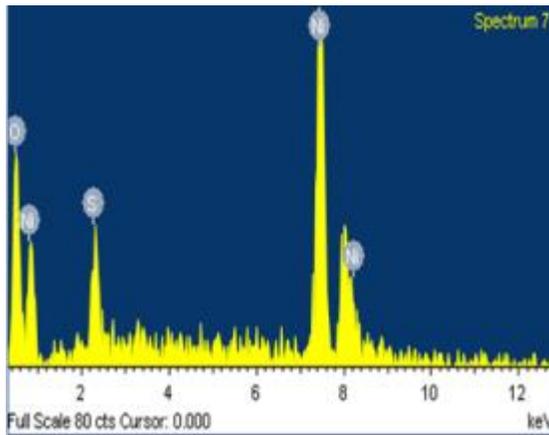
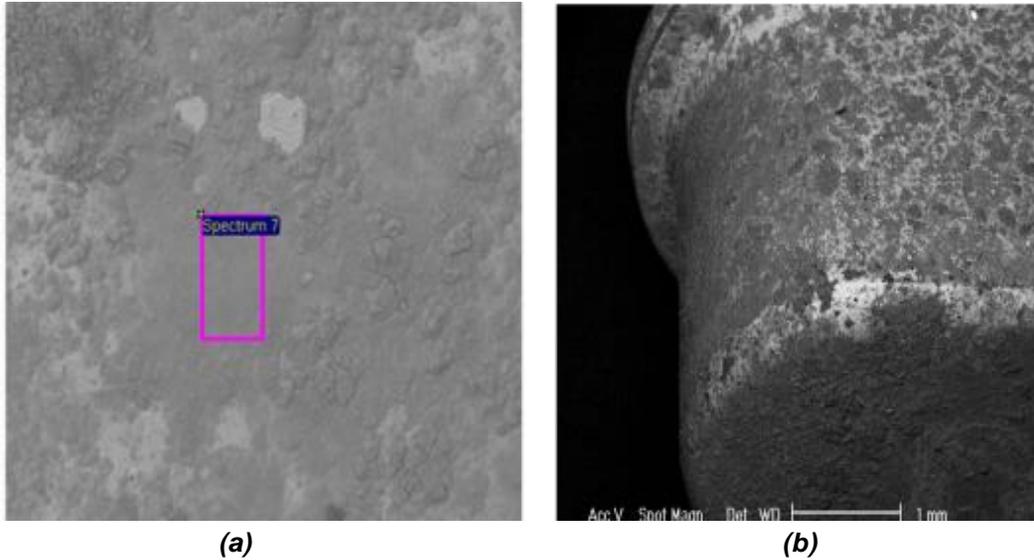


Tabla 4.7 Análisis cuantitativo de la superficie del cristal de 16 MHz

Element	Weight %	Atomic %
O	45.35	73.65
S	5.90	4.78
Ni	48.75	21.57
Totals	100.00	

Figura 4.28 (a) Forma de la superficie del cristal oscilador de 16 MHz. que se seleccionó para el estudio. **(b)** Imagen a bajos aumentos de la superficie del cristal oscilador, en esta imagen se puede apreciar que toda la superficie del cristal oscilador se encuentra cubierta con una capa formada por depósitos de condensado, así como depósitos de productos de corrosión. **(c)** Espectro de la superficie del cristal oscilador analizada. De acuerdo a los datos obtenidos en la **Tabla 4.7**, el elemento que tiene mayor presencia en la superficie seleccionada es el oxígeno, indicando que se tiene la formación de óxidos en la superficie de éste elemento, el níquel es el metal que mayor presencia tiene en la superficie del cristal, esto debido a que el elemento se encuentra protegido por una capa de níquel, al igual que en el análisis del conector USB, se tiene la presencia en menor manera de azufre en la superficie del conector.

4.6.4 Inspección en microscopio electrónico de barrido (MEB) de las tarjetas Arduino sometidas bajo las condiciones del Ensayo #2.

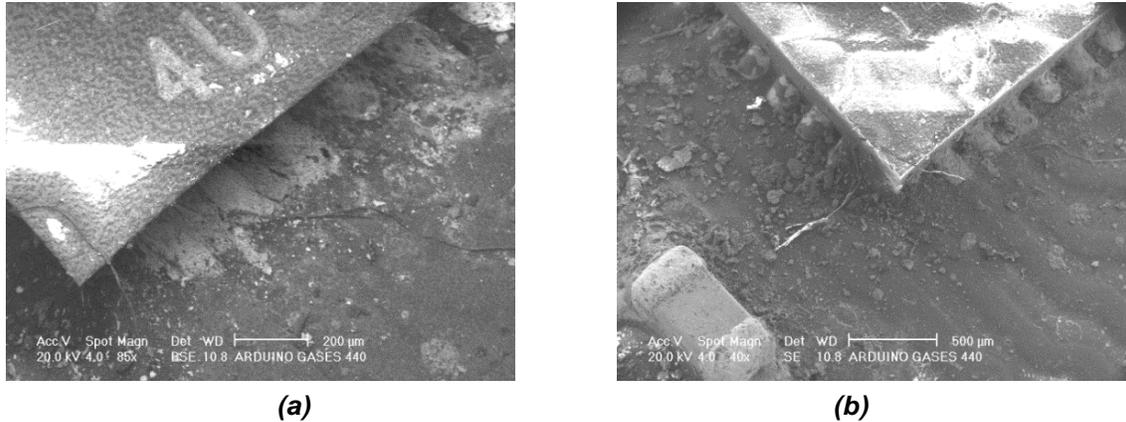


Figura 4.29 (a) Terminales de conexión del microcontrolador Atmega 16U2. (b) Microcontrolador y capacitor SMD.

(a) Se tiene acumulación de productos de corrosión entre las terminales de conexión, así como a su alrededor. (b) Presencia de acumulación de productos de corrosión en la superficie de la tarjeta impresa, así como en parte de las terminales de conexión del capacitor SMD, en la superficie del encapsulado del microcontrolador se aprecia la presencia de depósitos de condensado en un tono muy claro.

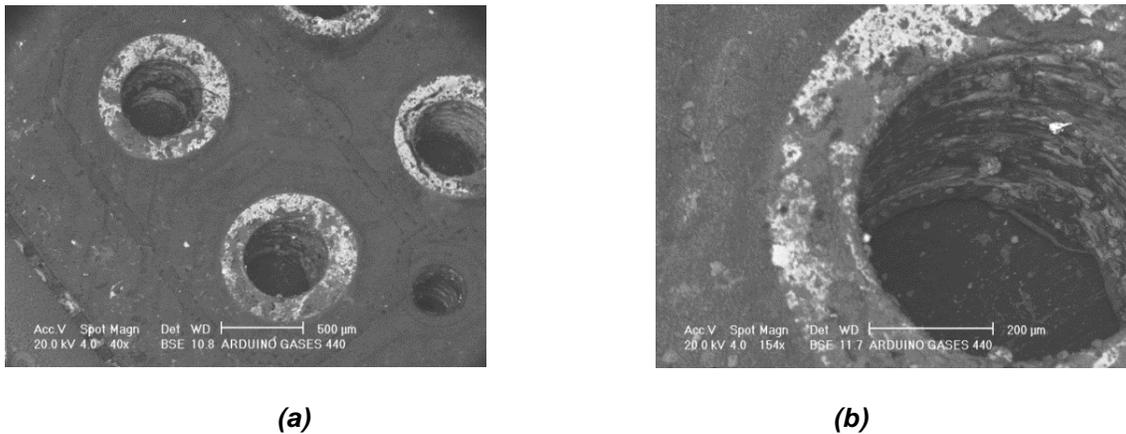
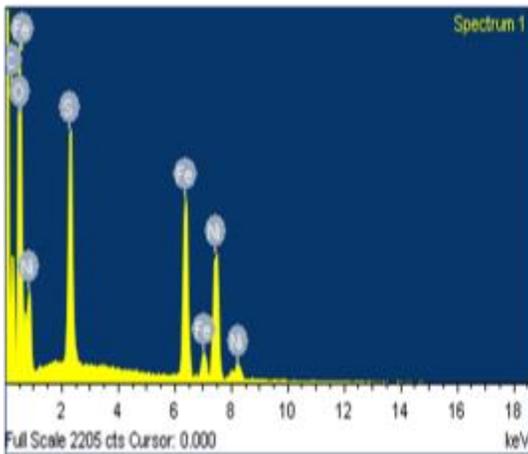
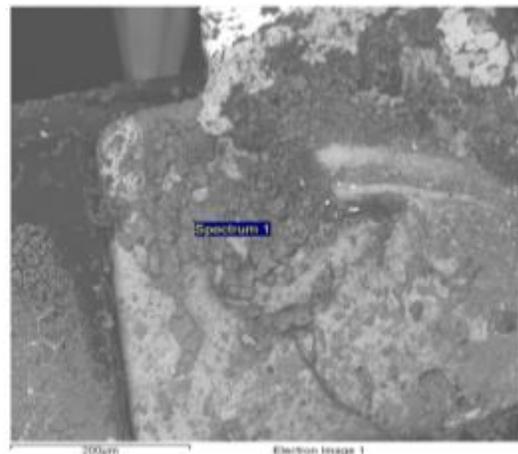


Figura 4.30 (a) Superficie del conector JP2. (b) Imagen de la parte interior de conector

(a) Se aprecia la presencia de productos de corrosión en la parte superior de las terminales de conexión. (b) Se tienen indicios de corrosión en la parte interior del conector, se tiene la presencia de herrumbre y se observa que hay desprendimiento de material, esto a causa del deterioro.



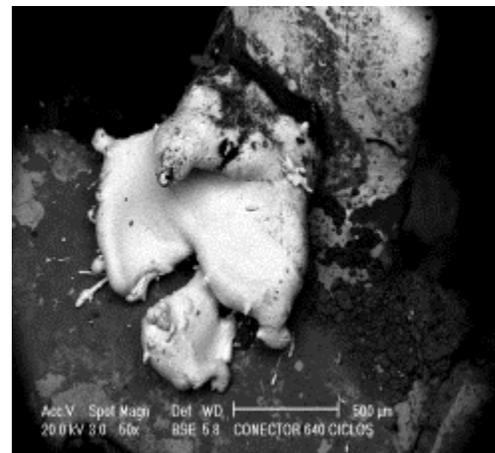
(a)



(b)

Tabla 4.8 Análisis cuantitativo de la Superficie del conector USB

Element	Weight%	Atomic%
C	20.80	28.76
S	3.13	1.62
Fe	5.97	1.78
N	6.51	1.84
O	63.58	66.00
Totals	100.00	



(c)

Figura 4.31 (a) Espectro de la superficie del conector USB. (b) Imagen de la superficie contigua a la terminal de conexión del conector USB, en donde es notorio el deterioro sufrido, se aprecian depósitos en la base de las terminales de conexión, pero en la mayor parte de la superficie de las terminales no se aprecia la formación de depósitos, esto a pesar de que esta parte de las terminales se encontraba protegida por la soldadura. (c) Imagen de la terminal de conexión del conector USB, en la cual se encuentra una pequeña cantidad de soldadura, la cual no muestra evidencia de deterioro por los efectos de la corrosión, se aprecia el deterioro que presenta la carcasa del conector y la presencia de depósitos de material en toda la superficie de la base, así como en la hendiduras que dan la forma al conector.

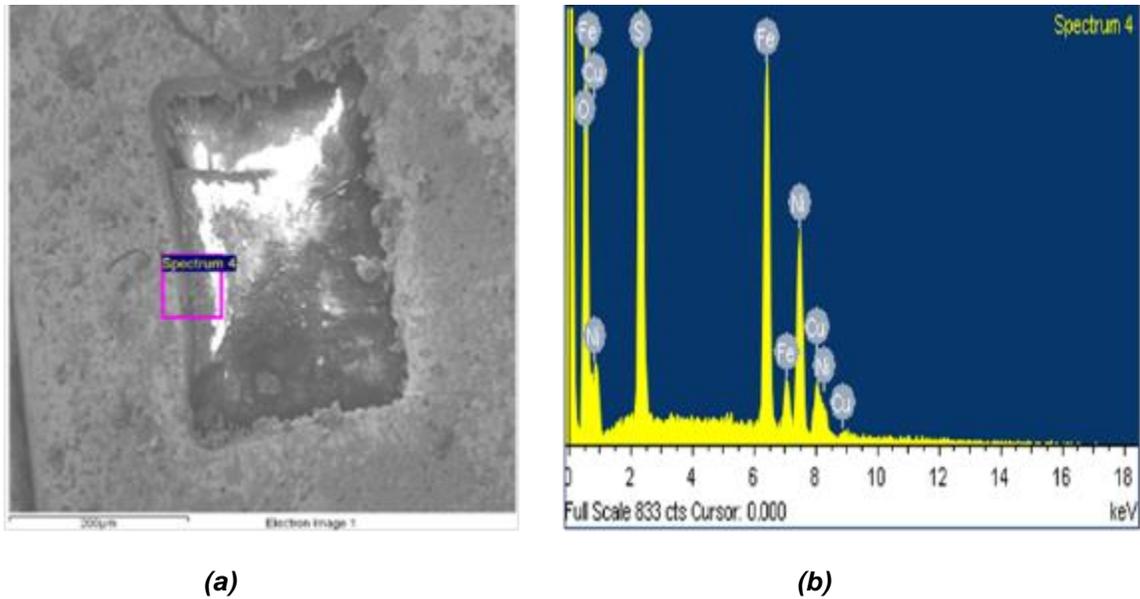


Tabla 4.9 Análisis cuantitativo de la superficie interior de la terminal de conexión de conector USB

Element	Weight%	Atomic%
S	15.25	13.29
Fe	22.51	11.27
Ni	19.71	9.38
Cu	6.31	2.77
O	36.23	63.29
Totals	100.00	

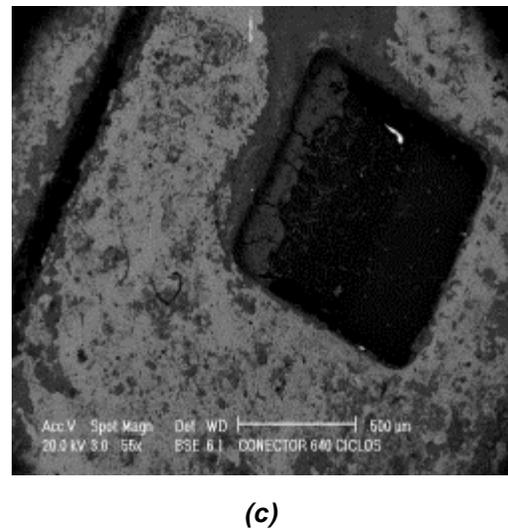
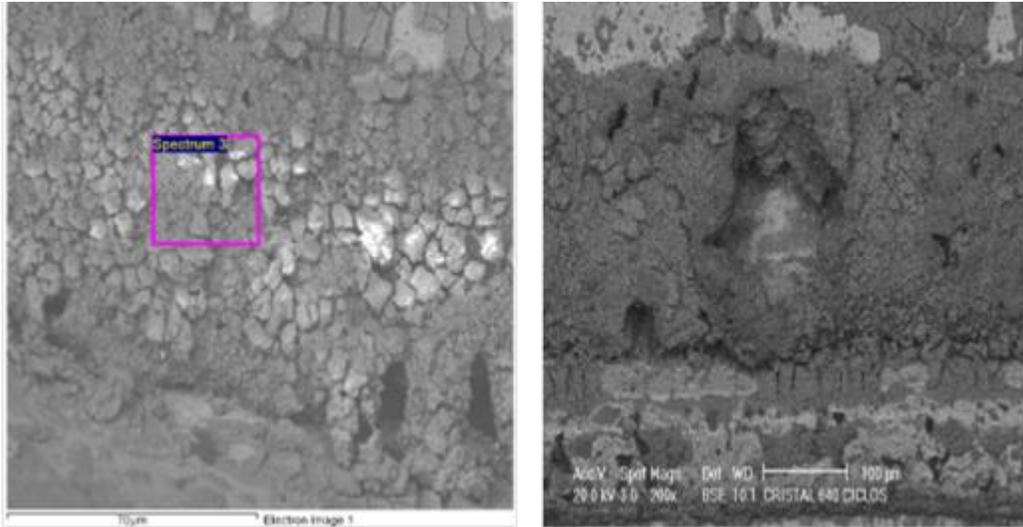


Figura 4.32 (a) Superficie de la estructura interior del conector USB. **(b)** Espectro de la superficie analizada, uno de los elementos que tiene mayor presencia es el oxígeno, en forma de óxidos, se tiene la presencia de níquel por ser el recubrimiento del conector, así como la presencia de hierro el cual está presente en el encapsulado del elemento, así también como la presencia de cobre. **(c)** Imagen de la superficie de la estructura interior del conector en la cual se tiene la formación de depósitos, los cuales se aprecian en un tono claro, también hay desprendimiento de material debido al deterioro.

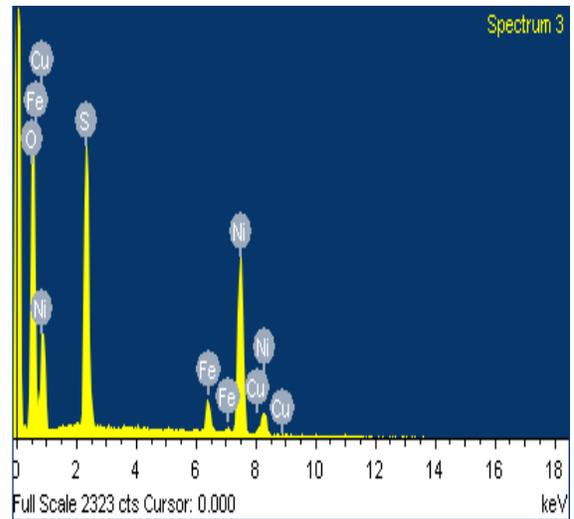


(a)

(b)

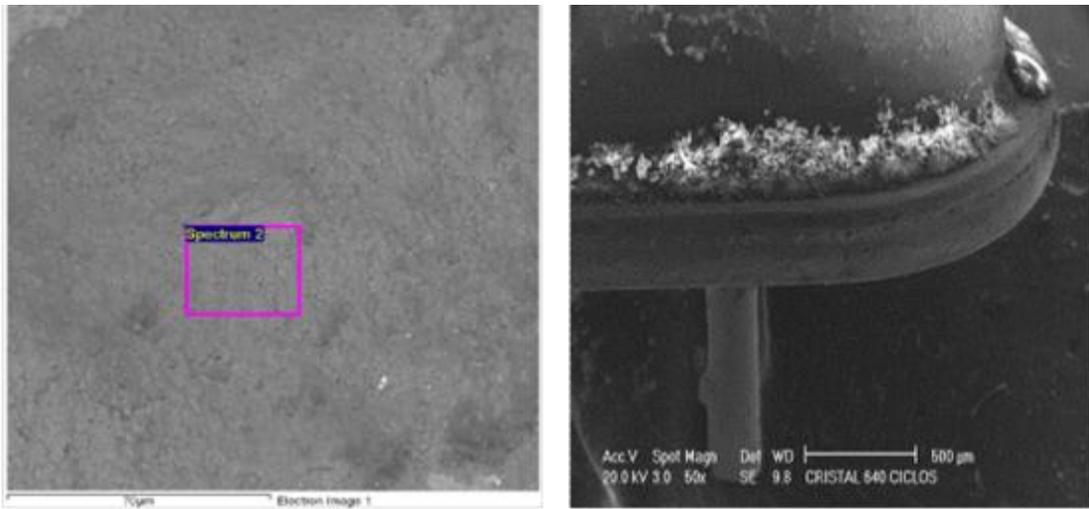
Tabla 4.10 Análisis cuantitativo de la superficie del cristal de 16 MHz

Element	Weight%	Atomic%
S	19.51	15.97
Fe	3.63	1.70
Ni	36.19	16.17
Cu	0.45	0.18
O	40.22	65.97
Totals	100.00	



(c)

Figura 4.33 (a) Superficie lateral del cristal oscilador de 16 MHz. (b) Se presenta la formación de depósitos de productos de corrosión, se presenta un deterioro severo en éste elemento, el desprendimiento de material puede ocasionar una falla en el funcionamiento de éste elemento, estos depósitos se acumulan en la parte inferior del cristal oscilador. (c) Espectro de la superficie, los elementos que cuentan con mayor presencia son el oxígeno, azufre, níquel el cual pertenece al recubrimiento y en menor proporción el hierro y cobre.

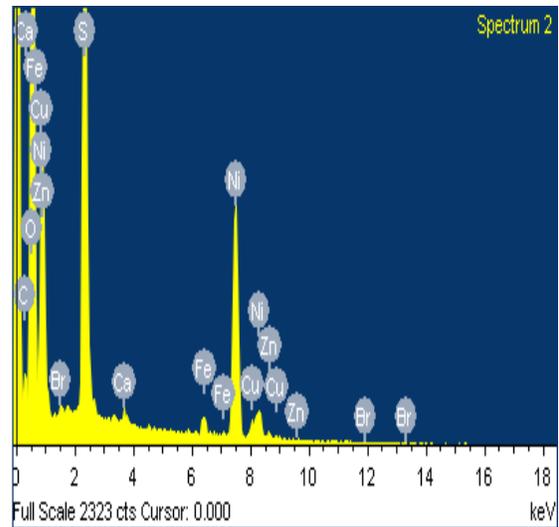


(a)

(b)

Tabla 4.11 Análisis cuantitativo de la Superficie del cristal oscilador de menor tamaño

Element	Weight %	Atomic %
C	13.40	20.81
S	11.38	6.62
Ca	0.20	0.09
Fe	0.81	0.27
Ni	14.49	4.61
Cu	1.19	0.35
Zn	0.53	0.15
Br	0.58	0.13
O	57.42	66.96
Totals	100.00	



(c)

Figura 4.34 (a) Superficie del encapsulado del cristal oscilador de menor tamaño, (b) Se aprecia la formación de depósitos de herrumbre en el contorno de la superficie del cristal, así como la presencia de depósitos de condensado. (c) Espectro del cristal oscilador, los elementos con mayor presencia son el oxígeno, carbono el cual puede ser silicio o estaño, azufre y níquel por ser el recubrimiento del elemento, en menor presencia se tiene al hierro y al cobre.

En la Tabla 4.12 y la Figura 4.35, se representando en forma gráfica el deterioro presente en las tarjetas, después de concluir los ciclos totales correspondientes al Ensayo #1. En color rojo se indican los elementos que presentaron fallos por corrosión.

Tabla 4.12 Tabla de control por elemento del deterioro sufrido por presencia de corrosión,

Numero	Elemento	Depósitos de condensado Si o No	Presencia de Herrumbre Si o No	Fallo por corrosión Si o No
1	Conector USB	Si	Si	Si
2	Conector Jack	Si	Si	Si
3	Microcontrolador Atmega 328	Si	No	No
4	Microcontrolador Atmega 16U2	Si	No	Si
5	Cristal Oscilador a 16 MHz	Si	Si	No
6	Amplificador operacional	Si	No	No
7	Regulador de tensión para 5V	Si	No	No
8	Fusible SMD de 500 mA	No	No	No
9	Transistor	No	No	No
10	Capacitores cerámicos SMD	Si	No	No
11	Resistencias SMD	Si	No	No
12	Conector ICSP para Atmega 16U2	Si	Si	Si
13	Conector ICSP para Atmega 328	Si	Si	Si
14	Regulador de tensión para 3.3V	Si	No	No
15	Cristal Oscilador	Si	Si	No
16	LED Pin 13	Si	No	No
17	LED TX	Si	No	No
18	LED RX	Si	No	No
19	LED de Encendido	Si	No	No
20	Capacitores electrolíticos	Si	No	No
21	Conector JP2	Si	No	No
22	Diodo M7	No	No	No
23	Botón Reset	Si	Si	Si
24	Resistencia	No	No	No
25	Pines de conexión	Si	No	No

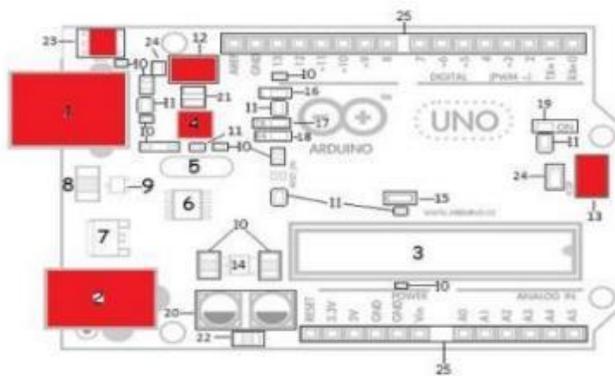


Figura 4.35.

Los resultados obtenidos al analizar las diferentes muestras, indican como pueden afectar las condiciones climáticas de un entorno a los componentes presentes en dispositivos electrónicos, ya que debido al tipo de material del que están fabricadas sus carcasas de protección, encapsulados, terminales de conexión y otros tipos de conectores, pueden ser susceptibles a presentar deterioro debido a la presencia de corrosión.

Bajo las condiciones climáticas empleadas para el Ensayo #1, al trabajar únicamente con la presencia de ciclos de humedad y temperatura, los efectos causados por la corrosión en algunos elementos fue notorio, no solo afectando la superficie de estos elementos sino también su funcionamiento, si bien en éste ensayo no se inyectaron gases contaminantes los cuales promueven la presencia de corrosión, si se presentó deterioro en elementos que son importantes en el funcionamiento como conjunto de la tarjeta.

- **Conectores USB y conector de alimentación Jack:** Elementos que permiten respectivamente la comunicación con la computadora para programar y ejecutar en segundo plano las actividades encomendadas a la tarjeta, así como la alimentación vía USB y la alimentación mediante baterías o alimentación eléctrica mediante un eliminador, se vieron afectados por el deterioro sufrido a causa de la presencia de corrosión, si bien su funcionamiento es correcto en algunos momentos durante los ensayos se presentaron intermitencias en la comunicación con la computadora y falsos contactos en ambos elementos, si bien estas fallas no tienen como causantes únicos a los conectores.
- **Botón de reinicio:** Éste elemento ya no realizaba su función de reiniciar o detener las acciones a realizar, siendo esto únicamente posible mediante la comunicación vía USB con la computadora, no siendo práctico esto para el tipo de trabajo y el entorno en el cual se desempeñará el equipo.
- **Cristales osciladores:** Elementos que presentaron formación de depósitos de condensado en toda su superficie, siendo más notorio en el cristal oscilador de menor tamaño, estos elementos tienen como función el hacer más suaves las señales de comunicación con los microcontroladores, para que estos trabajen de manera óptima, las resistencias y capacitores SMD presentaron en algunos casos una ligera capa de depósitos de condensado en sus encapsulados cerámicos así como en la bases de conexión de estos elementos con la tarjeta, esto puede ocasionar una intermitencia en la conexión con las pistas de conexión con la tarjeta y ocasionar una falla en la correcta alimentación de voltaje a los microcontroladores.

- **Terminales de conexión de los conectores ICSP:** Estos presentaron un deterioro en gran parte de la superficie de estos elementos, estos conectores tienen la misión de poder realizar una comunicación directa con los dos microcontroladores sin la necesidad de removerlos de la tarjeta para poder programarlos de manera individual, si bien el deterioro en estos elementos solo es superficial esto puede ocasionar una interrupción en la comunicación al momento de realizar una conexión con los microcontroladores, estas terminales pueden ser limpiadas y estas trabajaran de manera correcta nuevamente.

De un total de 21 componentes electrónicos diferentes, bajo las condiciones del Ensayo #1 se tiene que:

- A. 16 Tipos diferentes de elementos presentaron acumulación de depósitos de condensado, lo que representa el **76.2%** de los elementos presentes en la tarjeta, la mayoría de estos elementos son resistencias, capacitores y leds.
- B. 7 Elementos en general para todas las muestras presentaron deterioro por presencia de corrosión, lo que representa el **33.3 %** de los elementos presentes en la tarjeta,
- C. 6 Elementos presentaron fallas en su funcionamiento por presencia de corrosión, lo que representa el **28.6%** de los elementos.

El porcentaje de elementos que presentaron fallas por presencia de corrosión es bajo, pero los elementos que se vieron afectados, cumplen funciones importantes y algunos otros elementos pueden verse afectados en su funcionamiento a causa de estos fallos.

En la Tabla 4.13 y la Figura 4.36, se presentan la información representando en forma gráfica el deterioro presente en las tarjetas, después de concluir los ciclos totales correspondientes al Ensayo #2. En color rojo se indican los elementos que presentaron fallos por corrosión.

Tabla 4.13. Tabla de control por elemento, del deterioro sufrido por presencia de corrosión.

Numero	Elemento	Depósitos de condensado Si o No	Presencia de Herrumbre Si o No	Fallo por corrosión Si o No
1	Conector USB	Si	Si	Si
2	Conector Jack	Si	Si	Si
3	Microcontrolador Atmega 328	Si	No	No
4	Microcontrolador Atmega 16U2	Si	Si	Si
5	Cristal Oscilador a 16 MHz	Si	Si	No
6	Amplificador operacional	Si	Si	No
7	Regulador de tensión para 5V	Si	Si	No
8	Fusible SMD de 500 mA	Si	Si	No
9	Transistor	Si	Si	No
10	Capacitores cerámicos SMD	Si	Si	No
11	Resistencias SMD	Si	No	No
12	Conector ICSP para Atmega 16U2	Si	Si	Si
13	Conector ICSP para Atmega 328	Si	Si	Si
14	Regulador de tensión para 3.3V	Si	Si	No
15	Cristal Oscilador	Si	Si	No
16	LED Pin 13	Si	No	No
17	LED TX	Si	No	No
18	LED RX	Si	No	No
19	LED de Encendido	Si	No	No
20	Capacitores electrolíticos	Si	No	No
21	Conector JP2	Si	Si	Si
22	Diodo M7	Si	No	No
23	Botón Reset	Si	Si	Si
24	Resistencia	Si	No	No
25	Pines de conexión	Si	Si	Si

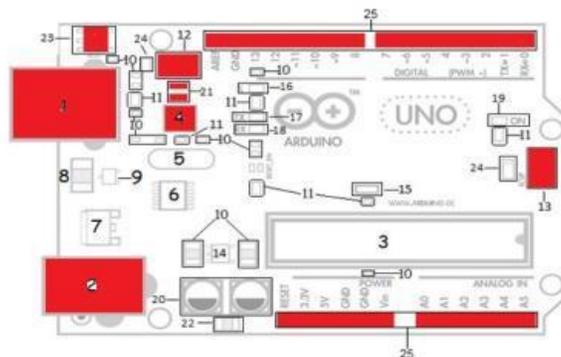


Figura 4.36

Para el segundo ensayo, los elementos que sufrieron un grado mayor de deterioro, presentando corrosión uniforme en toda la superficie de estos elementos, así como en sus terminales de conexión, en términos generales son los mismos que se identificaron en el primer ensayo.

- **Conector USB:** fue uno de los elementos que presento un deterioro mayor, la superficie de la carcasa de protección del conector presento corrosión uniforme en toda su superficie y en el interior del conector se presentaron depósitos de condensado y herrumbre, parte del material que se desprendía a causa de la corrosión del conector se depositaba entre un conjunto de capacitores y resistencias que se encuentra junto a éste elemento, éste conjunto de capacitores y resistencias presentaron la formación de depósitos de condensado y material proveniente del conector, formándose depósitos no solo en la superficie de estos, también en los puntos de conexión con la tarjeta, la intermitencia en la comunicación con la computadores fue una de las fallas más frecuentes.
- **Carcasa de protección del botón reset** presento corrosión uniforme en toda su superficie, también se presentó deterioro en sus terminales de conexión, al igual que en las muestra del ensayo anterior éste elemento ya no se desempeñaba de manera correcta siendo imposible reiniciar o detener un sketch de manera manual.
- **Cristales osciladores** fueron otros de los elementos que mayor deterioro sufrieron, en estos la corrosión era uniforme en toda la superficie de su encapsulado de metal, en su base se encontraba situada una gran acumulación de depósitos de condensado y de material que se desprende de estos a causa de la corrosión, la pérdida de material de estos elementos puede que sea mínima pero la pérdida puede afectar de manera importante su función, de suavizar las señales para comunicarlas a los microcontroladores y esto a su vez ocasionar que el desempeño de los microcontroladores no sea el adecuado.

Si bien las resistencias y capacitores al estar protegidos por sus encapsulados cerámicos no se ven afectados por la presencia de corrosión si se presentaron depósitos de condensado y de material proveniente de otros elementos, en algunos casos se presentaron depósitos en sus terminales de conexión los cuales se ven protegidos por la soldadura.

- **Microcontrolador 16U2:** presento una mayor presencia de depósitos de material y condensado en sus terminales de conexión, si bien éste está protegido por su encapsulado de polímero en su superficie se encontraba una gran formación de depósitos de condensado, la presencia de depósitos

en sus terminales puede ocasionar una falla de intermitencia en la comunicación, éste microcontrolador es el encargado de realizar la comunicación con la computadora mediante la conexión USB.

- **Conectores ISCP:** sufrieron un deterioro severo en toda la superficie de sus terminales de conexión, en la base de los conectores se apreciaba la acumulación de depósitos de condensado y material que se desprendía de las terminales de conexión a causa de la corrosión, el funcionamiento de estos conectores puede que ya no sea el correcto esto debido al estado del deterioro que presentan.

De un total de 21 componentes electrónicos diferentes, bajo las condiciones del Ensayo #2 se tiene que:

1. 21 Componentes electrónicos, presentaron depósitos de condensado, lo que representa el **100%** de los elementos presentes en la tarjeta.
2. 16 Elementos en general presentaron deterioro por presencia de corrosión, lo que representa que un **76.2%** de los elementos sufrieron deterioro por presencia de corrosión.
3. 8 Elementos presentaron fallas por presencia de corrosión, lo que representa el **38%** de los elementos

Con el uso de (MEB) fue posible identificar los productos que se generan a causa del deterioro sufrido en los componentes electrónicos, acorde a resultados, el gas más significativo que incide en el deterioro en equipo electrónico es el SO₂.

El efecto que tienen las condiciones climáticas de una región, así como la presencia de gases contaminantes en el deterioro de dispositivos electrónicos son causa de fallas que a su vez causan pérdidas económicas y lo más importante pérdida de información; estas fallas se pueden prevenir si se tiene en consideración que hay materiales que son más susceptibles que otros a presentar corrosión por efectos ambientales y que una protección adecuada de estos puede prevenir en mayor manera la presencia de dicho fenómeno.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

Teniendo como referencia las condiciones ambientales de la Cd. de México y con base en los resultados obtenidos, los factores que conllevan en una mayor proporción a la presencia de corrosión atmosférica son los contaminantes en combinación con HR y variaciones de temperatura.

Las muestras que fueron expuestas a ciclos de humedad relativa y variaciones de temperatura, presentan deterioro significativo del **33.3%** en componentes electrónicos (conectores, resistencias, capacitores y microcontroladores).

Las muestras sometidas a ciclos de humedad, variación de temperatura e inyección de gases contaminantes presentan deterioro en el **76.2%** de sus elementos (conectores, resistencias, capacitores, switches, pines y microcontroladores), siendo el doble de los elementos los que sufren deterioro a causa de la corrosión atmosférica.

Del total de las muestras evaluadas en ambos ensayos se tiene que el 100% de los especímenes presentaron indicios de corrosión, en mayor o menor grado dependiendo de las condiciones bajo las cuales fueron ensayadas.

Acorde a resultados obtenidos, el estudio indica que el gas contaminante con mayor incidencia en el deterioro de los dispositivos electrónicos es el SO₂.

Los gases contaminantes y la presencia de partículas suspendidas en el aire son factores importantes que promueven deterioro en menor o mayor grado, dependiendo de los materiales con los que son fabricados los componentes de los dispositivos electrónicos.

La miniaturización de los componentes electrónicos, así como la disminución de los espacios entre cada componente, conlleva a tener una alta susceptibilidad de presentar deterioro debido a la acumulación de condensado, lo cual propicia la presencia de corrosión en los componentes.

El presente trabajo no hace énfasis en el estudio de los materiales en particular y diferentes tipos de encapsulado de los componentes presentes en dispositivos electrónicos, la idea fundamental es determinar aquellos elementos que son más susceptibles a presentar fallas por corrosión del tipo atmosférica.

Las fallas presentadas, se podrían evitar al realizar una mejor selección de los materiales a emplear para la fabricación de estos elementos, la aplicación de capas de recubrimientos en las terminales de conexión, así como en realizar sellados más herméticos.

En el caso de los microcontroladores, así como de las resistencias y capacitores SMD, la soldadura que protege en algunos casos, se observó que su aplicación no es uniforme en la superficie de las terminales de conexión y esto puede ocasionar que se presente deterioro en las mismas, aunado a esto, la presencia de depósitos de condensado formados en la superficie de sus encapsulados puede afectar a que estos elementos no puedan disipar de manera correcta el calor.

Uno de los objetivos de éste trabajo es que lo reportado sea tomado en cuenta para cuestiones de diseño, montaje y almacenamiento de componentes electrónicos, ya que, al conocer el comportamiento de los materiales al estar trabajando en diferentes tipos de condiciones ambientales y climáticas, se puede prevenir en gran medida el deterioro de estos.

En términos generales el presente estudio permite:

- Diseñar y construir garitas de medición de condiciones ambientales y evaluar su comportamiento en tiempo real mediante ensayos acelerados por corrosión atmosférica.
- Conocer el número de ciclos con mayor precisión en que se presenta falla en un dispositivo electrónico.
- Clasificar e identificar los elementos más susceptibles al fenómeno de la corrosión y de mayor importancia en el funcionamiento de un sistema electrónico.
- Determinar el % de elementos que sufren deterioro bajo condiciones ambientales (76.2% en el caso de elementos evaluados con SO₂ HR y ciclos de temperatura).

5.2 Recomendaciones.

De los resultados obtenidos se tienen las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio de los principales recubrimientos que pueden ser aplicados en las terminales de conexión, carcasas de protecciones de conectores, así como en los encapsulados de los diferentes tipos de componentes electrónicos, llámese resistencias, capacitores o microcontroladores.

- Diseñar una mejor distribución del espacio entre resistencias, capacitores, microcontroladores y conectores.
- Mejorar la hermeticidad de los conectores y botones, así se minimizara la cantidad de partículas que pueden introducirse al interior de estos y así mantener un correcto funcionamiento de estos.
- La aplicación uniforme de la soldadura en las terminales de conexión de los componentes, para así tener una mejor protección contra el deterioro. Estudio de nuevos materiales, como opción para mejoras en la resistencia a la corrosión atmosférica, una vez conocidas las condiciones de operación y principales agentes que propician fallos en su funcionamiento.

REFERENCIAS

1. Arduino, (Plataforma código abierto para el prototipo rápido y flexible de objetos interactivos autónomos), URL: <http://www.arduino.cc/> (Última visita 26/09/15).
2. Botia, F.J.S, Ingeniería de Corrosión, Instituto Nacional del Acero, Bogotá 1995.
3. Calidad del Aire Informe 2011, 2012. Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).
4. Campbell, W. Thomas, U. Tarnish Studies. Transaction Electrochemical Society, Vol. 76, 1939
5. Comisión Ambiental Metropolitana. Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Primera Edición. Instituto Nacional de Ecología, marzo 2003.
6. Genesca J. Más allá de la herrumbre, Vol. III. Corrosión y medio ambiente, FCE, 1994.
7. Gouda, V. K., Carew, J. A., Riad, W.T. Investigation of Computer Hardware Failure due to Corrosion. British Corrosion Journal, Vol. 24, 192, 1989
8. Hernández A. Dinámica de metales pesados y corrosión atmosférica en la zona metropolitana de la Cd. de México, Tesis de licenciatura, Facultad de Química UNAM 2009.
9. IECCZMCM-SMA, Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la Zona Metropolitana de la Cd. de México, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal 2006.
10. IECCZMCM-SMA, Inventario de emisiones de contaminantes, Criterio de la Zona Metropolitana de la Cd. de México, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal 2006.
11. INEGI, Espacio y datos de México, URL: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>, (Última visita: 20/04/15).
12. Informe Climatológico Ambiental del Valle de México, 2006. Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).
13. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Guía para interpretación de cartografía climatológica, 2005.

14. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática., Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y zona metropolitana, 2004.
15. ISO 9223:1992 (E). Corrosion of Metals and Alloys-Corrosivity of Atmospheres- Classification. International Standard Organization, 1992
16. Microcontroladores, Microcontroladores y sus aplicaciones, URL: <https://microcontroladoresv.wordpress.com/> (Última visita 15/02/16).
17. Moran David. Red meteorológica basada en Arduino y comunicada mediante protocolo Zigbee 802.15.4, Tesis de licenciatura, Universidad Obertada de Catalunya 2012.
18. NOM-020-SSA1-1993, Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Ozono (O₃), Última actualización 30/10/02.
19. NOM-021-SSA1-1993, Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Monóxido de carbono (CO), Última actualización 23/12/10
20. NOM-022-SSA1-1993, Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Dióxido de azufre (SO₂), Última actualización 8/09/10
21. Ortiz, A., Simulación acelerada de la corrosión atmosférica en equipo electrónico, Tesis Doctoral, Posgrado de Ingeniería UNAM 2004.
22. Pomares J. Manual de Arduino, Grupo de innovación educativa en automática, Universidad de Alicante 2009.
23. Queril, M. Estudio comparativo de la normativa existente para la evaluación del grado y velocidad de corrosión en aceros para la construcción. Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Catalunya 2011.
24. Rosalía Vidal, R. Las Regiones Climáticas de México. Instituto de Geografía, UNAM 2005.
25. Sánchez F. Determinación del grado de corrosividad, en materiales de equipo electrónico, por efectos ambientales, Tesis de Maestría, Posgrado de Ingeniería UNAM 2014.
26. Sánchez Francisco. Deterioro por corrosión atmosférica en sistemas de almacenamiento magnético de datos, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM 2005.
27. Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica del Perú. Dirección General de Meteorología. Guía Básica de Meteorología General, Capítulo 5, URL: <http://www.senamhi.gob.pe/> (Última visita 20/08/15).

28. Silva Gilete., Análisis CFD de diferentes diseños para una estación meteorológica de pequeñas dimensiones, Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Catalunya 2012.
29. Sinclair, J. Corrosion of Electronics, J Electrochem. Soc 135 3. 89C, 1988.
30. Smith William, Fundamentos de la ciencia y la ingeniería de materiales, Editorial McGraw-Hill, 1998.
31. Taller Arduino, Arduino tutoriales, URL: <http://tallerarduino.com/category/videotutoriales/arduino-tutorials/> (Última visita 09/07/15).
32. Yukonovich. Electronics. CC technologies laboratoires, Inc. Dublin Ohio, 2001.