



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

"ESTUDIO DE LA CORROSION CAUSADA EN EL
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE EN
LA ENEP ARAGON"

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
SALAZAR ACEVEDO GONZALO

ASESOR:
I.Q. SERGIO ALFONSO MARTINEZ GONZALEZ

MEXICO

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM

JEFATURA DE CARRERA
DE INGENIERÍA CIVIL

OFICIO No. ENAR/JCIC/035/2004

ASUNTO: **Sínodo.**

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
PRESENTE

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sínodo del Examen Profesional del **C. GONZALO SALAZAR ACEVEDO**, con número de cuenta: 09211180-0, con el tema de tesis: "ESTUDIO DE LA CORROSIÓN CAUSADA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA ENEP ARAGÓN".

PRESIDENTE:	ING. PASCUAL GARCÍA CUEVAS
VOCAL:	ING. KARLA IVONNE GUTIÉRREZ VÁZQUEZ
SECRETARIO:	ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN
SUPLENTE:	I. Q. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ
SUPLENTE:	I. Q. J. GUADALUPE HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Quiero subrayar que el director de tesis es el I. Q. Sergio Alfonso Martínez González, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Estado de México, 06 de febrero del 2004

EL JEFE DE CARRERA



ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN

c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Ing. Karla Ivonne Gutierrez Vázquez - Secretaria Técnica de Ingeniería Civil.
I. Q. Sergio Alfonso Martínez González - Director de Tesis.
Comité de Tesis
Interesado.

MOL opv



DEDICATORIA



A mis padres:

Alba Acevedo y Gonzalo Salazar

Gracias por darme su apoyo y comprensión total e incondicional a lo largo de toda mi educación. Gracias por ser amigos incondicionales y cómplices en todos mis planes. Este logro también es de ustedes, esperando que solo sea el principio de muchos logros más.

Mil gracias por todo . Los quiero mucho.

A mis hermanos:

Juan Antonio y Gabriela

Gracias por comprenderme y darme consejos cuando los necesite, gracias por apoyarme en todo y compartir mis sueños y metas.

A mis amigos:

Gracias por los esfuerzos en conjunto, desvelos, alegrías, momentos difíciles, consejos, que nos llevaron a cada uno de nosotros a lograr nuestra meta.

A mi asesor:

I.Q. Sergio Alfonso Martínez González

Gracias por darme de su tiempo, el cuál fue de gran importancia para la conclusión de está tesis.

Gracias también por compartir sus conocimientos y experiencia laboral logrando así la excelencia académica de la Ingeniería.

A los sinodales:

Gracias por transmitir sus conocimientos laborales con el fin de formar profesionistas, gracias por su tiempo, esfuerzo, paciencia y dedicación a la enseñanza logrando con esto la excelencia académica de la Ingeniería en México.



INDICE

I.- INTRODUCCIÓN	01
II.- GENERALIDADES	08
2.1 Descripción general de la ENEP Aragón	08
2.1.1 Estadística y datos físicos	11
2.1.2 Instalaciones hidráulicas y sanitarias	16
2.2.- Importancia de la Corrosión	20
2.2.1 Tuberías de suministro agua	22
2.2.2 Lavadora automática	23
2.2.3 El automóvil	23
2.2.4 Construcciones de concreto	24
2.3 Corrosión	25
2.3.1- El suelo como medio corrosivo	27
2.3.1.1 Predicción de la corrosividad de los suelos	28
2.3.2- El agua como medio corrosivo	33
2.3.2.1 Ausencia de minerales y presencia de oxígeno disuelto	33
2.3.2.2 Ausencia de minerales. Ausencia de oxígeno disuelto	34
2.3.2.3 Ausencia de minerales no carbonatados. Presencia de oxígeno disuelto	34
2.3.2.4 Presencia de minerales carbonatados (no de calcio) y de oxígeno disuelto	34
2.3.2.5 Minerales. Ausencia de oxígeno disuelto	34
2.3.2.6 Sales de calcio. Presencia de oxígeno disuelto	35
2.3.2.7 Turbidez	36
2.3.2.8 Dureza	36
2.3.2.9 Temperatura	37
2.3.2.10 Efecto de la velocidad del agua	37
2.3.2.11 Conductividad eléctrica	38
2.3.3 La Atmósfera como medio corrosivo	39
2.3.3.1 Contaminación atmosférica	39
III.- EFECTOS DE LA CORROSIÓN	41
3.1. Tipos de corrosión	41
3.1.1 Corrosión uniforme	41
3.1.2 Corrosión galvánica	41
3.1.3 Corrosión en grietas	42
3.1.4 Corrosión por picaduras	43
3.1.5 Corrosión – Erosión	45
3.1.6 Corrosión bajo tensión	46
3.2 Corrosión externa en tuberías	47
3.2.1 Corrosión Galvánica	47
3.2.2 Diferencia de concentración de oxígeno	48
3.2.3 Ampliación de la red de suministro	49
3.2.4 Rayones de tubería	49
IV.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	50
4.1 Análisis Físico del Agua	50
4.1.1 Equipo y material	50
4.1.2. Desarrollo	51
4.2. Análisis Químico del Agua	51

4.2.1. Equipo y material	51
4.2.2. Desarrollo	52
4.2.2.1. Dureza Total	52
4.2.2.2. Magnesio	52
4.2.2.3. Cloro (DPD)	53
4.2.2.4. Cobre	54
4.2.2.5. Manganeseo	55
4.2.2.6. Zinc	56
4.2.2.7 Hierro	58
4.2.2.8. Cloruros	59
4.3. Análisis Físico del Suelo	60
4.3.1 Determinación del Contenido de Humedad	60
4.3.2. Determinación del pH (método potenciométrico)	61
V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
5.1 Grado de Corrosión Interna	63
5.1.1 Dureza	64
5.1.2 Magnesio	64
5.1.3 Cloro Libre	65
5.1.4 Cloro Total	65
5.1.5 Cobre Libre	66
5.1.6 Cobre Total	66
5.1.7 Manganeseo	66
5.1.8 Zinc	67
5.1.9 Hierro	67
5.1.10 Cloruros	68
5.2 Grado de Corrosión Externa	69
5.2.1 Revisión del sistema de distribución de agua en la ENEP – Aragón	71
5.2.2 Sistema de distribución del Centro Tecnológico	71
5.2.3 Sistema de Distribución en el Edificio L-4	76
5.2.4 Sistema de Distribución Ubicado a un costado del Centro de Lenguas	78
5.2.5 Sistema de Distribución que se encuentra en el estacionamiento de estudiantes	80
5.2.6 Sistema de Distribución que se encuentra la parte trasera del Gimnasio	81
5.2.7 Sistema de Distribución a las afueras del Laboratorio L – 2	83
5.2.8 Sistema de Distribución que se encuentra en la parte trasera del laboratorio L – 3	84
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
VII.- BIBLIOGRAFÍA	88

I. INTRODUCCIÓN

En los albores de la historia los primeros metales que se usaron fueron los que se encontraban en su estado elemental. Estos metales no forman otros compuestos fácilmente y seguramente su corrosión no creaba problemas graves, pero con la adopción del hierro debieron presentarse dichos efectos.

Es un hecho indudable que parte del hierro producido en la antigüedad presenta menos corrosión que los obtenidos en los últimos años. Esto, sin duda, puede ser debido a que el hierro reducido con carbón de leña contenía menos azufre que el acero moderno, pero también puede guardar relación con la ausencia de compuestos sulfurosos en el aire en los días anteriores a la adopción del carbón como combustible ya que a menudo, son las condiciones de la exposición primitiva las que determinan la vida de la metalistería. Cualquiera que fuera la causa, el hierro antiguo ha permanecido en algunos casos en condiciones sorprendentemente buenas durante muchos siglos.

Parece que durante varios siglos hubo poco interés respecto a las causas de la corrosión, aún cuando se hicieron algunas observaciones significativas. En 1788 Austin observó que el agua, originalmente neutra, tiende a hacerse alcalina cuando actúa sobre hierro. Atribuyó la alcalinidad al compuesto ahora denominado amoníaco, lo cual, probablemente fue un error ya que la reacción alcalina producida por casi toda las aguas salinas es por el hidróxido sódico, quien es el producto catódico del proceso de corrosión electroquímica.

En 1790, Keir había descubierto que el hierro, cuando se colocaba en ácido nítrico concentrado, era "alterado" en sus propiedades y resistía entonces, relativamente al ácido nítrico diluido a pesar de que éste atacaba vigorosamente al hierro que no había sido tratado con ácido concentrado. Era esta alteración de las propiedades que persistía una vez concluido el tratamiento, lo que intrigaba a Faraday y a Schonbein. Parecía merecer un nombre especial y Schonbein propuso que el hierro en esta extraña condición no reactiva, se llamara "hierro pasivo". Por desgracia, la palabra "pasividad" vino a usarse en otros sentidos; hubo quien describió el metal como "pasivo" cuando se disuelve libremente, pero con una valencia anormalmente alta. El empleo de la misma palabra con varios sentidos diferentes parece que ha llevado a veces al desacuerdo aparente entre personas cuyas ideas no son en esencia muy distintas.

La creencia de que la corrosión es un fenómeno electroquímico, la manifestó un escritor francés, llamado Thénard, en un documento publicado en 1819, y su compatriota De la Rive atribuyó en 1830 el hecho de que el ácido ataca al zinc impuro más rápidamente que a las variedades relativamente puras, por un efecto eléctrico que aparece entre el zinc y las impurezas presentes. Los experimentos

de Faraday, sobretodo los que efectuó entre 1834 y 1840, aportaron pruebas de la relación esencial entre la acción química y la generación de corrientes eléctricas; efectivamente (puesto que sus leyes de acción electroquímica se aplican lo mismo a procesos anódicos que a catódicos) proporcionó una base cuantitativa para las observaciones de los investigadores posteriores.

Con el paso del tiempo parece que decayó el interés por el mecanismo electroquímico de la corrosión. La atención derivó hacia otra hipótesis que atribuían la corrosión a la presencia o a la formación de ciertas sustancias. Actualmente, algunas de estas suposiciones tienen un poco de verdad, pero las ideas subyacentes son en sí, coherentes con el mecanismo electroquímico.

Entre 1888 y 1908 se avanzaron con insistencia las ideas de que los ácidos eran los agentes principales causantes de la corrosión; se mantenía que la herrumbre de hierro solo aparecía si había ácido carbónico. Sin embargo, Dunstan, Jowet y Goulding en 1905, Tilden en 1908 y Heyn y Bauer el mismo año, demostraron que el hierro expuesto al agua y al oxígeno, con exclusión del dióxido de carbono, quedaba sometido a oxidación. El ácido no es necesario para la corrosión del hierro y, evidentemente, algunas de las formas de ataque más intensas tienen lugar en disoluciones salinas que se han hecho ligeramente alcalinas.

Sin embargo, hay un tipo importante de corrosión –el asociado con la liberación de hidrógeno- que sucede más rápidamente en ácido, que en agua neutra; también en la corrosión a la intemperie, las impurezas ácidas del aire avivan grandemente el ataque al hierro, aunque no son necesarias para él mismo. Por lo tanto, en esas circunstancias se puede mantener la idea justificada de que el ácido es un gran promotor de la corrosión, pero en el ataque atmosférico no es el ácido carbónico, sino el sulfuroso el causante principal. Efectivamente, Vernon (1935) demostró que en ciertas condiciones el dióxido de carbono puede retrasar el ataque al hierro.

En 1900 apareció otra teoría sobre la corrosión, como resultado del descubrimiento del peróxido de hidrógeno durante la corrosión de muchos metales; esto dio lugar a la idea de que actuaba como producto intermedio de los procesos de corrosión, y actualmente se sabe que el peróxido de hidrógeno se puede generar en las pilas electrolíticas cuando el oxígeno accede al cátodo. Por consiguiente, si el mecanismo electroquímico de la corrosión es correcto, la presencia de trazas de peróxido de hidrógeno entre los productos de la corrosión no necesita más explicación.

Mientras los químicos británicos disientían la reivindicación de considerar al ácido carbónico y al peróxido de hidrógeno como agentes causantes de la corrosión, en Suecia y otros países, se desarrollaba una explicación científica con enfoque electroquímico. Esta investigación se llevaba a cabo en el laboratorio de Arrhenius, donde Ericson – Aurén y Palmaer dedicados a la corrosión con ácidos

que atacaban a los metales eliminando al hidrógeno, y los resultados proporcionaron pruebas de que este ataque comenzaba con la formación de pilas microscópicas denominadas "elementos locales". Por otro lado, los investigadores americanos Whitney (1903) y Cushman (1907) expresaron opiniones semejantes en sus discusiones de la corrosión por líquidos neutros.

Los conceptos electroquímicos presentados por estos investigadores pasaron por alto, hasta cierto punto, reconociendo la función desempeñada por el oxígeno. Los americanos Walker, Caderholm y Bent en 1907 y el inglés Tilden en 1908 dieron amplias teorías de la corrosión por líquidos neutros, que reconocían la función del oxígeno como activador catódico. Sin embargo, investigaciones posteriores, que más bien representaban un retorno a las ideas anteriores, decían que el oxígeno no es absolutamente necesario para el ataque del agua al hierro. Los experimentos de los investigadores americanos Corey y Finnegan (1939) y de De Kay Thompson (1940) daban a entender que el hierro es atacado lentamente por el agua exenta de oxígeno con desprendimientos de hidrógeno, aunque en este caso el producto final no es hidróxido férrico sino magnetita negra o, a veces, hidróxido ferroso. El hecho de que el agua pura en su punto de ebullición e incluso con un álcali diluido, puede atacar al hierro con desprendimiento de hidrógeno, había sido demostrado en 1928 por los alemanes Thiel y Luckmann, y probablemente se conocía ya antes.

En Alemania, entre 1908 y 1910, Heyn Baurer llevaron a cabo intensas investigaciones sobre los hechos de la corrosión y sus informes contienen el principio de muchas ideas desarrolladas más tarde. Probablemente fueron los primeros en realizar mediciones reales de la velocidad de corrosión en numerosos líquidos, comprendiendo el hierro y el acero en diferentes condiciones, tanto solos como en contacto con otros metales. Entre otras cosas, justificaron cuantitativamente el hecho de que el ataque al hierro se activaba por contacto con otro metal más noble, mientras que el contacto con otro más básico le confería protección parcial o completa. El comportamiento del hierro con el contacto de otros metales fue estudiado más adelante.

En 1924 Whitman y Russell demostraron que cuando las tres cuartas partes de superficie de una muestra de acero se cubre con cobre, la corrosión total por agua en movimiento puede permanecer igual que la de otra muestra igual completamente desnuda, si bien queda en aquel caso concentrada en la cuarta parte sin cubrir. Este experimento ilustró sobre el modo en que se puede intensificar la corrosión cuando se conecta un ánodo pequeño con un cátodo grande, cuestión que también fue puesta de manifiesto en la extensa obra de Akimov con Clark y otras publicadas en Rusia hacia 1935.

A pesar de la importancia de las denominadas "corrientes galvánicas" producidas por metales distintos, la noción de que las corrientes de corrosión estaban causadas generalmente por metales distintos en contacto, por ejemplo, el metal

dominante y las impurezas presentes en él, llevaron a algunas conclusiones erróneas.

Posteriormente, se difundió la creencia (definitivamente sostenida por Palmer) de que un metal perfectamente puro y uniforme – si se pudiera obtener – no presentaría corrosión. Ahora bien, en el tipo de ataque de desprendimiento de hidrógeno, el metal impuro es realmente atacado mucho más rápidamente que las variedades más puras y la influencia de diversas impurezas fue puesta de manifiesto posteriormente, por las investigaciones del checo Vondracek y el latvio Straumanis. Pero esto, no es cierto para todos los tipos de ataque, ya que en 1931 el científico alemán Tammann indicó que las impurezas no aumentan la velocidad de corrosión del zinc por una disolución de persulfato, en realidad, las corrientes eléctricas pueden surgir por formas distintas al contacto de metales distintos: por ejemplo, se pueden generar por diferencias en el líquido que moja distintas partes de una superficie metálica; sobre todo por las diferencias en contenido de oxígeno.

El hecho de que las variaciones en la concentración de oxígeno puede originar corrientes eléctricas podía haberse deducido de los experimentos del científico italiano Marianini realizados en 1830, de los del escocés Adie (1845), del alemán Warburg (1889) y del ruso Kistiakowsky (1908), pero se dio poca importancia a esas investigaciones. Sin embargo, en 1916, el americano Aston puso el énfasis en la parte desempeñada por las diferencias locales en la concentración de oxígeno en la producción de óxido con el hierro y en 1922, su compatriota McKay comprobó que las corrientes se podían producir también en un metal simple variando la concentración del ion metálico en el líquido.

Los experimentos efectuados en el laboratorio por Urick Evans en Cambridge desde 1923 en adelante, indicaban que las “corrientes de aireación diferencial” (establecidas por diferencias en la concentración de oxígeno) eran causantes de la corrosión de muchos metales, aunque, como puso de relieve Bengough, la concentración de oxígeno es solamente uno de los muchos factores que determinan el potencial existente en diferentes puntos de una superficie metálica.

En los años 1931 a 1939 se descubrieron las corrientes eléctricas que fluyen por las superficies metálicas que se corroen en disoluciones salinas. Se halló que estas corrientes eran lo suficientemente intensas para iniciar el proceso de la corrosión y ésta se pudo medir realmente en el sentido de la ley de Faraday y con esto, se puede decir que el mecanismo electroquímico de la corrosión por disoluciones salinas descansa en una base experimental cuantitativa.

Sin embargo, las pruebas en aumento de la naturaleza electroquímica de la corrosión por sales y ácidos llevaron a algunos sectores al concepto exagerado de que el mecanismo de todo proceso de corrosión era necesariamente electroquímico. No hay duda que en cualquier alteración química se produce un desplazamiento de electrones, pero se reserva la expresión “desplazamiento

electroquímico" para aquellos procesos en que la corriente fluye entre las zonas anódicas y catódicas situadas en diferentes partes de la superficie metálica (con electrones que circulan por caminos largos comparados con la distancia interatómica), es claro entonces, que muchos procesos de corrosión no son electroquímicos puesto que se producen en disoluciones en las que la conductividad eléctrica está casi ausente.

Las investigaciones de Cambridge suponen que la razón por la cual es tan destructiva la acción electroquímica, es debido a que suele llevar a la formación de compuestos solubles como productos inmediatos de la corrosión, mientras que la combinación directa con oxígeno daría un cuerpo escasamente soluble en contacto físico con el metal, tal como orín (Óxido rojizo que se forma en la superficie del hierro por la acción del aire húmedo) que evitaría prosiguiera la oxidación, pero si éste se forma como producto secundario por la intención de los productos anódicos y catódicos a una distancia perceptible del punto de ataque, el proceso no se detiene y el ataque continúa.

En realidad, en los casos en que la acción electroquímica produce un cuerpo apenas soluble en el cátodo o en el ánodo, la corrosión se detiene igual que cualquier otra forma de ataque, por consiguiente, es posible clasificar las sustancias que detienen la corrosión al recubrir las partes anódicas o catódicas con capas de compuestos poco solubles en inhibiciones catódicas y anódicas. El investigador polaco Chyzewsky en 1938 hizo una clasificación experimental de los inhibidores en estos dos grupos. Los más eficaces son los inhibidores anódicos, pero a su vez también peligrosos, ya que cuando no se añaden en cantidad suficiente suelen reducir la superficie, causando corrosión en mayor proporción, por lo que la intensidad del ataque local aumenta por la adición.

Un ejemplo de los inhibidores descritos anteriormente suelen ser las pinturas anticorrosivas. La distinción entre pinturas inhibidoras que previenen la corrosión aún cuando el recubrimiento no sea impermeable a las sustancias corrosivas y pinturas que rechazan mecánicamente la corrosión, que sólo protegen en lo que respecta a que evitan el paso de la humedad al metal, se demostró mediante ensayos de campo y de laboratorio realizados en Cambridge y efectuados a partir de 1930 en adelante por Britton, Lewis, Thotnhill y, sobre todo, por Mayne. Otro tipo de pinturas anticorrosivas que dan protección incluso con grietas en las capas, son las que contienen una gran cantidad de polvo de zinc; en ellas el hierro expuesto escapa del ataque, debido a que se está formando un cátodo y evita la corrosión del hierro.

Aunque podía creerse que el agua sin sales produciría oxígeno o hidróxido que detendrían el ataque, este proceso no siempre ocurre. El agua que contiene oxígeno puede causar oxidación si las condiciones son tales, que producen en la superficie metálica el hidróxido ferroso soluble y permiten su conversión a hidróxido férrico (orín amarillo) a poca distancia del punto de ataque, de modo que

el orín no es protector. En una serie de investigaciones instructivas efectuadas por Forrest, Roetheli y Brown (1930-1931) en el Instituto Massachussets de Tecnología, comprobaron que las capas de óxido variaban en sus propiedades protectoras de acuerdo con la velocidad de aportación de oxígeno a la superficie y el mismo principio se vio que era válido en los experimentos estadísticos con mezclas de oxígeno y nitrógeno realizados por Meras (1935). Dichos experimentos indicaban que el oxígeno puede disminuir la probabilidad de la corrosión que empieza dentro de una zona dada, aunque, una vez comenzado el ataque, el oxígeno acelera la velocidad de corrosión. Esta distinción entre velocidad de corrosión y probabilidad de corrosión ha servido para aclarar varias de las contradicciones aparentes que confundieron a los primeros investigadores.

Algunos investigadores han desarrollado la idea de que los óxidos de hierro pueden actuar como portadores de oxígeno. En 1921 Friend, que ya había llevado a cabo una amplia serie de investigaciones sobre la acción de numerosas disoluciones salinas en el hierro, supuso que una disolución coloidal de hidróxido férrico se comportaría como un portador de oxígeno pasando alternativamente entre las condiciones ferrosas y férricas. Más tarde, entre 1936 y 1938, Herzog atribuyó un comportamiento parecido al óxido "sólido", pero combinó esto con un mecanismo electroquímico. Después de una larga inmersión del hierro en aguas estancadas, suele quedar cubierto con dos capas, una interna de magnetita y otra externa de hidróxido férrico. La magnetita se supone que actúa como cátodo y el hierro como ánodo y que el óxido férrico que está justo encima sufre una reducción catódica a magnetita hidratada, esto desprende agua, reforzando a la magnetita a absorber el oxígeno del aire, volviendo al estado de hidróxido férrico. Parece muy probable que en ciertas condiciones un mecanismo así efectivamente funciona. Las mediciones de Taylor dieron prueba de que la oxidación del hierro del aire, está relacionada con un ciclo electroquímico de reacciones; el hidróxido férrico experimenta reducción catódica a magnetita, que se oxida a estado férrico por el aire.

Otra área en la que se dedicó la investigación de la corrosión, consistió en identificar el mecanismo de corrosión a alta y baja temperatura. El estudio científico del proceso de la oxidación se puede decir que empezó con la obra clásica de los americanos Pilling y Bedworth publicada en 1923. Las meticulosas observaciones de Pfeil (1929 -1931) basadas en sutiles estudios analíticos, demostraron que a veces la oxidación consiste más en la migración del metal hacia fuera que en la penetración del oxígeno a través de la capa de óxido. Se obtuvo valiosa información adicional respecto a la oxidación del hierro y sus aleaciones de las detalladas observaciones metalúrgicas de los investigadores franceses Portevin, Pret y Jolivet, publicadas en 1934. Más o menos por la misma época, el químico - físico alemán Wagner estaba publicando una serie de artículos, prácticos y teóricos, que demostraban que la oxidación a alta temperatura guarda relación con el transito de iones y electrones por la capa de óxido en desarrollo.

La corrosión atmosférica es un campo que se ha venido investigando. Los precisos estudios de Vernon sobre el comportamiento de los metales a la intemperie, publicados periódicamente desde 1923 en adelante, establecen leyes sencillas que relacionan la corrosión con el tiempo. Uno de los resultados importantes atribuido a Vernon, Hudson y Patterson es el principio de la humedad crítica; hallaron que frecuentemente la corrosión sólo se hace rápida en el aire cuando la humedad supera cierto valor.

Tanto en Europa como en América y por distintas comisiones, se han realizado amplias pruebas de corrosión a la intemperie. En este campo fue pionera la ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales), que tiene acumulada gran cantidad de datos valiosos. Particularmente impresionantes son los resultados obtenidos por J. C. Hudson a partir de 1929. Trabajó primero con metales no féreos para la British Non – Ferrous Metals Research Association y luego con metales féreos para el Iron and Steel Institute (británico). Sus grandes investigaciones han demostrado la resistencia relativa a diferentes metales en numerosas y variadas condiciones atmosféricas y, en el caso del hierro y el acero, han indicado además cómo puede conseguirse la mejor protección por capas de pintura o recubrimientos de metales no féreos.

Otro motivo de corrosión, es la parte desempeñada por las bacterias del suelo. El primero que se percató de esto fue el bacteriólogo holandés Von Wolzogen Kuhr, hacia 1922.

Asimismo, mucho se ha estudiado en los últimos años sobre medidas de protección, basadas principalmente en pinturas o en recubrimientos con metales más resistentes a la corrosión que el que se protege.

Hasta la Primera Guerra Mundial, casi todos los experimentos sobre corrosión lo realizaban científicos puros, pero en los últimos años, el aumento alarmante en la frecuencia de catástrofes ocasionadas por la corrosión, llevó al comienzo de un número de investigaciones técnicas de problemas industriales. En Gran Bretaña se empezaron algunas por empresas particulares, pero la mayoría de las organizaciones de investigación recibieron la ayuda tanto del gobierno como de los sectores industriales.¹

Por todo lo anterior este trabajo consiste en detectar, el tipo y grado de corrosión que afecta a las tuberías existentes para la distribución de agua potable a las distintas instalaciones de la ENEP Aragón y tratar de establecer la causa de la corrosión para el desarrollo futuro de trabajos más profundos en este sentido. En el capítulo II se habla específicamente de la corrosión y de cómo se produce este fenómeno. En el capítulo III se comenta de los efectos y distintos tipos de la corrosión. En el capítulo IV se desarrolla la parte experimental del trabajo. En el capítulo V se presentan los resultados y en el capítulo VI se dan las conclusiones y recomendaciones pertinentes para controlar la corrosión.

II. GENERALIDADES

2.1 Descripción general de la ENEP Aragón

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, recientemente denominada como Campus, es una dependencia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se localiza al Nororiente de la Ciudad de México, en la parte Norte del Municipio de Nezahualcóyotl, en la colonia Impulsora Popular Agrícola. El siguiente esquema presenta su ubicación y las principales vías de acceso.



La mayor parte del predio se encuentra sin edificar, sin áreas verdes y desprotegida debido a que no es muy vigilada por los grupos de seguridad.

La porción construida consta de los siguientes elementos:

- 12 Edificios destinados a aulas, tienen el mismo diseño arquitectónico y alojan un número similar de salones en sus tres niveles, están dispuestos en pares compartiendo un mismo conjunto de escaleras y cuartos sanitarios. Los conjuntos de edificios están acomodados en forma de "bayoneta", permitiendo espacio entre ellos y se aprovecha como

explanadas, siendo la principal la ubicada frente al edificio A – 4 en donde la mayoría de las manifestaciones y eventos se realiza allí.

- Para la carrera de Diseño Industrial, Ingeniería Civil y Mecánica – Eléctrica y en menor grado desarrollo Agropecuario y Arquitectura, se dispone de 4 inmuebles usados como laboratorios, alojan maquinaria, equipo y sustancias específicas para el desarrollo de prácticas para el complemento educativo. Albergan pequeñas aulas, cuentan con instalaciones hidráulicas y de combustible como gas LP y sistema de ventilación.
- Para el mismo fin educativo y sobre todo de investigación, existe el edificio denominado Centro Tecnológico Aragón (CTA), el cual cuenta con instalaciones especializadas para el desarrollo de investigación, con equipos únicos, sustancias químicas específicas. Posee un auditorio para el desarrollo de conferencias y aulas donde ingresan alumnos, generalmente de ingeniería.
- Para el apoyo de las actividades educativas, se cuenta con una Biblioteca que posee el material necesario para satisfacer las necesidades de todas las carreras que son impartidas en la institución, abarcando las áreas básicas de conocimiento de cada carrera hasta de temas particulares. Posee ficheros electrónicos, sala hemerográfica, de cómputo, mapoteca y cubículos para el desarrollo de actividades escolares. El inmueble tiene una planta alta a la cual se accede con solo dos escaleras, no se ubican en la zona de mayor desarrollo de actividades.
- Para el complemento de actividades curriculares, están el Centro de Cómputo y el Centro de Lenguas Extranjeras (CELE), los cuales tienen edificios independientes para su control y administración.
- Para el desarrollo de actividades culturales y de vinculación con la comunidad, se cuenta con el Centro de Extensión Universitaria, el cual funciona como sala de conferencias, teatro y exposiciones. Cuenta con vestidores, planta de emergencia (con depósito de diesel) y equipo contra incendios. Otro edificio destinado al mismo propósito pero con nivel más limitado es el salón de usos múltiples, prácticamente para actos locales como conferencias y "ferias" con ofertas de empleo, etc.
- Para fines administrativos y como edificio principal esta el edificio de Gobierno. Aquí se localizan las jefaturas de carrera. Secretaría Académica, pagaduría y las oficinas de la dirección.
- Para el acondicionamiento y manutención de la escuela, el personal encargado de esta tarea se aloja en el edificio de Mantenimiento. En este lugar se localiza en el sótano, una cisterna que colecta el agua para distribuirla a toda la ENEP, está también la planta de emergencia eléctrica que suministra energía a casi toda la escuela en caso de falla de suministro. El complemento de este edificio es la bodega de Adquisiciones, ubicada al frente del edificio de Mantenimiento, guardando el material necesario para ejecutar labores de mantenimiento.

- Se dispone de un centro de Servicios Médicos, el cual atiende a toda la población estudiantil, aquí se promueven acciones de salud para el alumnado mediante campañas de vacunación o de información, principalmente de sexualidad.
- Se cuenta con una Clínica Odontológica, dependiente de la ENEP Iztacala, la cual abre sus puertas al público en general para la atención de males odontológicos.
- Finalmente, para el desarrollo de actividades deportivas, se tiene el Gimnasio de parquet, donde se realizan encuentros de básquetbol y prácticas de tae-kwan-do y se alojan cubículos donde se organizan los equipos de los otros deportes que se practican en la escuela. Otra instalación importante es la de los Vestidores, además de tener otro gimnasio con aparatos, posee calderas para mantener el agua caliente para los vestidores y proporcionar un buen servicio a sus usuarios.

A grandes rasgos, estos son los componentes de la institución, su importancia y funcionamiento. Para complementar estos antecedentes, se muestra un esquema general de la escuela y datos estadísticos de ella aplicables al tema.



2.1.1 Estadística y datos físicos.

Tabla 2-1

ENEP ARAGON	
Creada	23 de Septiembre de 1975
Inicio de funciones	1 de Enero de 1976
Superficie del predio	399940 m ²
Superficie construida	50493 m ²
Edificios	30 en uso

Tabla 2-2 Número de alumnos por carreras

Alumnos por carreras	2003
Arquitectura	716
Comunicación y periodismo	1747
Derecho	4958
Diseño industrial	224
Economía	655
Ingeniería Civil	502
Ingeniería en Computación	1206
Ingeniería Mecánica y Eléctrica	1591
Pedagogía	1165
Planif. P. / Desarrollo Agrop.	117
Relaciones Internacionales	959
Sociología	323

Datos físicos de la zona

- Clima Semiseco templado (BB₁k)

Los siguientes datos corresponden a los registros de la estación meteorológica "San Juan de Aragón" de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), siendo esta estación la más cercana a la zona:

- Temperatura media anual (de 1941 al 2000)
 - Temperatura promedio: 16.5 °C
 - Temperatura del año más frío: 15.1 °C
 - Temperatura del año más cálido: 18.8°C

- Temperatura promedio mensual (en °C)

Tabla 2-3 Temperatura promedio mensual °C

Periodo	MES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2000	12.2	14.6	17.4	19.5	19.9	18.6	18.4	18.1	18.9	17	13.3	12.2
1941-2000	12.7	14.3	16.3	18.1	18.9	18.9	18.1	18.1	17.8	16.5	14.7	13.1

- Precipitación total anual (de 1941 al 200)
 - Precipitación promedio: 586.9 mm
 - Precipitación del año más seco: 361.5 mm
 - Precipitación del año más lluvioso: 850.5 mm
 -
- Precipitación total mensual (en mm):

Tabla 2-4 Precipitación total mensual en mm

Periodo	MES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2000	0.0	94.1	18.2	14.9	72.2	228.0	93.1	171.2	41.2	24.9	3.0	0.5
1941-2000	9.2	8.3	12.5	22.6	47.4	104.6	106.2	113.4	92.7	46.0	13.8	9.6

- Días de heladas:

Tabla 2-5 Días de heladas

Periodo	MES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2000	22	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Total 1954-2000	563	333	95	11	0	0	0	0	1	19	163	325

- Vientos dominantes:
 - Vientos dominantes del suroeste la mayor parte del año.
 - Vientos dominantes del norte y noreste en el otoño

- Concentración de principales contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México según el nivel de concentración (1997 a 2000).

Tabla 2-6 Concentración de los principales contaminantes atmosféricos (1997)

Contaminante (1997)	Mínimo	Prom.	Segundo Máximo	Máximo
Ozono (O ₃) (0.11 ppm/1 h)	0.001	0.035	0.297	0.318
Bióxido de nitrógeno (NO ₂) (0.21 ppm/1 h)	0.001	0.033	0.280	0.448
Bióxido de azufre (SO ₂) (0.13 ppm/ 8h)	0.001	0.014	0.087	0.099
Monóxido de carbono (CO) (11 ppm/ 8 h)	0.100	2.400	12.000	16.000
Part. Susp. T. (PST) (260 ug/m ³ en 24 h)	35.000	210.000	720.000	747.000
Part. Frac. Resp. (PM ₁₀) (150 ug/m ³ en 24 h)	1.000	78.000	276.000	319.000
Plomo (Pb) (1.5 ug/m ³ en 3 meses)	0.048	0.165	0.321	0.327

Tabla 2-7 Concentración de los principales contaminantes atmosféricos (1998)

Contaminante (1998)	Mínimo	Prom.	Segundo Máximo	Máximo
Ozono (O3) (0.11 ppm/1 h)	0.001	0.037	0.296	0.309
Bióxido de nitrógeno (NO2) (0.21 ppm/1 h)	0.001	0.029	0.412	0.421
Bióxido de azufre (SO2) (0.13 ppm/ 8h)	0.001	0.014	0.094	0.116
Monóxido de carbono (CO) (11 ppm/ 8 h)	0.200	2.400	14.000	15.000
Part. Susp. T. (PST) (260 ug/m3 en 24 h)	35.000	251.000	842.000	945.000
Part. Frac. Resp. (PM10) (150 ug/m3 en 24 h)	0.100	71.000	327.000	335.000
Plomo (Pb) (1.5 ug/m3 en 3 meses)	0.049	0.137	0.259	0.303

Tabla 2-8 Concentración de los principales contaminantes atmosféricos (1999)

Contaminante (1999)	Mínimo	Prom.	Segundo Máximo	Máximo
Ozono (O3) (0.11 ppm/1 h)	0.001	0.035	0.309	0.321
Bióxido de nitrógeno (NO2) (0.21 ppm/1 h)	0.001	0.027	0.263	0.279
Bióxido de azufre (SO2) (0.13 ppm/ 8h)	0.001	0.013	0.081	0.087
Monóxido de carbono (CO) (11 ppm/ 8 h)	0.100	2.200	10.000	12.000
Part. Susp. T. (PST) (260 ug/m3 en 24 h)	41.000	243.000	762.000	832.000
Part. Frac. Resp. (PM10) (150 ug/m3 en 24 h)	0.140	51.000	179.000	184.000
Plomo (Pb) (1.5 ug/m3 en 3 meses)	0.054	0.197	0.297	0.303

Tabla 2-9 Concentración de los principales contaminantes atmosféricos (2000)

Contaminante (2000)	Mínimo	Prom.	Segundo Máximo	Máximo
Ozono (O ₃) (0.11 ppm/1 h)	0.001	0.037	0.269	0.282
Bióxido de nitrógeno (NO ₂) (0.21 ppm/1 h)	0.001	0.030	0.293	0.304
Bióxido de azufre (SO ₂) (0.13 ppm/ 8h)	0.001	0.017	0.129	0.152
Monóxido de carbono (CO) (11 ppm/ 8 h)	0.100	2.300	11.000	12.000
Part. Susp. T. (PST) (260 ug/m ³ en 24 h)	41.000	203.000	634.000	671.000
Part. Frac. Resp. (PM10) (150 ug/m ³ en 24 h)	0.300	55.000	339.000	379.000
Plomo (Pb) (1.5 ug/m ³ en 3 meses)	0.037	0.115	0.229	0.293

- Días con niveles IMECA que rebasan la norma de calidad del aire.

Tabla 2-10 Puntos IMECAS

AÑO	Puntos IMECAS					
	Hasta 50	51 a 100	101 a 200	201 a 240	241 a 300	>300
1994	0	21	251	79	14	0
1995	5	36	236	74	14	0
1996	5	34	258	59	10	0
1997	7	36	270	48	4	0
1998	1	44	262	52	6	0
1999	16	49	270	27	3	0
2000	4	39	304	19	0	0

- Hasta 50: Muy buena, favorable para toda actividad física.
- De 51 a 100: Satisfactoria, favorable para la realización de toda actividad física.
- De 101 a 200: No satisfactoria, aumento de molestias en personas sensibles.
- De 201 a 240: Mala, aparición de ligeras molestias en la población en general.

- Mayor a 241: Muy mala, aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población sana.

Contingencias ambientales y días de duración por periodo establecido.

Tabla 2-11 Contingencias ambientales

Periodo	Contingencia	Duración
Invierno 1998/1999	3	12
Primavera - Otoño 1999	2	4
Invierno 1999/2000	1	2
Primavera - Otoño 2000	0	0
Invierno 2000/2001	0	0
TOTAL	6	18

Tabla 2-12

No.	Edificio	No.	Edificio
1	Salón de Usos Múltiples	17	Edificio A-1
2	Gimnasio de Parquet	18	Edificio A-2
3	Vestidores	19	Edificio A-3
4	Adquisiciones	20	Edificio A-4
5	Mantenimiento	21	Edificio A-5
6	Centro de Cómputo	22	Edificio A-6
7	Centro de Lenguas E.	23	Edificio A-7
8	Centro Tecnológico	24	Edificio A-8
9	Biblioteca	25	Edificio A-9
10	Servicio Médico	26	Edificio A-10
11	Módulo de Ext. Universitaria	27	Edificio A-11
12	Estacionamiento Techado	28	Edificio A-12
13	Clínica Iztacala	29	Laboratorio L-1
14	Explanada de Esculturas	30	Laboratorio L-2
15	Gobierno	31	Laboratorio L-3
16	Torres	32	Laboratorio L-4

2.1.2 Instalaciones hidráulicas y sanitarias

Abastecimiento

Se obtiene del sistema municipal, se cuenta con un gasto de 100 m³ / día (100,000 L/día); el acceso al medidor de gasto es difícil puesto que no está señalado ni

protegido, este dato fue proporcionado por el Centro Tecnológico, siendo resultado de sus estudios de aforo y calidad del agua.

La población de la ENEP Aragón es predominantemente flotante, sin embargo se ha obtenido información estadística para determinar una población estable, los datos siguientes corresponden al período 1988 – 2003 y son los siguientes:

Tabla 2-13 Población total de la ENEP Aragón

Población	Ambos Turnos
Alumnado	14163
Personal Académico	1967
Personal Administrativo y trabajadores	195
Total	16635

De esta población total se ha observado que el 60% se ubica en el turno matutino y es equivalente a 9,443 habitantes y el 40% restante equivale a 6,296 habitantes. El RCDF establece que por cada turno y por alumno se requiere un consumo mínimo de 25 L / al. / turno, para fines prácticos se considera que todos los habitantes son alumnos, se obtienen las siguientes dotaciones considerando también la misma proporción del gasto diario (60% y 40% respectivamente):

Turno matutino: $(60,000 \text{ L} / 9443 \text{ hab.}) = 6.35 \text{ L} / \text{hab.} / \text{turno}$
Turno vespertino: $(40,000 \text{ L} / 6296 \text{ hab.}) = 6.35 \text{ L} / \text{hab.} / \text{turno}$

El consumo por habitante es muy bajo, debido a descomposturas en las líneas de distribución y el gasto empleado en el riego de las áreas verdes implicando una dotación baja, no se consideró el agua consumida en labores de limpieza usada en laboratorios y otras actividades.

Distribución

Sistema presurizado, nivel de presión desconocida pero visiblemente regular; se detectó un diámetro de 15 pulgadas (38.10 cm), este sistema sufre fugas constantes debido a fracturas en los elementos por la naturaleza del suelo y por tanto de los asentamientos de los edificios, contribuyendo también la corrosión; estas observaciones se realizaron en cepas abiertas para el reemplazo de piezas o tubos completos. La red cubre el 95% de la superficie construida.

Almacenamiento

Se encontraron los siguientes depósitos en toda la institución:

Tabla 2-14 Ubicación de los diferentes depósitos de la ENEP Aragón

Cisterna (m³)	Ubicación
350	Mantenimiento
450	Vestidores
150	Vestidores
100	Centro de Extensión Universitaria
150	Centro Tecnológico
Desconocida	Clínica Odontológica Iztacala

No se cuenta con depósitos elevados de gran capacidad.

Los depósitos mencionados no cuentan con señalamientos que indiquen su presencia, las tapas se encuentran corroídas y sin ningún medio que evite el acceso a su interior, lo que puede implicar un accidente a cualquier usuario.

Equipo de bombeo

Existen 4 puestos de bombeo, uno en Mantenimiento (para distribuir el agua a toda la escuela), otro detrás de Vestidores (como almacenamiento y para abastecer a los vestidores), uno en el Centro de Extensión Universitaria (incluye agua para el sistema de combate de incendios) y para el Centro Tecnológico (incluye reserva para el combate de incendios). Para este caso, todas las cisternas del plantel soportan el volumen mínimo necesario marcado en el RCDF que es de 20,000 L.

Tubería

Sus elementos son de hierro galvanizado, se están reemplazando con P.V.C. y Extrupac; se encontró un diámetro de 15”.

Instalaciones Sanitarias

El sistema de drenaje se encuentra en condiciones desfavorables, la problemática es generada por asentamientos diferenciales de las edificaciones, provocando cambios en las pendientes originales o fracturas como el caso de los edificios A – 7 y A – 12. Al mismo tiempo, la red es vieja y existen tramos que prácticamente han desaparecido, se han sustituido con elementos nuevos, como la clínica dental Iztacala que implementó P.V.C. el colector localizado en el acceso de Bosques de Aragón presenta buenas condiciones. Existen registros destapados, obstruidos y desaparecidos por que el suelo los consumió.

El estado general de los sanitarios es regular; se cuenta con muebles e instalaciones nuevas, pero prácticamente la mayor parte de los cuartos sanitarios presentan fugas y obstrucciones en el suministro de agua y en el desalojo de residuos.

El drenaje pluvial se encuentra estable, se aprecia buen desalojo, pero en ocasiones esto no se efectúa en las canalizaciones y se descarga desde las alturas sobre el pavimento, aspecto recomendado por el RCDF (artículo 158). En periodos de lluvias se manifiestan inundaciones leves muy notables en las depresiones cercanas a las construcciones y en el estacionamiento principal, en este último es marcada la obstrucción de las coladeras.

A continuación se muestra un inventario sobre la cantidad de cuartos sanitarios existentes por edificio así como el número total de muebles que contienen.

Tabla 2-15 Inventario de instalaciones sanitarias

Edificio	Cuartos Sanitarios	Inodoros	Lavabos	Mingitorios
A-1	3	30	15	5
A-2	3	30	15	5
A-3	3	30	15	5
A-4	3	30	15	5
A-5	3	30	15	5
A-6	3	30	15	5
A-7	3	30	15	5
A-8	3	30	15	5
A-9	3	30	15	5
A-10	3	30	15	5
A-11	3	30	15	5
A-12	3	30	15	5
Adquisiciones	0	0	0	0
Biblioteca	4	12	24	4
C. de Cómputo	3	3	3	0
C. Tecnológico	4	8	8	6
C.E.U.	4	20	20	10
CELE	3	3	3	0
C. Iztacala	2	8	4	2
Est. Techado	0	0	0	0
G de Parquet	0	0	0	0
Gobierno	6	6	6	0
L-1	2	4	4	2
L-2	2	4	4	2
L-3	3	6	3	0
L-4	2	4	4	2
Mantenimiento	4	4	4	0
Salón de Usos Múltiples	2	6	6	3
Servicio Médico	3	3	3	0
Vestidores	16	16	6	6
TOTAL	96	467	282	97

2.2.- Importancia de la Corrosión

La corrosión se puede definir como la degradación o deterioro de un metal, provocado por su reacción con el medio en que se encuentra inmerso, para retornar a su condición de equilibrio original.

La corrosión del acero es el tributo que el hombre tiene que pagar a la naturaleza por la industrialización del mineral de hierro, ya que la naturaleza tardó millones de años en reducir, mediante altas temperaturas y presiones, a los átomos de hierro y carbón a la condición estable de mineral de hierro; así, mientras el hombre rompe esta condición de equilibrio, con la adición de energía calorífica durante el proceso de elaboración de acero (fig. 2.1), tubos, placas, perfiles estructurales, etc., en forma de energía potencial, la cual en combinación con el medio ambiente tiende a revertir al acero a su condición original de equilibrio, es decir, a óxidos de hierro. La herrumbre que se observa en las estructuras metálicas dañadas por la corrosión no es más que óxidos de hierro hidratados, de similar composición que el mineral de hierro.

Los materiales como el oro, platino y grafito, requieren poca energía calorífica para su elaboración, por lo que su energía almacenada es baja, permitiendo así que tengan alta resistencia a la corrosión, ya que su tendencia a retornar a su condición de equilibrio original es baja. Por su parte, el magnesio, zinc y aluminio, necesitan de mucho mas energía para su elaboración, presentando una baja resistencia a la corrosión ⁵.

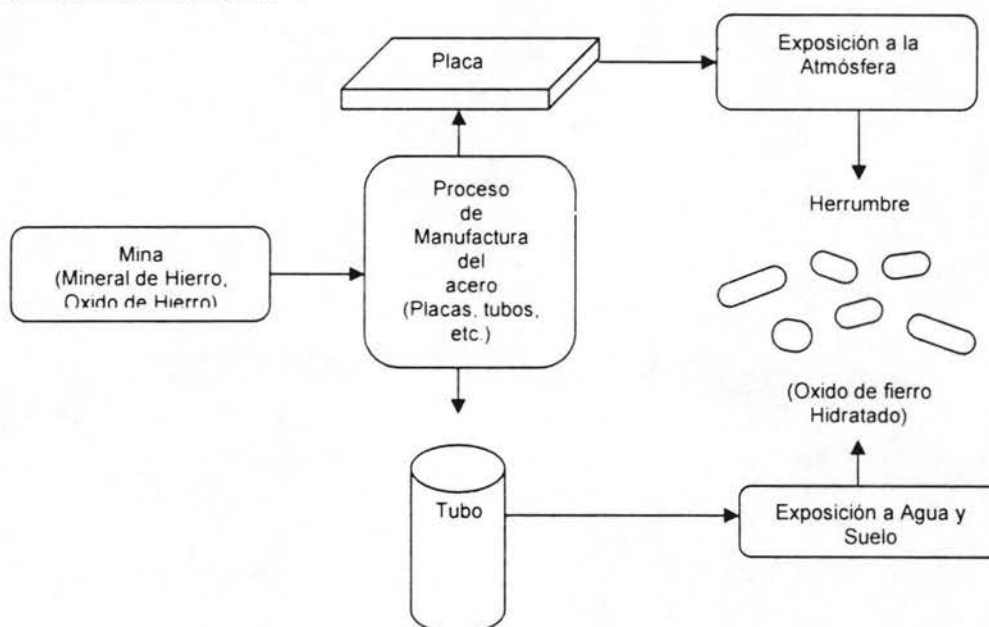


Figura 2.1 Diagrama de Flujo del fenómeno de la corrosión

La importancia de los estudios de la corrosión es doble. En primer lugar figura el aspecto económico que comprende la reducción de las pérdidas de material que se producen por el desgaste progresivo o rotura repentina de tuberías, recipientes, componentes metálicos de máquinas, cascos de buques, estructuras marinas, etc. En segundo término hay que considerar la conservación de los recursos naturales, aplicada en principio a los metales, cuya reserva mundial es limitada, y cuyo consumo incluye las correspondientes pérdidas de reserva de energía y agua que acompañan a la producción y montaje de las estructuras metálicas.

El motivo principal de la investigación de la corrosión que se deriva en la actualidad es el del factor económico. Las pérdidas que sufren la industria, el ejército y las municipalidades ascienden a muchos miles de millones de dólares al año.

Las pérdidas económicas se dividen en pérdidas directas y pérdidas indirectas. Se entiende por pérdidas directas los costos de reponer estructuras y maquinarias corroídas, o sus partes componentes como por ejemplo, tuberías de agua potable.

Aunque resulta más difícil establecer las pérdidas indirectas, un breve examen de las pérdidas típicas de esta clase conduce a la conclusión de que totalizan varios millones de dólares por encima del valor de las pérdidas directas ya mencionadas. Como ejemplos de las pérdidas indirectas citaremos las siguientes:

- a) Interrupciones en la producción. Reponer una tubería corroída en una refinería de petróleo puede costar unos cientos de dólares, pero la parada de la unidad de producción como consecuencia de la avería de la tubería, puede alcanzar mientras dura la reparación, un costo de 800 dólares por hora en concepto de pérdidas de producción.
- b) Pérdidas del producto. Aquí podemos incluir las pérdidas de petróleo, agua o gas que se producen a través de tuberías corroídas, hasta localizar la avería y hacer la reparación. Un ejemplo común lo tenemos en la pérdida de anticongelante en el radiador corroído de un automóvil.
- c) Pérdidas de rendimiento. Tal ocurre como consecuencia de la acumulación de capas de productos de corrosión que disminuye la transmisión de calor, o por la formación de herrumbre en el interior de tuberías que producen obstrucciones parciales y que obligan por lo tanto, a aumentar la capacidad de bombeo de las redes de conductos.
- d) Contaminación de los productos. Una pequeña cantidad de cobre obtenido por la ligera corrosión de una tubería de cobre o de una instalación de latón, que al margen del efecto que aquí se describe puede ser resistente y duradera, puede estropear todo el jabón producido por un lote. Las sales de

cobre aceleran el proceso de arranciamiento de los jabones y acortan el tiempo que pueden permanecer almacenados antes de su venta. De igual manera, la acción de algunos metales en cantidades del orden de pequeñas trazas pueden alterar el color de tintes y colorantes.

- e) Sobre medidas. Este factor es común en el diseño de recipientes de reacción, calderas, tubos condensadores, vástagos de bombas de extracción de pozos petrolíferos, tuberías enterradas, tanques de agua y estructuras marinas. Debido a que se desconocen las velocidades de corrosión o por qué los métodos para el control de la corrosión son dudosos, se recurre con frecuencia a proyectar los equipos o instalaciones varias veces más fuertes de lo requerido por las presiones normales de trabajo o tensiones aplicadas, con objeto de asegurar una duración razonable. Con un conocimiento apropiado de la corrosión se puede hacer un cálculo más seguro de la vida del equipo, y simplificar el diseño en lo que se refiere a materiales y trabajo. ²

Veamos, con un poco más de detalle, algunos ejemplos de corrosión que ocurren con cierta frecuencia en la vida diaria.

2.2.1 Tuberías de suministro de agua

La corrosión forma parte del diario quehacer. Desgraciadamente, no sufrimos sus efectos hasta que estos se hacen visibles.

Un ejemplo común lo constituye la rotura de una tubería de agua. Inicialmente, al abrir el grifo, el agua, en vez de presentar su claridad habitual tiene una cierta tonalidad o coloración castaña. Al probarla, nos parece percibir un sabor que nos recuerda bastante al de las sales de hierro. Ha empezado a atacarse el material base de la tubería galvanizada: el acero de la red de distribución de agua potable.

Al cabo de poco tiempo, al abrir el grifo del agua caliente del lavabo, especialmente al aumentar la salida del agua, empieza a salir ésta turbia y rojiza, con gran cantidad de partículas en suspensión. Algunas de éstas parecen ser de arcilla que estarían sedimentadas sobre la pared de las tuberías de conducción y distribución y que se han incorporado al agua al pasar a régimen turbulento. Otras partículas tienen un aspecto gelatinoso y una coloración pardo rojiza (característica del hidróxido férrico). A continuación hacemos la misma comprobación con el grifo del agua fría. El agua sale limpia, incolora. Sólo cuando el régimen de circulación es claramente turbulento se observa una cierta turbiedad y algunas partículas en suspensión que parecen provenir del sedimento que pudiera existir ya en el interior de la tubería de conducción de agua. Aquellas partículas rojizas, gelatinosas, no se observan en esta ocasión.

La aparición de humedades y goteras es una consecuencia que no se deja esperar. Al inspeccionar con más detalle la zona en que ha aparecido la gotera, podemos tener la sorpresa de que la aparición de la humedad, que creíamos debida a la perforación de la tubería por el lado del agua, ya que el agua rojiza que

salía por el grifo desde tiempo atrás así lo hacía presagiar, ha tenido lugar en cambio en la parte exterior. Retirado el tubo que presentaba la perforación, pudimos observar en él, que el ataque perforante provenía del exterior.

En este caso, el responsable de la avería no era el agua transportada, sino el material de construcción que se hallaba en estrecho contacto con el exterior del tubo. Un análisis más cuidadoso nos permite observar claramente que la zona afectada coincidía con la existencia de "restos" de yeso que sin duda pusieron los albañiles en la etapa de fijación de los tubos.

El yeso tiene la particularidad de que además de ser corrosivo por sí mismo frente al hierro y acero galvanizado, entre otros materiales metálicos, es higroscópico, por lo cual tiene tendencia a captar y retener la humedad y con ello proseguir la corrosión hasta sus últimas consecuencias.

2.2.2 Lavadora automática

Otro caso que se presenta con cierta frecuencia hace referencia a la lavadora automática. Cierta día, al funcionar la lavadora, se nota que hace algunos ruidos extraños. Al vaciar el tambor, nos encontramos con la sorpresa de que tiene una fisura. No había ni rastro de herrumbre, que en el caso de la tubería de agua nos había servido de indicio para suponer que algo andaba mal. Aquí, sólo unos ruidos extraños.

El tambor, a pesar de ser de acero inoxidable, había sufrido un cierto tipo de corrosión, conocido por los especialistas como corrosión fisurante, precisamente por el tipo de daño provocado.

Este tipo de corrosión, muy localizada en una determinada zona del tambor de la lavadora, es especialmente insidiosa y preocupante porque uno no se da cuenta de su existencia sino cuando se produce la falla.

2.2.3 El automóvil

Empiezan apareciendo manchitas y picaduras minúsculas en los parachoques, que si bien no afectan su resistencia mecánica, sí deslucen su presentación. Posteriormente, se pueden localizar puntos aislados de ataque en las partes cubiertas por molduras que iban fijadas en agujeros de la carrocería; cada vez que

lavamos el coche observamos la afluencia de herrumbre que sale de la parte baja de tales molduras

Bajo las alfombrillas han aparecido picaduras perforantes y lo que es peor, el sonido emitido al percutir es análogo al de una hojalata llena de herrumbre. Problemas similares han aparecido en el guardabarros, especialmente en las zonas más escondidas, donde se había acumulado barro. Del mismo modo hemos detectado una fuerte corrosión en los alvéolos de los faros delanteros que sufren la influencia desfavorable de las salpicaduras de lodo de los vehículos que nos preceden en la época de lluvias.

Este efecto de agentes corrosivos sobre la carrocería se agrava en las zonas costeras, por la influencia de la brisa marina que llega a poner en contacto con la carrocería gotitas cargadas de cloruro de sodio (sal). Asimismo, es perniciosa la acción de la sal común que se agrega en invierno sobre las calzadas heladas, en muchos países con inviernos largos y duros, con el fin de que puedan transitar los vehículos por ellas.

La corrosión sufrida por la carrocería aumenta con el grado de humedad y con la temperatura, todo ello acrecentado por el contenido de gases sulfurosos en la atmósfera. Por ello, no es raro ver en ciudades costeras e industriales una verdadera legión de auténtica chatarra rodante.

2.2.4 Construcciones de concreto

Un buen observador puede haber notado, especialmente en las grandes ciudades o en las zonas costeras, la aparición de manchas de herrumbre en las estructuras de concreto, por ejemplo, en un estacionamiento subterráneo, un puente o en los postes de las líneas de distribución de corriente eléctrica.

Estas estructuras están reforzadas interiormente con varillas de acero, las cuales se cubren de concreto (mezcla de cemento Portland, arena, agua y agregado de pH alto, aproximadamente 12) con el objeto de proporcionar una adecuada resistencia mecánica a la estructura. En condiciones normales, o sea en un medio con atmósfera limpia, no debe ocurrir nada que afecte a la estructura, ya que el concreto es un medio perfectamente compatible con el acero, precisamente por el alto valor del pH.

El concreto es un material discontinuo, duro y de alta densidad. Debido a su propia constitución, contiene una gran cantidad de poros, los cuales pueden estar interconectados, siendo por tanto permeable a líquidos y gases. Esto es de una gran importancia para el proceso de corrosión del acero de refuerzo, pues tanto el oxígeno como el agua pueden difundirse hacia el acero a través de la masa de concreto. Por ejemplo, cuando la estructura de concreto está en contacto

frecuente con agua que contenga iones de cloruro (agua de mar), a través de la propia porosidad del concreto puede llegar a las varillas de acero. En este momento se inicia la corrosión del acero. La herrumbre que se va formando como resultado del proceso de corrosión en el acero, por una parte disminuye la sección original de la varilla, y por otra, hace perder la adherencia inicial y deseada entre el acero y el concreto. El óxido de hierro formado (herrumbre) ocupa un volumen aproximadamente cuatro veces mayor que el acero sin corroer. A medida que se va formando herrumbre por la corrosión del acero, ésta ejerce una gran presión sobre el concreto que lo rodea. Las fuerzas son de tal magnitud dentro del concreto que provocan grietas que lo fragilizan, perdiendo éste sus buenas propiedades mecánicas. El proceso continúa hasta que la herrumbre llega a aparecer en la superficie del concreto y se pueden observar las estructuras "manchadas".

La presencia de herrumbre en una determinada estructura es por tanto evidencia de que el proceso de corrosión de la varilla de acero de refuerzo está muy avanzado y de que la seguridad de la estructura, por ejemplo en el caso de un puente, deja mucho que desear.

El efecto producido por los cloruros (agua de mar) en un medio ambiente marino, es sustituido por el dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO_2), proveniente de industrias que queman gasóleo, escapes de los autos, etc., en el caso de las grandes ciudades, produciendo las mismas consecuencias.

2.3 Corrosión

Para que ocurra la corrosión deben existir necesariamente los siguientes elementos: un ánodo y un cátodo, unidos eléctricamente e inmersos en un electrolito. El ánodo es un electrodo positivo de un generador eléctrico y el cátodo es todo lo contrario; un electrodo negativo de dicho generador eléctrico. Se considera un electrolito a cualquier sustancia que contiene iones y que es capaz de transmitir la corriente eléctrica. Cuando se le aplica una corriente eléctrica continua se establece una migración iónica entre el ánodo que atrae a los iones negativos también llamados aniones y el cátodo que atrae a los iones positivos también llamados cationes.

Con objeto de visualizar el fenómeno de la corrosión, consideremos una placa de acero inmersa en agua neutra, ver figura 2.2, si pudiéramos ver bajo un microscopio la placa, se distinguirían dos áreas bien definidas, una anódica y otra catódica, en toda la superficie de la placa, intercambiándose en forma continua.

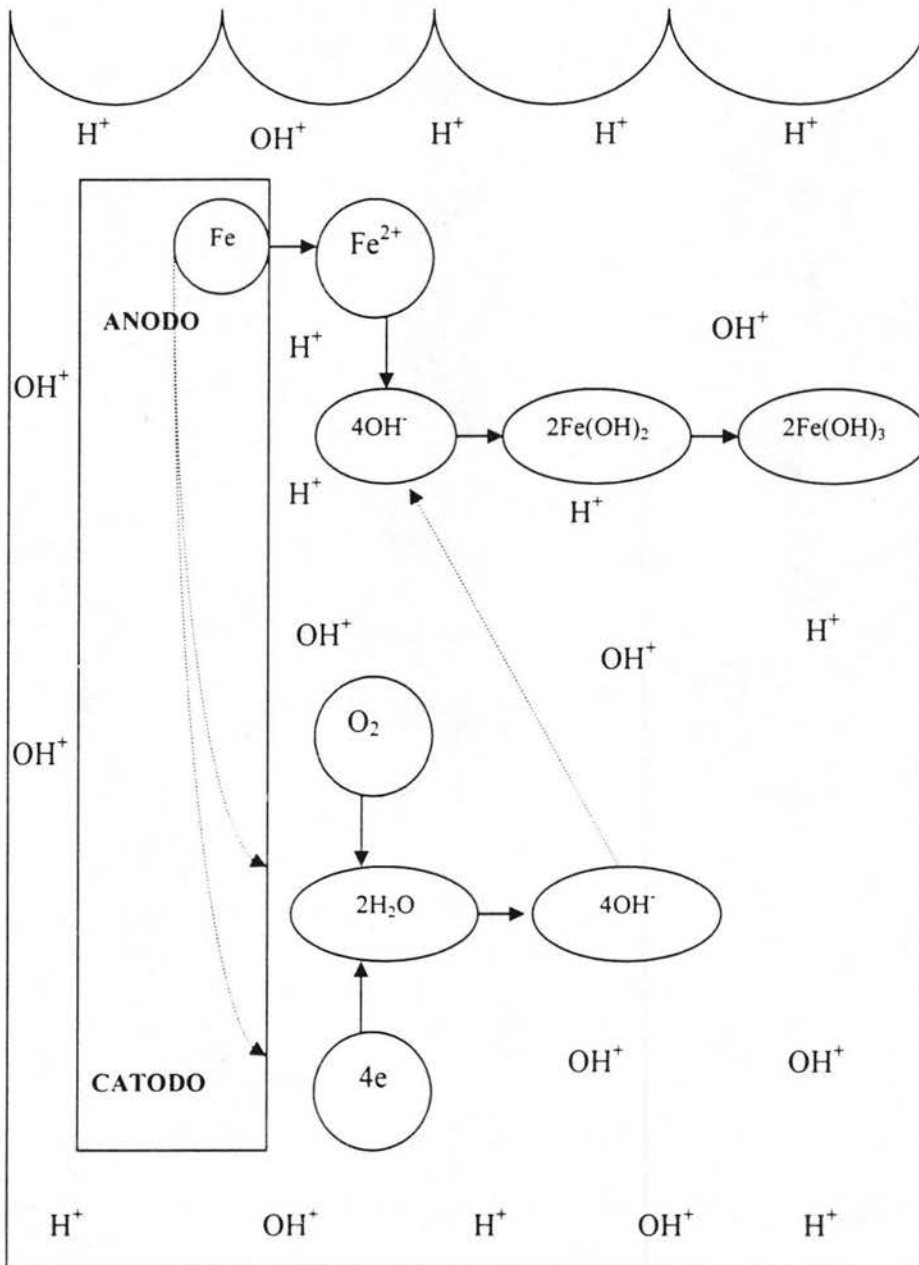


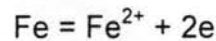
Fig. 2.2 Corrosión del acero en aguas neutras

La razón de estas zonas anódicas y catódicas se debe a inclusiones en la micro estructura del material, orientación del grano, variaciones en el ambiente, esfuerzos localizados, etc.

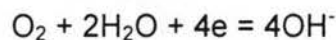
Es importante notar, que en caso de que la zona anódica permanezca en un solo punto, la corrosión se puede concentrar atravesando completamente el espesor

de la pared de las tuberías, provocando con esto posibles fugas de agua y gastos por concepto de reparación.

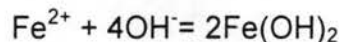
Si pudiéramos ver sólo un ánodo y un cátodo en una formación gigante, observaríamos que los átomos de hierro se ionizan liberando dos electrones y convirtiéndose en un átomo cargado positivamente, es decir, en un ion positivo de hierro, de acuerdo con la siguiente ecuación:



Al mismo tiempo, los electrones liberados viajan a través de la misma placa de la zona anódica hacia la zona catódica, donde se encuentran y se combinan con una molécula de oxígeno y dos de agua, reduciendo las moléculas de oxígeno a cuatro iones hidróxido, de acuerdo con la siguiente ecuación:



Estos iones hidroxilos se combinan con los iones de hierro, (Fe^{2+}), de acuerdo con la siguiente ecuación:



Precipitándose de la solución como óxido férrico, el cual es un compuesto inestable y se oxida nuevamente convirtiéndose en una sal ferrítica: el producto final es lo que se conoce comúnmente como herrumbre.⁵

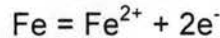
2.3.1- El suelo como medio corrosivo

Quizá sea el suelo el medio de corrosivo más complejo que existe. Aparte de la heterogeneidad que le caracteriza, en cuanto a naturaleza y tamaño de partícula, existen otras variables que son determinantes en su corrosividad frente a los metales enterrados, como por ejemplo, humedad, contenido en sales solubles, aeración, acidez y alcalinidad totales, materia orgánica y presencia de bacterias anaerobias.

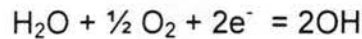
La corrosión en suelos es extraordinariamente variable y el ataque de los metales enterrados puede ir de despreciable, para suelos porosos secos, a muy importante, para suelos húmedos con gran salinidad y actividad bacteriana. Este tipo de corrosión es un caso intermedio entre corrosión atmosférica y corrosión en inmersión en una solución acuosa; el que se acerque más a un extremo u otro dependerá de la compacidad y del contenido en humedad del suelo.

En un suelo desprovisto de humedad no tendría lugar el proceso corrosivo.

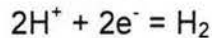
La semirreacción anódica del proceso es el paso del metal al estado iónico. Por ejemplo, en el caso del hierro:



Mientras que la semirreacción catódica es,



En un medio neutro o alcalino,



Todo proceso de oxidación electroquímica va acompañado necesariamente de otro de reducción en el cátodo.

2.3.1.1 Predicción de la corrosividad de los suelos.

A lo largo de los años se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de relacionar la corrosividad de diferentes suelos con ciertas características físicas o químicas de los mismos. Son muchas las variables consideradas, como porosidad, humedad, conductividad eléctrica, pH, acidez o alcalinidad total, potencial redox, salinidad, materia orgánica y presencia de sulfuros. En la inmensa mayoría de los casos se ha tomado como referencia el acero y los materiales férreos no aleados. Algunas de las variables indicadas están relacionadas entre si, como: humedad y resistividad, porosidad y potencial redox, etc.

Porosidad

La porosidad se define como el volumen relativo de los espacios vacíos con relación al volumen aparente total de una masa dada de tierra.

Girad, al tratar de hallar una correlación entre porosidad y corrosión resultante, ha observado, que la corrosión es máxima cuando la relación entre humedad y porosidad es del orden de 0.5.

Humedad

En un suelo seco la corrosión es despreciable, debido a que su resistividad es extraordinariamente elevada, por lo cual la intensidad de las posibles pilas de corrosión que se generan deben ser prácticamente nula. Por el contrario, en un suelo saturado de agua por dificultarse el acceso de oxígeno hasta la estructura metálica, no se favorece la semirreacción del proceso corrosivo, con lo que el

ataque resultante será escaso, salvo de existir bacterias anaerobias, como en el caso de las reductoras de sulfato, en que podrá tener importancia la corrosión.

Es en los casos en que exista un contenido intermedio de humedad es cuando la corrosión suele tener los valores más elevados. Las alternancias seco – húmedo o anaeróbico aeróbico del suelo conducen a valores mayores de corrosión que los que se obtendrían con un suelo sin variaciones.

Cuando el agua drena de un suelo, se mantiene sobre el metal una fina película de agua, y es a través de esa fina película por donde tendrá lugar la difusión del oxígeno procedente de la atmósfera. Es por ello, que la actividad catódica puede tener lugar a velocidades muy altas y por ende la corrosión.

Schaschl ha determinado la actividad catódica en función del tanto por ciento de saturación de agua en diversos suelos, viendo que la acción de las macro pilas puede tener lugar en el intervalo 50 – 95 % de la saturación en agua, mientras que las micropilas puede tener lugar en el intervalo 5 – 95 %.

Resistividad Eléctrica

Entre los factores que se deben estudiar en campo, sobresale la resistividad del suelo, la cual debe ser medida para poder estimar el grado de corrosividad del mismo, enseguida se muestra una tabla de valores de resistividad y su corrosividad asociada, de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-C-346.

Tabla 2-16 Resistividad eléctrica del suelo

Resistividad Eléctrica		Características corrosivas del suelo		
0	-	1000	Ohm-cm	Muy corrosivo
1000	-	2500	Ohm-cm	Bastante corrosivo
2500	-	4000	Ohm-cm	Moderadamente corrosivo
4000	-	10000	Ohm-cm	Ligeramente corrosivo
10000	-		Ohm-cm	Muy ligeramente corrosivo

La resistividad es la recíproca de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. En la práctica se ejecutan medidas de resistencia de grandes masas de material y se calcula un valor promedio para él mismo.

La resistividad de un terreno depende, en particular, de su estructura, de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su porosidad y permeabilidad, del contenido de agua (humedad) y de su contenido de iones.

Por ejemplo, en lo que se refiere a un suelo arcilloso, con un 5% de humedad, dicho suelo puede presentar una resistividad de 10 000 ohm-m, en cambio, con un 20% de humedad, la resistividad disminuye hasta 100 ohm-m.

Es obvio, por tanto, que la resistividad de un terreno y especialmente la de los estratos superiores, puede variar notablemente con las estaciones del año, la precipitación pluvial, la actividad agrícola e industrial, entre otras.

En cambio la temperatura no ejerce una influencia tan marcada, a menos que supere el punto de congelación, después de lo cual hay un aumento significativo de la resistividad.

Las áreas de menor resistividad son las que tienden a crear zonas anódicas en la estructura, pero también son las zonas más aptas para instalación de las camas de ánodos

Las mediciones de la resistividad del suelo, se deben realizar por medio de un voltímetro y un amperímetro o bien por un equipo llamado Nilson 400, el cual está constituido por varillas de aluminio que se entierran con una separación entre ellas igual a la profundidad de muestreo de la resistividad del suelo, esta separación se representa con la letra (d), el equipo inyecta una cantidad de corriente conocida a través de las varillas extremas, midiendo la caída de potencial entre las varillas internas, esta caída de potencial esta relacionada con la resistividad del suelo, mediante el balanceo de un galvanómetro. La lectura de resistividad correspondiente, es la indicada una vez que el galvanómetro del equipo ha sido balanceado. Las lecturas de la corrosividad del suelo se expresan en ohms – cm.

Cuando se ejecuta en el campo, el método consiste en introducir en el suelo 4 electrodos separados por espaciamientos iguales, los espaciamientos representan la profundidad hasta lo que se desea conocer la resistividad este espaciamiento se lo representa con (d).

Se calcula la resistividad aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Resistividad} = 2 \times 3.1416 \times d \times \text{Resistencia.}$$

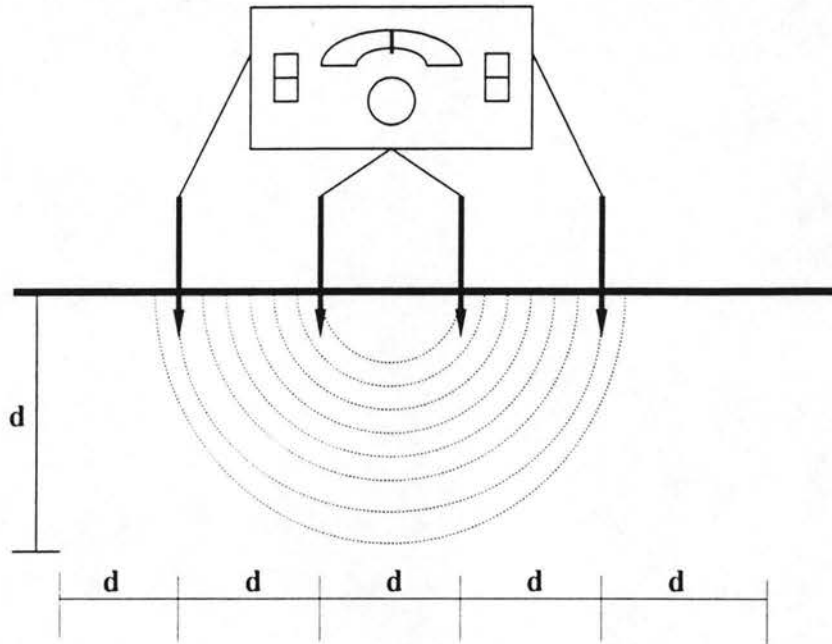


Fig 2.3 Diagrama para la medición de resistividad del suelo

pH

La acidez del suelo procede en parte de la formación de H_2CO_3 del CO_2 de origen biológico y agua. Puede proceder también de la materia orgánica y de los terrenos piritíferos en descomposición, así como de la contaminación por el hombre.

Las concentraciones de los iones de hidrógeno o valor de pH, mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. El agua que no contiene ácido ni álcali tiene un valor de pH igual a 7.0, al cual se le llama valor neutro de pH. Los valores de pH desde 1.0 hasta 7.0 indican acidez; y los valores de pH desde 7.0 hasta 14.0 indican alcalinidad.

La corrosividad de una agua es función del pH y puede corregirse frecuentemente disminuyendo la intensidad ácida mediante la adición de un álcali. La mayoría de las aguas naturales tienen valores de pH entre 5.5 y 8.6.

Potencial red – ox

El potencial de oxidación – reducción (redox) cambia mucho de tratarse de un suelo aireado a otro desprovisto de oxígeno. Ello ha servido para predecir el riesgo de corrosión anaerobio que puede sufrir una estructura enterrada, pero no da ninguna información cuando la corrosión es de otro tipo.

Son varios los criterios seguidos para conocer la agresividad de los suelos atendiendo al potencial redox, aunque varían poco del de Starkey y Wight.

Tabla 2-17 Potencial redox

Potencial redox	Agresividad
< 100 mV	Muy agresivo
100 - 200 mV	Moderadamente agresivo
200 - 400 mV	Débilmente agresivo
> 400 mV	No agresivo

El valor del potencial redox varía poco con el pH, sin embargo, tiene un efecto debido a las variaciones de humedad y temperatura.

En términos generales puede afirmarse que cualquier suelo, cuyo contenido en sulfato no sea despreciable, con un potencial redox de 200 mV o menor, se halla probablemente en vías de hacerse anaerobio.

Salinidad

Los suelos están constituidos principalmente por: silicio, silicatos simples o complejos de diversos metales como Ca y Mg; óxidos de Al y Fe; carbonatos de Ca y Mg; etc., que son insolubles. Sin embargo, hay otras sales, aunque sean en menor proporción, que se disuelven en agua y contribuyen extraordinariamente a la conductividad del suelo, tal es el caso de los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y de los aniones Cl^- y SO_4^{2-} , además de los bicarbonatos que se forman a partir de los carbonatos cuando éstos se hallan en presencia de anhídrido carbónico. De entre los iones indicados, son los Cl^- y los SO_4^{2-} los que fundamentalmente inciden en la corrosión; el Cl porque a partir de concentraciones muy pequeñas pueden romper la pasividad de los metales, debido a su gran poder de penetración; y SO_4^{2-} porque son imprescindibles para que tenga lugar la corrosión bioquímica por bacterias reductoras de sulfato.

Las regiones con alta pluviometría muestran baja concentración de sales solubles, como resultado de la acción lixiviante de la lluvia. Por el contrario, los suelos de zonas áridas suele tener alta concentración en sales.

Corrosión bacteriana

En este tipo de corrosión las bacterias existentes en el suelo tienen un papel preponderante. Según que las bacterias requieren o no del oxígeno, la corrosión será aerobia o anaerobia. La corrosión anaerobia es, con mucho, la más grave

de las corrosiones originadas por microorganismos; merecen citarse, por su trascendencia en la corrosión de estructuras de hierro y aceros enterradas; las bacterias reductoras de sulfato. Estas bacterias utilizan el hidrógeno catódico para reducir los sulfatos, lo cual da lugar a la formación de H_2S , que posteriormente reacciona con el hierro para formar FeS .

El desarrollo y proliferación de las bacterias sulfato reductoras depende de un pH favorable de 5.5 a 8.5; ausencia de oxígeno; una cierta concentración de sulfatos, y algunos nutrientes, incluyendo materia orgánica.

Cuando se dan condiciones alteradas, aerobias y anaerobias, como ocurre en el caso de subida y descenso de nivel de la capa freática, la corrosión puede acelerarse extraordinariamente. Los sulfuros en condiciones anaerobias se transforman en polisulfuros, azufre y en sulfato férrico básico al cambiar a aerobias y el suelo se acidifica. Cuando las condiciones anaerobias vuelven, los productos de corrosión se reducen por el hidrógeno catódico, elevándose el pH, pudiéndose favorecer a el desarrollo de las bacterias reductoras de sulfato, y el ciclo comienza de nuevo.¹⁰

Para entender más sobre el fenómeno de la corrosión, es necesario definir algunos conceptos para tener un panorama más amplio sobre las causantes de dicho fenómeno.

2.3.2- El agua como medio corrosivo

En considerable medida, el grado de corrosión depende de la calidad del agua. En la siguiente clasificación de las aguas se tiene en cuenta el contenido de las mismas en minerales, oxígeno disuelto, así como el pH, en lo que respecta a los efectos que ejerce sobre la corrosión del acero dulce.

2.3.2.1 Ausencia de minerales y presencia de oxígeno disuelto.

En ausencia de minerales, al aumentar el pH disminuye las velocidades de la corrosión provocada por el agua que contiene oxígeno disuelto. Sin embargo, si el valor del pH se acerca, pero no es superior al requerido para obtener una protección completa, se registra el fenómeno de picado, que disminuye rápidamente la vida útil del acero. Los rincones de las juntas y soldaduras que no permiten que el oxígeno pueda permanecer en la superficie están dispuestos a un ataque corrosivo localizado.

El fenómeno del picado se registra en puntos de corrosión locales no protegidos, en lo que los procesos de la acción corrosiva impiden la difusión del oxígeno hacia la superficie metálica y, en consecuencia, originan algunas diferencias en la concentración de oxígeno en dicha superficie. Un picado análogo puede registrarse en la parte inferior de los depósitos de chatarra y escombros, también

cuando se registran diferencias en la concentración de oxígeno, por ejemplo, en la línea de flotación de aquellas superficies que están parcialmente expuestas al aire y parcialmente al agua. La velocidad de la corrosión es mayor cuando más elevada sea la temperatura.

2.3.2.2 Ausencia de minerales. Ausencia de oxígeno disuelto.

En ausencia de oxígeno disuelto, el pH, en los recipientes de acero del agua de pureza elevada se ajusta automáticamente un valor de 8.4 y la corrosión llega a ser despreciable. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que todas las aguas naturales están mineralizadas en mayor o en menor proporción.

2.3.2.3 Ausencia de minerales no carbonatados. Presencia de oxígeno disuelto.

En ausencia de minerales no carbonatados, las concentraciones crecientes de otros minerales corrientes, tales como las sales de cloruros y sulfato, incrementan la velocidad de corrosión para cualquier valor del pH que se encuentren por debajo del rango de picado intensifican dicho picado cuando el valor del pH es inferior, aunque tan sólo lo sea ligeramente al que se requiere para proteger al metal en presencia de oxígeno disuelto. Cuando más elevada sea la temperatura, la corrosión y el picado experimentarán una aceleración proporcional.

2.3.2.4 Presencia de minerales carbonatados (no de calcio) y de oxígeno disuelto.

Los minerales carbonatados indicados por la determinación de alcalinidad para los bicarbonatos, inhiben la corrosión y contrarrestan el efecto acelerador de las sales de cloruro y sulfato en las aguas que contienen oxígeno disuelto. En ausencia de calcio esta inhibición alcanza su valor máximo a un pH de 6.5 – 7, cuando la concentración de la alcalinidades de cinco a diez veces mayor que la de la sal de cloruro y sulfato, y el valor mínimo a un pH de 8 – 9, cuando las concentraciones de alcalinidad no son ni cinco ni diez veces mayores que las de la sal de cloruro y sulfato, las velocidades de corrosión aumentan. Casi todas las aguas naturales de uso doméstico o los minerales de carbonato contienen, tanto alcalinidad como sales de cloruro y sulfato.

2.3.2.5 Minerales. Ausencia de oxígeno disuelto.

En ausencia de oxígeno disuelto, los tipos de mineralizaciones son menos importantes en lo que respecta a la vida útil del hierro, tal como se pone de manifiesto en los dos ejemplos siguientes:

- a) la experiencia acumulada en las instalaciones de fontanería indican que los sistemas de calentamiento de aguas adecuadamente diseñados pueden ser

de acero, siempre que el sistema no pierda agua (doméstica); al evitar la adición de agua de repuesto que contenga oxígeno disuelto también se evita perder productos de corrosión que la inhiben;

- b) la vida útil del acero que se emplea en los calentadores de agua de alimentación, calderas y tuberías de las centrales de energía puede prolongarse considerablemente empleando un agua de alimentación para calderas exenta de oxígeno.

2.3.2.6 Sales de calcio. Presencia de oxígeno disuelto.

Desde el punto de vista de corrosividad, el criterio que goza de más aceptación en lo que respecta a la clasificación de las aguas es la estabilidad, que se pone de manifiesto mediante la saturación de carbonato de calcio. Sin embargo, en el caso del acero desprovisto de recubrimiento, debe existir una súper saturación muy significativa para formar un depósito visible, aunque este criterio no es infalible, ya que tiene unas limitaciones concretas:

- a) Para proporcionar un grado de protección, aunque sea pequeño, a temperaturas normales ($0 - 70^{\circ}\text{C}$), el agua debe tener una alcalinidad mínima de 50 – 100 ppm y un contenido mínimo de calcio (en forma de CaCO_3) del orden de 50 ppm.
- b) Cuando mayores sean las concentraciones de calcio y de alcalinidad, más elevada será la capacidad de la acción protectora del agua. Sin embargo, las concentraciones cada vez más elevadas se traducen en una tendencia creciente a la deposición de cantidades indeseables de cascarilla a temperaturas superiores a aquellas en las que se establece la estabilidad de saturación.
- c) La acción protectora se acentúa por el movimiento del agua y disminuye en condiciones de reposo casi absoluto de aquellas.
- d) Cuando el pH es lo suficientemente elevado como para depositar el hidróxido de magnesio no protector, la acción protectora puede anularse a temperaturas más elevadas.
- e) En presencia de oxígeno disuelto pueden tener lugar los fenómenos de picado y tuberculación si la estabilidad y velocidad se acercan, aunque todavía se encuentran por debajo de las que se requieren para lograr una protección completa.
- f) Las proporciones crecientes de las sales de cloruro y sulfato por encima de una relación de 0.1 a 0.2 : 1, con respecto a la alcalinidad, disminuyen la acción protectora. Esta limitación es menos significativa en ausencia de oxígeno disuelto.

2.3.2.7 Turbidez

La turbidez es el efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contienen pequeñas partículas en suspensión. Puede ser causada por el cieno extraído del suelo, por escurrimientos superficiales que contienen materia suspendida, orgánica o mineral, por el carbonato de calcio precipitado en las aguas duras. En el agua de suministro, la turbiedad puede deberse al carbonato de calcio precipitado, indicando el depósito de incrustaciones en las tuberías o puede ser debida al óxido de hierro formado por la corrosión de la tubería.

2.3.2.8 Dureza

El agua es un disolvente universal y disuelve cantidades variables de las diversas sustancias minerales. Está no afecta la calidad sanitaria del agua, sino que es importante en su uso doméstico. Las sales de calcio y magnesio, que son los principales constituyentes minerales consumen jabón, y lo precipitan en forma de compuestos insolubles o grumos de jabón. Mientras no se haya precipitado todo el calcio y el magnesio, no se obtendrá espuma o acción lavadora. Las sales de calcio y magnesio están disueltas generalmente en formas de bicarbonatos, pero por el calentamiento puede transformarse en carbonatos, menos solubles, que se precipitan y son el origen de las incrustaciones en los sistemas de distribución y en calderas. La dureza mide la capacidad del agua para disolver jabón. Las aguas duras son usualmente menos corrosivas que las blandas, que contienen compuestos de calcio y magnesio en bajas concentraciones.

- a) Agua blanda: Es la que contiene poca caliza, forma abundante espuma con el jabón, es decir, agua predominantemente libre de iones de calcio y magnesio.
- b) Agua dura: Es la que contiene exceso de sales y forma poca espuma con el jabón, contiene iones de calcio y magnesio y es inadecuada para algunos usos domésticos e industriales.

La dureza del agua se expresa como mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3).

El calcio es el componente principal de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en el rango de 5-500 mg/L, como CaCO_3 , (2-200 mg/L como Ca). Está presente en muchos minerales, sobre todo en la piedra caliza y en el yeso.

Tabla 2-18 Dureza del agua

Dureza como CaCO_3	Interpretación
0-75	Agua suave
75-100	Agua poco dura
150-300	Agua dura
>300	Agua muy dura

2.3.2.9 Temperatura

La influencia de la temperatura se confunde frecuentemente como consecuencia de observaciones contradictorias. El mejor modo de evitar esta confusión consiste en el equilibrio básico de la química del agua. En líneas generales, las temperaturas más elevadas aceleran las velocidades de las reacciones químicas y reducen la solubilidad de los minerales. Sin embargo, el efecto de la temperatura sobre el pH raras veces se tiene en cuenta. En el caso del agua pura, a medida que aumenta la temperatura disminuye el pH o aumenta la concentración de H^+ . Pero la intensidad de la influencia de la temperatura sobre el pH es una función de alcalinidad del agua y, las concentraciones crecientes de bicarbonato obstaculizan cada vez más este efecto de la temperatura sobre el pH. Además, se suele partir del supuesto de que la solubilidad del $CaCO_3$ disminuye cuando la temperatura aumenta, lo que no responde a la realidad en el caso de las aguas que tienen una alcalinidad baja (inferior a 50 ppm). En esta agua, las temperaturas más elevadas disminuyen el pH a una velocidad superior a la de disminución de la solubilidad del $CaCO_3$. De hecho, esta disminución del pH aumenta la solubilidad del $CaCO_3$, aún cuando el producto de solubilidad del $CaCO_3$ disminuye. Este efecto sobre el índice de saturación es especialmente acentuado en el caso de una alcalinidad de 10 ppm y hasta de 25 ppm cuando la temperatura experimenta una modificación de hasta $55^\circ C$ y aún más cuando asciende a $70^\circ C$.

2.3.2.10 Efecto de la velocidad del agua

Como es lógico, en cuanto a sus relaciones con la velocidad del agua, el problema de la corrosión se manifiesta en forma contradictoria. Como era de esperar, en el caso de aguas agresivas las velocidades elevadas favorecen un deterioro rápido de las tuberías, aunque existen escasos indicios de metal captado por el agua, mientras que cuando las velocidades son bajas y los tiempos de contacto más largos, el deterioro de las tuberías será lento, lo que no impide que el agua registre una concentración significativa de metal (agua roja).

Sin embargo, las aguas menos agresivas que tienen propiedades protectoras presentan una mayor protección a la superficie cuando las velocidades son elevadas. Por tanto, recurriendo a una concentración inhibidora adecuada, las velocidades más adecuadas no sólo evitan el deterioro del metal, sino que también disuelven menos cantidad de éste por unidad de volumen del agua.

A velocidades bajas no se obtiene el máximo provecho de las propiedades protectoras de las aguas inhibidas, ya que el movimiento lento no contribuye al régimen de difusión eficaz de los ingredientes protectores hacia la superficie del metal. Por tanto, un agua que se comporta satisfactoriamente a velocidades de medianas a altas pueden provocar una corrosión incipiente o lenta, con el consiguiente planteamiento de problemas de formación de aguas rojas a velocidades bajas.

2.3.2.11 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en disolución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las disoluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la disolución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.

Valores de La Conductividad Eléctrica en algunas muestras típicas.

Temperatura de la muestra a 25° C	Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Agua ultra pura	0.05
Agua de alimentación de calderas	1 a 5
Agua potable	50 a 100
Agua de mar	53,000
5 % NaOH	223,000
50 % NaOH	150,000
10% HCl	700,000
32 % HCl	700,000
31% HNO ₃	865,000

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por lo mismo conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tienen su curva característica de concentración contra conductividad.

Son buenos conductores: los ácidos, bases y sales inorgánicas como son: HCl, NaOH, NaCl, Na₂CO₃, etc. Son malos conductores, las moléculas de sustancias orgánicas que por la naturaleza de sus enlaces son no iónicas como la sacarosa, el benceno, los hidrocarburos, los carbohidratos, etc, estas sustancias no se ionizan en el agua y por lo tanto, no conducen la corriente eléctrica. Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para disoluciones acuosas, diluidas la conductividad varía de 1 a 4% por cada °C. Conociendo estos factores la medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas.¹⁰

2.3.3 La atmósfera como medio corrosivo

La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones.

El mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de corrosión depende sobre todo el tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

- a) Corrosión húmeda. Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un calor crítico, frecuentemente por encima del 70%.
- b) Corrosión por mojado. Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.

La acción conjunta de los factores de contaminación y los meteorológicos determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, y cuando actúan simultáneamente, aumentan sus efectos. También es importante mencionar otros factores como las condiciones de exposición, la composición del metal y las propiedades del óxido formado, que combinados entre sí influyen en los procesos de corrosión.

2.3.3.1 Contaminación atmosférica.

Se puede definir la contaminación atmosférica como "la presencia en el aire de sustancias extrañas, sean éstas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia que puede provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje"

En relación a su toxicidad, los contaminantes producen efectos nocivos en el ser humano y su medio ambiente, como irritación en los ojos, nariz y garganta. Además, atacan a muchos metales y materiales de construcción, deterioran equipo eléctrico, superficies pintadas, etcétera.

Los contaminantes atmosféricos de mayor importancia son: partículas suspendidas totales, ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

Los agentes contaminantes inorgánicos son generados por los vehículos y las industrias; los orgánicos, por los basureros. Las centrales termoeléctricas, las refinerías y las fábricas de papel contribuyen con el 85% del SO₂ en la atmósfera; los automóviles con un 95% de CO, en el caso de la ciudad de México. Esto implica, por consiguiente, la necesidad de medir la cantidad de los distintos

contaminantes dispersados dentro de la capa de aire. Lo anterior puede lograrse usando equipo adecuado o mediante el uso de los modelos de difusión de gases contaminantes.

La concentración de los contaminantes se mide en partes por millón (ppm o mg/m^3) o en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g/m}^3$). Cada contaminante tiene un tiempo específico de exposición.

III.- EFECTOS DE LA CORROSIÓN

3.1. Tipos de corrosión

Existen muchos tipos de corrosión, cada uno de los cuales posee sus propias características y nos brinda indicios de las causas y a veces, de las características del medio ambiente. Es conveniente clasificar la corrosión según la forma en la cual aparece. En la mayoría de los casos, un examen a simple vista permite clasificar el tipo de corrosión entre los siguientes:

- Corrosión uniforme
- Corrosión Galvánica
- Corrosión en grietas
- Corrosión en picaduras
- corrosión – erosión
- corrosión bajo tensión

3.1.1 Corrosión uniforme

La corrosión uniforme es muy común y se caracteriza por una reacción sobre la superficie entera del material, reduciendo así su espesor hasta que finalmente llegue a la ruptura. La corrosión uniforme suele transcurrir a la misma velocidad en toda la superficie. La pérdida del peso es directamente proporcional a la duración del período de exposición y la velocidad de corrosión es constante. Esta corrosión puede relacionarse con los ácidos y con el agua de un pH muy bajo y de escasas propiedades protectoras. En agua salada neutra, pobre en calcio y de baja alcalinidad, el acero dulce se corroe a una velocidad bastante uniforme.

3.1.2 Corrosión galvánica

Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes, lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo. El metal anódico se corroe, mientras que el catódico no lo hace (o tan sólo a una velocidad relativamente moderada). Se dice que el metal catódico está protegido a expensas del anódico. A decir verdad, toda la corrosión es del tipo galvánico en el sentido de que la fuente de la corriente de corrosión es una pila electromagnética. El acero galvánico (con recubrimiento de Zinc) suele ser más útil que el acero por sí solo, debido a que las superficies expuestas de hierro en las juntas y zonas no pintadas están protegidas a expensas del zinc. Por regla general, cuando más espeso sea el recubrimiento de zinc, tanto más larga será la esperanza de vida del acero.

3.1.3 Corrosión en grietas

A menudo ocurre una corrosión localizada dentro de grietas o de superficies recubiertas con un producto húmedo. Este tipo de corrosión en grietas está asociado con pequeños volúmenes de disolución corrosiva estancada en huecos, juntas, depósitos superficiales, grietas de bajo de tornillos, remaches entre láminas (fig. 3.1), etc. Para que pueda funcionar como un medio corrosivo, una grieta tiene que ser suficientemente ancha para que entre líquido y suficientemente estrecha para que se mantenga una zona estancada.

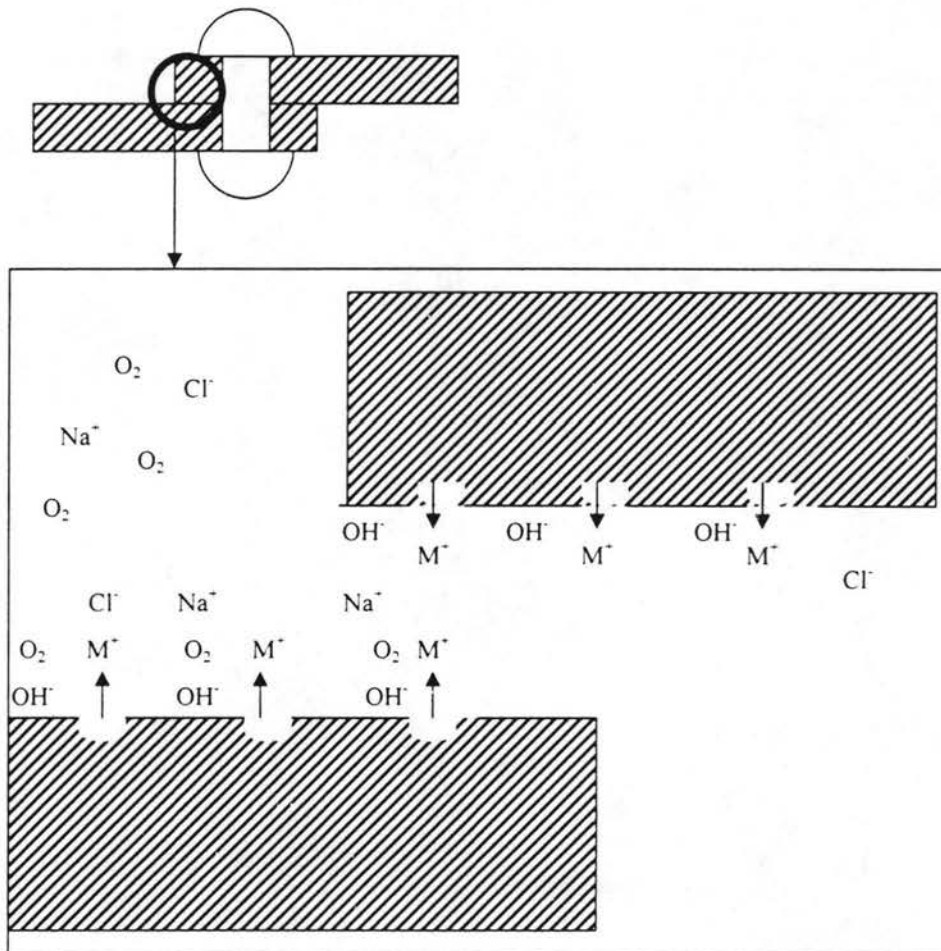


Fig 3.1 Mecanismo de la corrosión por fisuras

La corrosión en forma de filamentos también llamada Corrosión Filiforme que ocurre sobre una superficie metálica recubierta es un caso especial de corrosión en grietas. Este tipo de corrosión es bastante frecuente en la superficie de latas de alimentos o de bebidas expuestas a una superficie húmeda. Se observa este tipo de corrosión sobre acero, magnesio y aluminio recubierto con estaño, plata, oro, fosfatos, esmalte o laca. Esta corrosión no destruye mucho material metálico, pero causa mucho daño a la apariencia del producto. No afecta, por ejemplo, el contenido de las latas de alimento, pero si disminuye la venta de estas por aspecto más bien psicológico.

La humedad relativa de la atmósfera es el parámetro más importante para este tipo de corrosión, como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 3-1 Humedad relativa

Humedad Relativa %	Apariencia
0 – 65	No hay corrosión
65 – 80	Filamentos muy delgados
80 – 90	Filamentos anchos de corrosión
93	Filamentos muy anchos
95	Muchas ampollas, dispersión filiforme
100	Ampollas

3.1.4 Corrosión por picaduras

La corrosión en picaduras es una forma de ataque extremadamente local, resultando en perforaciones del material (fig. 3.2). En la mayoría de los casos, estas perforaciones o picaduras son muy pequeñas. A veces las picaduras se encuentran aisladas, a veces se juntan hasta formar casi una superficie rugosa. En forma general, se podría describir una picadura como una cavidad o un agujero con diámetro superficial parecido a su profundidad. La corrosión por picaduras es una de las formas más destructivas e insidiosas de la corrosión, ya que una sola perforación representa una falla del equipo, aunque solo hubo un desgaste muy ligero del material. Además, es muy difícil detectar una picadura porque es muy pequeña. También es muy difícil llevar a cabo ensayos cuantitativos, porque la profundidad y el número de picaduras puede variar mucho a pesar de condiciones de ensayo parecidas. La falla por picaduras es usualmente imprevista y muy rápida, la picadura crece en la dirección de la gravedad (hacia abajo). Hasta que aparezcan las primeras picaduras se requiere un tiempo de incubación de meses o años, dependiendo eso del metal y del medio particular. Sin embargo, una vez que empezó la corrosión, la picadura penetra con gran velocidad. La picadura tiende a moverse lateralmente y a corroer el interior del material durante su crecimiento. A menudo, el daño interior del material es mucho más fuerte que lo que un examen superficial deja suponer. El picado se desarrolla en un punto

anódico localizado en la superficie y prosigue en virtud de una zona catódica externa que rodea al ánodo. Los iones cloruro desempeñan un papel especialmente importante en este tipo de corrosión del acero, ya que hasta del tipo inoxidable está expuesto a la corrosión crateriforme en presencia de soluciones de cloruro relativamente elevadas. Las picaduras pueden ser pronunciadas y profundas o poco profundas y anchas, y presentarse en ausencia de cloruros. En las aguas que contienen oxígeno disuelto los productos de la corrosión se depositan en la zona en la que se registra la acción de picaduras para formar tubérculos. Las picaduras son una parte localizada de corrosión en la que el ataque está confinado a muchas cavidades pequeñas en la superficie del metal. Las cavidades que se forman pueden variar en cantidad, tamaño y forma. Las picaduras pueden contribuir de manera importante a una falla general, en componentes sujetos a esfuerzos muy altos, dando como consecuencia la falla por corrosión bajo tensión.

El picado se puede presentar en varios metales y aleaciones, pero los aceros inoxidables y las aleaciones de aluminio son susceptibles en especial a este tipo de degradación. Las aleaciones más sensibles a picaduras son los aceros inoxidables. La tabla siguiente da un resumen de los resultados de investigaciones que se efectuaron para aumentar la resistencia de las picaduras de los aceros inoxidables.

Tabla 3-2 Efecto sobre perforaciones (resistencia a la picadura)

Elemento	Efecto sobre perforaciones (resistencia a la picadura)
Romo	Incrementa
Níquel	Incrementa
Molibdeno	Incrementa
Silicio	Disminuye, incrementa cuando se presenta con Mo
Titanio y Columbion	Resistencia disminuida con $FeCl_3$, en otros medios no afecta.
Azufre y Selenio	Disminuye
Carbono	Disminuye,
Nitrógeno	Incrementa

Se asocia normalmente la corrosión por picaduras con condiciones estancadas como un líquido en un tanque o un líquido atrapado, por ejemplo, en una sección inactiva de un sistema de tubería.

Se puede decir que la corrosión por picaduras no ocurre en una grieta, sino que se crea su propia grieta, la picadura.

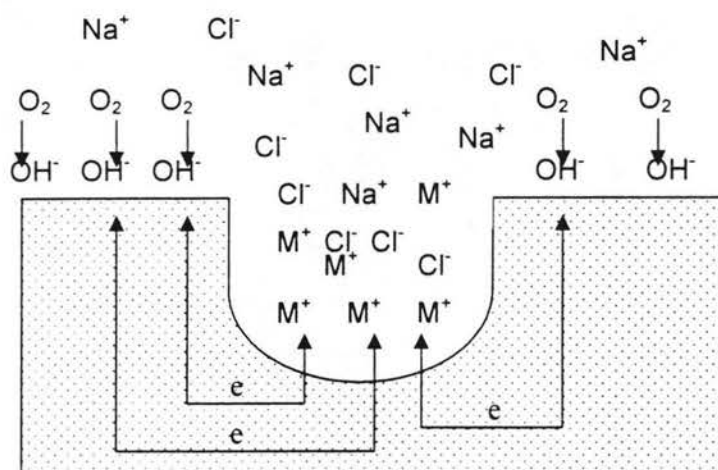


Fig 3.2 Mecanismo básico de la corrosión por picaduras

3.1.5 Corrosión – Erosión

La corrosión – erosión es la aceleración o incremento en la velocidad de deterioro ó ataque en un metal debido al movimiento relativo entre el fluido corrosivo y el material (fig. 3.3). Generalmente este movimiento es rápido y los efectos de desgaste mecánico ó abrasión son involucrados. La apariencia de la superficie metálica atacada por corrosión – erosión es muy típica y presenta ondulaciones, huecos redondos y valles con una estructura orientada. En muchos casos, la falla por corrosión – erosión ocurre en un tiempo relativamente corto y es más fuerte de lo esperado debido al hecho que muchas pruebas de evaluación de la resistencia a la corrosión del material se efectúan en condiciones estáticas. Cualquier tipo de equipo expuesto a fluidos en movimiento es susceptible a una corrosión – erosión: sistemas de tubos, especialmente codos y tes; válvulas; bombas; propulsores; impulsores; agitadores; etc. Varias fallas de tipo corrosión – erosión se debe a la existencia de flujos turbulentos, lo que provoca mayor agitación del líquido en la superficie del metal que en el caso de flujos laminares. Muchas veces ocurre en estos fenómenos de turbulencia con corrosión – erosión en las zonas de entrada y de salida de tubos en condensadores de calor o intercambiadores de calor, porque hay una variación brusca del diámetro de los conductos. Cualquier obstáculo en el flujo de un líquido, como por ejemplo depósitos, grietas, esquinas, cambios bruscos de sección, etc. disturban el flujo laminar y pueden causar una corrosión – erosión por turbulencia. El impacto de un líquido corrosivo sobre una superficie puede ocasionar una mayor corrosión – erosión. A veces, sólo ocurre una corrosión en codos y tes de un sistema de tuberías, mientras que las secciones rectas no presentan ningún ataque.

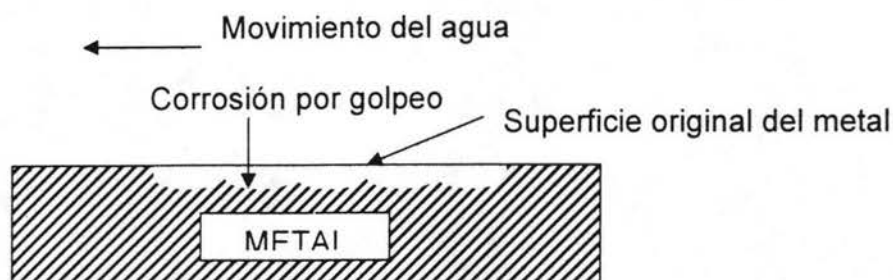


Fig. 3.3 Mecanismo esquemático de la corrosión - erosión

3.1.6 Corrosión bajo tensión

Se refiere a las tensiones internas posteriores a una deformación en frío. El agrietamiento por corrosión y esfuerzos es una falla corrosiva en la que se forman las grietas de un componente bajo la acción combinada de esfuerzos mecánicos y un medio ambiente agresivo. Los esfuerzos y el medio ambiente agresivo se unen para ocasionar una falla súbita.

Por lo general los requisitos para que se presente la corrosión son dos:

- a) Un metal o aleación susceptibles. Aceros de alta resistencia, latones y aceros inoxidable, y aleaciones comunes de aluminio, acero, hierro, etc.
- b) Un medio ambiente específico. Por lo general, un ambiente húmedo o salado, lleno de iones específicos (iones de cloruro, iones de amonio, etc.)

El agrietamiento por corrosión bajo tensión es un ataque extremadamente localizado, mientras que la superficie general del material no presenta ninguna traza de corrosión. Se propagan grietas muy finas a través del material y llega finalmente a una fractura de la estructura, sin que se halla acercado el esfuerzo aplicado al esfuerzo permitido normalmente en el uso sin efectos corrosivos. La apariencia de una fractura por agrietamiento por corrosión bajo tensión es la de una fractura frágil, pero es la consecuencia de un proceso local. Normalmente la grieta crece en una dirección perpendicular a la dirección del esfuerzo aplicado. La parte semiesférica de un tanque de alta presión puede presentar grietas con orientación diferente, debido a la diferente distribución de los esfuerzos.¹²

3.2 Corrosión externa en tuberías

Las tuberías de acero al carbón empleadas en la conducción del agua, están expuestas a la acción corrosiva del suelo, y en ellas se pueden presentar los tipos de corrosión externa que a continuación se describen.

3.2.1 Corrosión Galvánica

La corrosión galvánica ocurre cuando dos materiales de diferente composición química son conectados e inmersos en un electrolito, un ejemplo claro de este tipo de celda es la batería común y corriente (fig. 3.4), compuesta de un recipiente de zinc, el cual contiene una solución de cloruro de amonio, que es el electrolito y una barra de grafito.

Los átomos de zinc son ionizados por el electrolito y abandonan la placa de zinc en forma de iones, dejando atrás dos electrones; estos iones viajan a través del electrolito combinándose con la solución de cloruro de amonio y perdiendo su carga eléctrica, que los convierte en iones de hidrógeno, estos últimos viajan hasta llegar a la superficie de la barra de grafito, donde se combinan con los electrones que habían dejado atrás, los cuales viajaron a través de la conexión eléctrica, para formar átomos de hidrógeno, que posteriormente se combinan entre sí formando burbujas de gas.

Puede observarse como el recipiente de zinc sufre corrosión, funcionando como zona anódica, mientras que la barra de grafito permanece inalterada, la cual se conoce como zona catódica, por lo tanto, se concluye de acuerdo con la figura que para que exista corrosión se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Existir un ánodo, es decir, donde ocurre la corrosión, que en este caso es el recipiente de zinc.
- Existir un cátodo, es decir, donde no ocurre la corrosión, en este caso la barra de grafito.
- Existir una sustancia conductora de la corriente (electrolito).

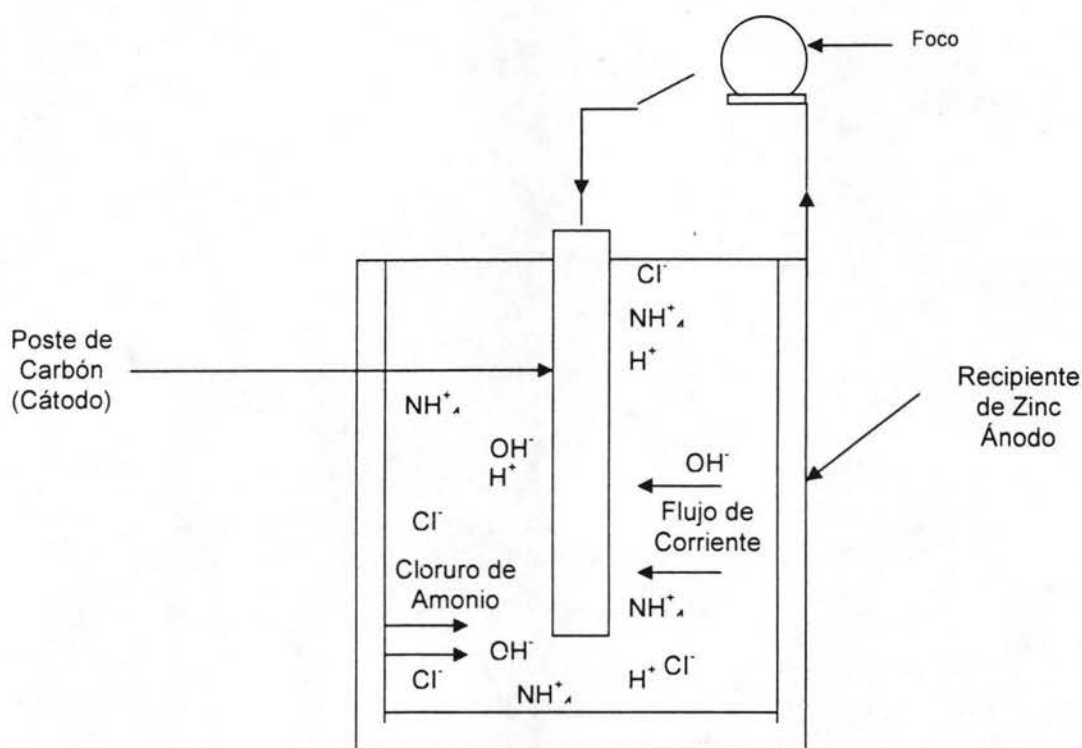


Fig. 3.4 Batería

Si cualquiera de las condiciones anteriores no se cumple, entonces la corrosión no ocurre, esto tiene una aplicación práctica importante, ya que la conexión eléctrica entre dos metales diferentes se puede romper o evitar mediante el empleo de juntas aislantes, pero en el caso de que no se pueda romper esta continuidad eléctrica, se debe aplicar un recubrimiento anticorrosivo a las zonas catódicas y anódicas, y por lo tanto, se disminuye en forma considerable la velocidad de corrosión.

Cabe aclarar, que en el caso de que el recubrimiento anticorrosivo se aplique sobre la zona anódica, este último puede sufrir daños, dejando pequeñas zonas desnudas e incrementando en forma acelerada la corrosión, debido a la relación de áreas anódicas pequeñas y área catódica grande.

3.2.2 Diferencia de concentración de oxígeno

Para el caso de tubería enterrada se tiene que la parte superior está inmersa en el suelo con mayor contenido de oxígeno, mientras que el fondo de la misma se encuentra rodeado por suelo con menor concentración de oxígeno, lo cual conduce a que se forme una zona catódica en la parte superior y una zona

anódica en la inferior, debido a la diferencia de concentración de oxígeno en el suelo, produciéndose con esto la corrosión del fondo del tubo; lo cual se puede evitar aplicando protección catódica.

3.2.3 Ampliación de la red de suministro

Cuando por alguna razón se tiene que cambiar algún tramo de tubería en una línea existente, esta funciona como cátodo, mientras que la nueva como ánodo, produciéndose la corrosión de la tubería nueva, lo anterior puede evitarse si se aplica un recubrimiento anticorrosivo al tramo de tubería nuevo.

3.2.4 Rayones de tubería

Los daños mecánicos que sufre una tubería enterrada como son rayones, se comportan como una zona anódica con respecto a toda la tubería que funciona como zona catódica, incrementándose la corrosión en la zona de rayón, lo cual se puede evitar si primero se repara la zona dañada y después se aplica un recubrimiento anticorrosivo en la misma. ⁽⁵⁾

IV.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Análisis Físico del Agua

4.4.1 Equipo y material

El equipo que se utilizó para medir las características físicas del agua es el Water Quality Checker HORIBA U-10 ELE Intenacional con el cual se obtendrán los parámetros medidos que son: el pH, turbiedad, conductividad eléctrica, temperatura y porcentaje de salinidad. Este equipo cuenta con un recipiente de plástico donde se coloca la muestra a ser analizada.

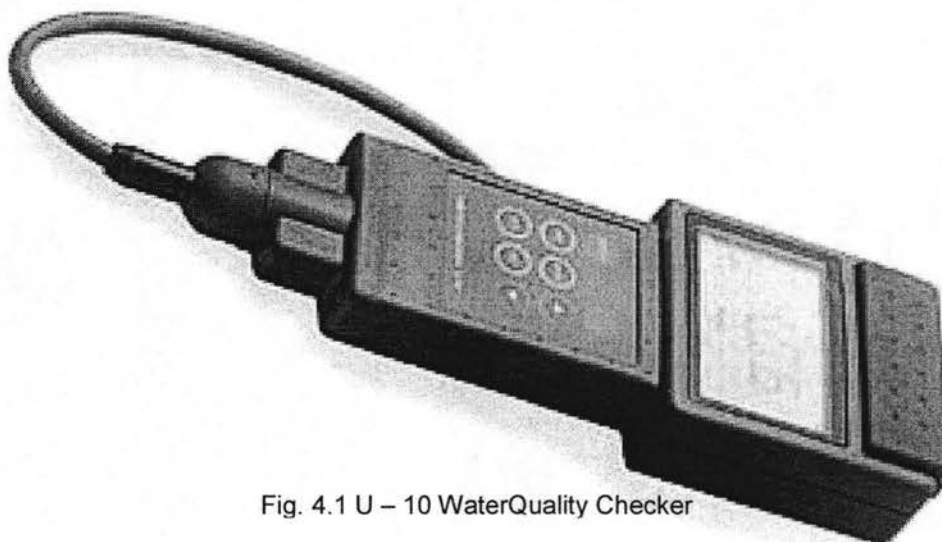


Fig. 4.1 U – 10 WaterQuality Checker

Agua destilada y 2 litros de agua proveniente de los siguientes puntos:

- Cisterna que se encuentra junto al gimnasio.
- Baños de la biblioteca.
- Baños del edificio donde se imparte la carrera de derecho
- Cisterna del Centro Tecnológico
- Agua proveniente de los aspersores de riego

4.1.2. Desarrollo

Se lava el recipiente contenedor de la muestra con agua destilada, con el fin de no afectar la lectura y eliminar materiales que hayan quedado de muestras anteriores.

Posteriormente, se llena el recipiente con la muestra que se va a analizar hasta la marca de aforo. Se coloca dentro del U-10 Water Quality Checker y se enciende. Se espera que los valores se estabilicen y se toma la lectura de todos los parámetros antes mencionados. Esta operación se realizó dos veces para confiabilidad de los resultados.

4.2. Análisis Químico del Agua

4.2.1. Equipo y material

Para llevar a cabo el análisis químico del agua, se usó un fotómetro Paqualab, el cual funciona mediante técnicas colorimétricas, donde la intensidad del color generado es proporcional a la concentración del compuesto químico a evaluar, obteniéndose valores de concentración en miligramos por litro de muestra.

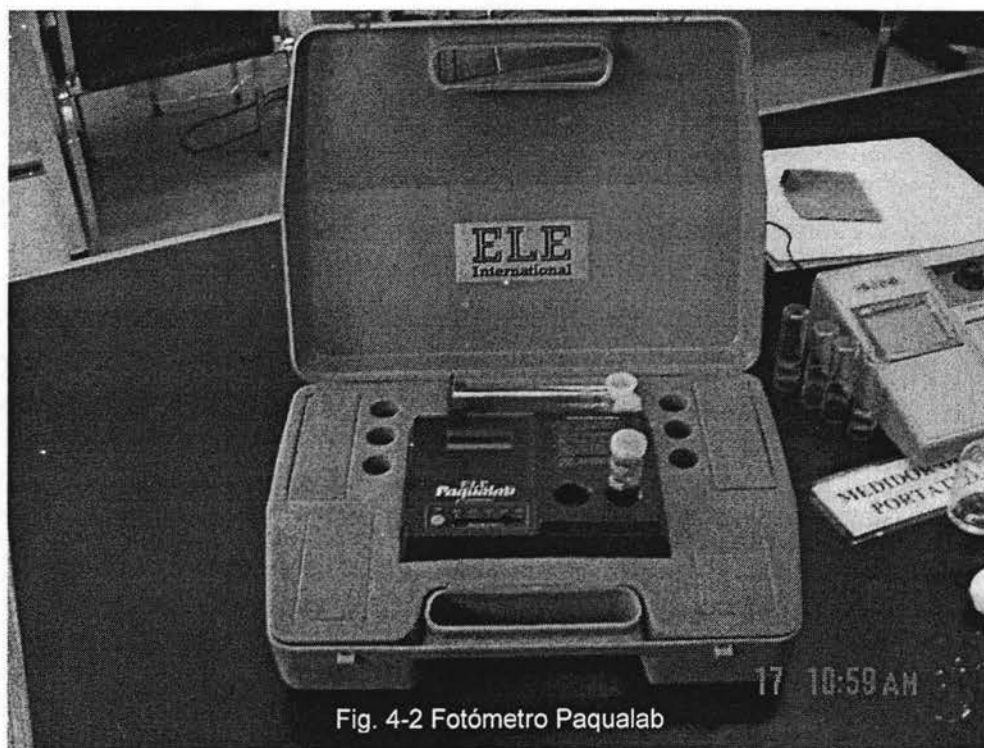


Fig. 4-2 Fotómetro Paqualab

Como material se requiere agua destilada y muestras de agua de los mismos puntos que se utilizaron para el análisis físico.

4.2.2. Desarrollo

Los parámetros químicos medidos se describen a continuación, así como los métodos analíticos empleados.

4.2.2.1. Dureza Total.

Rango de concentración: 0 – 500 mg de CaCO₃ / L.

Longitud de onda: 570 nm.

Descripción del método:

a) Descripción del Método

Se basa en un método colorimétrico. Los iones calcio y magnesio reaccionan con un indicador para producir una coloración púrpura. La intensidad del color es proporcional a la dureza total del agua.

b) Procedimiento:

1. Llenar el tubo con la muestra de agua a analizar hasta la marca de los 10 mL.
2. Agregar una tableta "Calcicol No. 1", triturar y mezclar hasta disolver.
3. Agregar una tableta "Calcicol No. 2", triturar y mezclar hasta disolver.
4. Dejar reposar por dos minutos.
5. Seleccionar 570 nm en el Fotómetro.
6. Tomar lectura.
7. Consultar la siguiente tabla para obtener la concentración.

Tabla 4 –1 Concentración de la dureza Total

CALCICOL % T	mg/L CaCO ₃									570 mn	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
80	-	-	-	-	0	0	0	0	3	6	
70	10	14	18	22	26	30	34	38	42	47	
60	52	56	60	65	70	75	80	85	90	95	
50	102	108	115	122	130	137	145	155	165	175	
40	185	195	210	220	235	250	265	280	300	325	
30	355	390	425	465	500	-	-	-	-	-	

4.2.2.2. Magnesio.

Rango de concentración: 0.0 – 100.0 mg de Mg / L.

Longitud de onda: 520 nm.

a) Descripción del Método:

El procedimiento de determinación es colorimétrico. El magnesio reacciona con un compuesto orgánico para producir un complejo naranja. La coloración que presenta el reactivo, va desde el amarillo hasta el naranja, dependiendo de la concentración de magnesio en el agua.

b) Procedimiento:

1. Se utiliza una jeringa. Se toma 1 mL de la muestra a analizar. Se transfiere el tubo de ensayo y se diluye con agua destilada hasta la marca de aforo de 10 mL.
2. Se agrega una tableta de "Magnecol", se tritura y mezcla hasta disolver.
3. Se deja reposar la muestra por 5 minutos.
4. Se selecciona la longitud de onda (520 nm)
5. Se Toma la lectura.
6. Se consulta la tabla para obtener el valor de la concentración.

Tabla 4-2 Concentración de magnesio

MAGNECOL			Magnesio mg/L Mg						520 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
70	-	-	-	-	0.0	1.0	2.5	4.0	5.0	6.0
60	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.0	9.5	9.5	10.0	10.0
50	10.5	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	12.5	13.0	13.5	14.0
40	14.5	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.5	20
30	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31
20	32	33	34	35	37	38	40	41	42	44
10	45	47	48	50	53	57	60	64	67	72
0	78	90	100	-	-	-	-	-	-	-

4.2.2.3. Cloro (DPD)

Rango de concentración: 0.0 – 5.0 mg de Cl / L.
 Longitud de onda: 520 nm.

a) Descripción del Método

Se utiliza el método DPD desarrollado por el Dr. A. T. Palin y ahora es internacionalmente reconocido como un método estándar de prueba para el cloro y otros desinfectantes residuales.

El cloro libre reacciona con la dietil – p – fenileno diamina (DPD) en una solución amortiguadora que produce una coloración rosa. La intensidad del color es proporcional a la concentración de cloro libre. La subsecuente adición de un exceso de yoduro de potasio induce a una reacción más con cualquier cloro combinado presente. La intensidad del color ahora es proporcional a la concentración total de cloro; el incremento de intensidad representa la concentración de cloro combinado. De esta forma, es posible diferenciar entre el cloro libre y el cloro combinado presentes en la muestra.

b) Procedimiento:

1. Se agregar dos gotas de la muestra
2. Se agregar una tableta "DPD No1", se tritura y se llena el tubo con la muestra de agua hasta la marca de aforo de 10 mL.
3. Se selecciona la longitud de onda (520 nm)
4. Se toma la lectura.
5. Se consultar la tabla No. 4-3.
6. El resultado representa cloro libre residual. Se detiene el análisis si solo se requiere determinar cloro libre.
7. Si se requiere determinar el cloro total, se agrega al análisis anterior una tableta "DPD No 3", se tritura y se mezcla hasta disolver.
8. Se deja reposar 2 minutos.
9. Se toma la lectura.
10. Se consulta la siguiente tabla para obtener la concentración.

Tabla 4-3 Concentración de cloro

CHLORINE (DPD)		Cloro mg/L							520 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12
80	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.21	0.22	0.24	0.25
70	0.26	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40
60	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59
50	0.61	0.63	0.65	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.80
40	0.82	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.00	1.03
30	1.06	1.09	1.13	1.17	1.20	1.24	1.28	1.31	1.35	1.38
20	1.42	1.46	1.51	1.56	1.64	1.70	1.77	1.84	1.92	2.00
10	2.08	2.16	2.24	2.32	2.40	2.50	2.60	2.72	2.84	3.00
0	3.20	3.40	3.70	4.00	4.50	5.00	-	-	-	-

4.2.2.4. Cobre.

Rango de concentración: 0.0 – 5.0 mg de Cu / L.
 Longitud de onda: 520 nm.

a) Descripción del Método

En este método las sales de cobre son reducidas a la forma cuprosa y después reaccionan con la sal 2,2 Bioquinolina – 4,4 – dicarboxílica para formar un complejo de coloración morada. Esto provee una medida de los iones de cobre libre presentes en la muestra. En el segundo paso de la prueba, un agente descomplejante es agregado y esto induce a una reacción más con cualquier compuesto de cobre quelatado que pudiese estar presente.

La intensidad de color producida durante la prueba es proporcional a las concentraciones de cobre.

b) Procedimiento:

1. Se llena el tubo de ensayo con la muestra de agua a alisar hasta la marca de aforo de 10 mL.
2. Se agregar una tableta "Coppercol No 1", se tritura y se mezcla hasta disolver.
3. Se selecciona la longitud de onda (520 nm)
4. Se Toma la lectura.
5. Se consulta la tabla para obtener el valor de la concentración.

Tabla 4-4 Concentración de cobre

%T	COPPERCOL		cobre mg/L Cu						520 mn	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	0.00	0.00	0.03	0.06	0.10	0.13	0.17	0.20	0.24	0.27
80	0.30	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.55	0.59	0.63
70	0.67	0.72	0.76	0.80	0.83	0.86	0.90	0.93	0.96	1.00
60	1.04	1.08	1.13	1.18	1.23	1.28	1.32	1.38	1.44	1.48
50	1.52	1.57	1.62	1.68	1.74	1.80	1.86	1.92	1.95	2.02
40	2.07	2.14	2.20	2.27	2.34	2.40	2.46	2.53	2.60	2.68
30	2.78	2.86	2.96	3.06	3.16	3.25	3.34	3.43	3.51	3.60
20	3.70	3.80	3.90	4.00	4.10	4.22	4.34	4.48	4.65	4.80
10	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.2.2.5. Manganeso.

Rango de concentración: 0.0 – 0.030 mg de Mn / L.

Longitud de onda: 640 nm.

a) Descripción del método:

El manganeso puede estar presente en el agua en diferentes estados de valencia. En el primer paso del método, el manganeso con la valencia más baja es oxidado

para formar permanganato por la acción de un agente oxidante. En el segundo paso, el permanganato formado reacciona aún más con leucomalaquita verde para formar un compuesto de coloración turquesa. Catalizadores e inhibidores son incorporados en la tableta de reactivos para asegurar que la reacción de color proceda correctamente y las interferencias sean eliminadas.

La intensidad de color producida en la prueba es proporcional a la concentración total de manganeso.

b) Procedimiento:

1. Se llena el tubo con la muestra de agua a analizar hasta la marca de aforo de 10 mL.
2. Se agregar una tableta "Manganeso No 1", se tritura y se mezcla hasta disolver.
3. Se agregar una tableta "Manganeso No 2", se tritura y se mezcla hasta disolver.
4. Se dejar reposar 20 minutos.
5. Se selecciona la longitud de onda (640 nm)
6. Se tomar lectura
7. Se consultar la tabla para obtener el valor de la concentración.

Tabla 4-5 Concentración de magnesio

MANGANESE			Manganeso mg/L Mn						640 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	-	-	-	-	-	-	0.000	0.000	0.001	0.001
80	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006
70	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011
60	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.015	0.015	0.016	0.016	0.017
50	0.017	0.018	0.018	0.019	0.020	0.021	0.022	0.023	0.024	0.026
40	0.027	0.028	0.030	-	-	-	-	-	-	-

4.2.2.6. Zinc.

Rango de concentración: 0.0 – 4.0 mg de Zn / L.
 Longitud de onda: 640 nm.

a) Descripción del método:

El Zinc reacciona con 5 – (o – carboxifenil) – 1 – (2 hidroxil – 5 – sulfonil) – 3 – fenil – formazan (Zincon) en una solución alcalina que da un intenso color azul. El

reactivo en solución es anaranjado. Diferentes niveles de zinc tienen distintos rangos de color, desde el anaranjado, pasando por el morado hasta el azul. Las muestras que tengan un alto contenido de cloro residual son tratadas con un eliminador de cloro para prevenir la decoloración en la prueba.

El color producido es indicativo de la concentración de zinc.

El cobre reacciona de manera similar al zinc y el procedimiento de corrección usado por EDTA es aplicado en aquellas muestras que contienen zinc o cobre. El EDTA destruye el complejo que produce el color si hay zinc.

b) Procedimiento:

1. Se llena el tubo con la muestra de agua a analizar hasta la marca de aforo de 10 mL.
2. Se agrega una tableta "Zinc", se tritura y se mezcla hasta disolver.
3. Se dejar reposar por 5 minutos.
4. Se selecciona la longitud de onda (520 nm)
5. Se toma la lectura
6. Se consulta la tabla para obtener el valor de la concentración.

Tabla 4-6 Concentración de zinc

ZINC			Mg/L Zn						640 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	-	-	-	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
80	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20
70	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.37
60	0.38	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56
50	0.58	0.60	0.62	0.64	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.79
40	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06
30	1.10	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.30	1.34	1.38	1.42
20	1.47	1.51	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.81	1.87	1.94
10	2.00	2.08	2.15	2.23	2.31	2.40	2.50	2.60	2.70	2.82
0	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	-	-	-	-	-

4.2.2.7 Hierro

a) *Procedimiento:*

3500-Fe D. Método de fenantrolina.

- a) Hierro total. Mezclarse cuidadosamente la muestra y medirse 50.0 mL en un erlenmeyer de 125 mL. Si este volumen de muestra contiene más de 200 μg de hierro, utilícese una porción más pequeña medida con precisión y dilúyase hasta 50.0 mL. Añádase 2 mL de HCl conc. y 1 mL de solución de $\text{NH}_2\text{OH} - \text{HCl}$. Añádase unas cuantas bolas de vidrio y caliéntese a ebullición. Para asegurar la disolución de todo el hierro, continúese la ebullición hasta que el volumen se reduzca a 15-20 mL. (Si la muestra ha sido sometida a combustión seca, disuélvase el residuo en 2 mL de HCl conc. y 5 mL de agua). Enfríese hasta temperatura ambiente y pásese a un matraz volumétrico de 50 o 100 mL a un tubo de Nessler. Añádase 10 mL de solución tampón de $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ y 4 mL de solución de fenantrolina y dilúyase con agua hasta la señal. Mézclese cuidadosamente y déjese al menos durante 10 a 15 minutos para que se desarrolle el color al máximo.
- b) Hierro disuelto. Inmediatamente después de tomada, filtrese la muestra a través de un filtro de membrana de 0.45 μm a un matraz de vacío que contenga 1 mL de HCl conc. / 100 mL de muestra. Analícese el filtrado en cuanto al hierro total disuelto y/o hierro ferroso disuelto. (Este procedimiento también puede emplearse en el laboratorio sabiendo que la exposición normal de la muestra al aire durante el traslado puede dar lugar a la precipitación del hierro). Calcúlese el hierro suspendido restando el hierro disuelto del hierro total.
- c) Hierro ferroso. Determínese el hierro ferroso en el lugar donde se ha tomado la muestra, pues con el tiempo puede cambiar la relación ferroso-férrico en soluciones ácidas. Para determinar el hierro ferroso solamente, acidúlse una muestra separada con 2 mL de HCl conc. / 100 mL de muestra en el momento de su toma. Llénese una botella directamente de la fuente de donde se toman las muestras y tápese. Extráigase a continuación una porción de 50 mL de muestra acidúlce y añádase 20 mL de solución de fenantromina y 10 mL de solución de $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ agitado con energía. dilúyase hasta 100 mL y mídase la intensidad del color dentro de los 5 a 10 minutos. No hay que exponerla a la luz del sol. El desarrollo del color es rápido en presencia de exceso de fenantrolina. El volumen de fenantrolina dado es adecuado para menos de 50 μg de hierro total; si existen cantidades mayores, utilícese un volumen de fenantrolina correspondiente mayor a un reactivo más concentrado. Se necesita un exceso de fenantrolina por la cinética del proceso de formación del complejo. Calcúlese el hierro férrico por sustracción del hierro ferroso del hierro total.

- d) Medida del color. Prepárese una serie de patrones llevando con la pipeta volúmenes calculados con precisiones de soluciones de hierro patrón (utilícese una solución más débil para medir porciones de 1 a 10 μg) a matraces erlenmeyer de 125 mL, diluyendo hasta 50 mL. Para comparación visual, prepárese una serie de 10 patrones por lo menos, cuyo contenido varíe de 1 a 100 μg Fe en el volumen final de 100 mL. Compárese los colores en tubos de Nessler de 100 mL de forma alargada. Léase los patrones frente a agua destilada fijada a absorbancia cero y trácese una curva de calibración. Si la muestra tiene color o turbidez realícense todos los pasos del procedimiento con un segundo juego de muestras sin añadir fenantrolina. En lugar de agua destilada, utilícese los blancos preparados para fijar el cero de absorbancia del fotómetro y léase cada muestra revelada con fenantrolina frente al correspondiente blanco sin fenantrolina. Trasládense las lecturas observadas en el fotómetro a valores de hierro empleando una curva de calibración. Este procedimiento no compensa los iones que interfieren.

IRON			Mg/L Fe						520 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13
80	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31
70	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51
60	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.70	0.72
50	0.74	0.77	0.80	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01
40	1.04	1.07	1.10	1.14	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34	1.37
30	1.41	1.45	1.49	1.53	1.58	1.63	1.68	1.73	1.78	1.83
20	1.88	1.93	1.98	2.00	2.08	2.14	2.21	2.28	2.35	2.44
10	2.53	2.63	2.73	2.83	2.90	3.06	3.20	3.34	3.48	3.67
0	3.87	4.10	4.40	4.70	5.00	-	-	-	-	-

4.2.2.8. Cloruros

- a) Preparación de la muestra: Utilícese una muestra de 100 mL o una porción adecuada diluida a 100 mL. Si la muestra tiene mucho color, añádanse 3 mL de suspensión de $\text{Al}(\text{OH})_3$ mézclase, déjese sedimentar y fíltrese. Si hubiera sulfuro, sulfito o tiosulfato presentes, añádase 1 mL de H_2O_2 y agítese durante 1 minuto.
- b) Titulación: Valórense directamente las muestras con pH entre 7 y 10. ajústese el pH a 7 o 10 con AgNO_3 patrón hasta un punto final amarillo rosado, con un criterio constante relativo al punto final. Estandarícese el AgNO_3 titulante y establézcase el valor del blanco de reactivos por el

método de titulación descrito anteriormente. Lo usual es un blanco de 0.2 a 0.3 mL.

c) Procedimiento:

1. Se utiliza una jeringa. Se toma 1 mL de la muestra a analizar. Se transfiere el tubo de ensayo y se diluye con agua destilada hasta la marca de aforo de 10 mL.
2. Se añade una tableta de "Acidifying CD", se tritura y se mezcla hasta disolver.
3. Se añade una tableta "Chloridol", se deja que se disuelva durante 2 minutos y se tritura cualquier partícula restante para obtener una buena mezcla. Una disolución turbia indica la presencia de cloruros.
4. Se selecciona la longitud de onda (520 nm)
5. Se consulta la tabla para obtener el valor de la concentración.

Tabla 4-7 Concentración de cloruros

CHLORIDE			Cloruros mg/L Cl						520 nm	
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
90	0	0	0	4	7	10	12	14	16	18
80	20	22	23	25	27	28	30	32	34	36
70	38	40	41	42	44	45	46	48	50	52
60	54	58	58	60	62	64	66	68	70	72
50	74	76	78	80	83	85	87	90	92	94
40	97	100	103	108	109	112	115	118	122	126
30	129	133	137	140	144	148	152	158	162	166
20	171	176	182	188	194	200	205	211	218	225
10	232	240	250	280	270	285	300	315	335	355
0	380	410	450	500	-	-	-	-	-	-

4.3. Análisis Físico del Suelo

4.3.1 Determinación del Contenido de Humedad

La muestra se obtuvo en el registro que se encuentra a un costado del laboratorio L-4. El tipo de muestra es alterada. Se pesa los vidrios de reloj donde se coloca la muestra. Se pesa 50 g. de muestra del suelo. Se coloca los vidrios de reloj con la muestra en el horno durante 24 horas. Ya transcurrido el tiempo se sacan las muestras del horno y se dejan enfriar por algunos minutos. Se vuelven a pesar cada una de las muestras y se registran los datos. Para poder conocer el porcentaje de humedad de cada muestra, se emplea la siguiente ecuación:

$$W \% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

W%= Porcentaje de humedad

Ww = Peso del agua (Wm – Ws)

Wm= Peso de la muestra

Ws= Peso del sólido después colocarlo en el horno

4.3.2. Determinación del pH (método potenciométrico)

a) Aparatos y Equipo

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g.
- Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio y electrodo de referencia.
- Agitador magnético con magnetos recubiertos de teflón o agitador mecánico.
- Termómetro de vidrio con escala de 263 K a 393 K (-10⁰ C a 120⁰ C).
- Equipo usual de laboratorio.
-

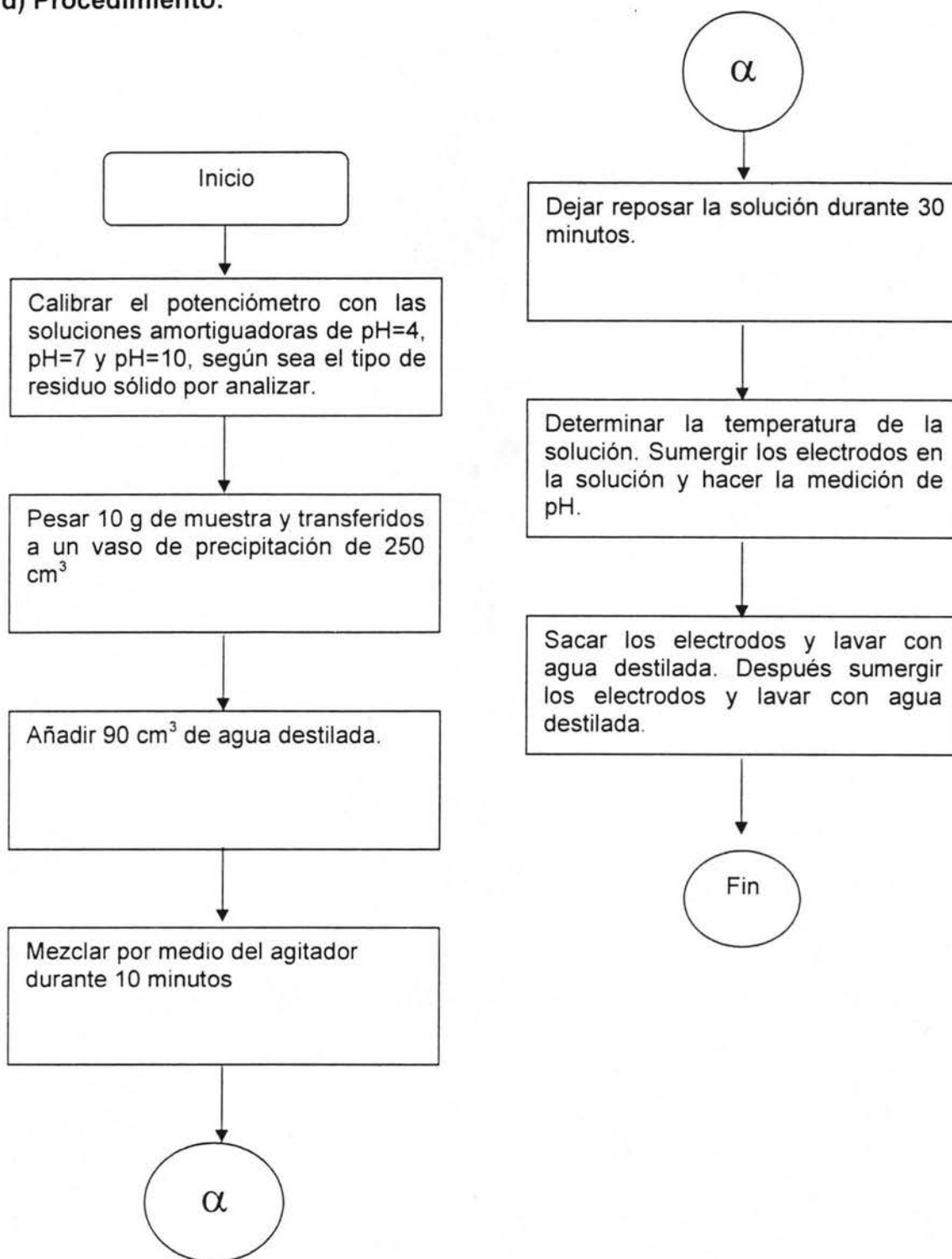
b) Materiales y Reactivos

- Solución amortiguadora de pH = 4.0
- Solución amortiguadora de pH = 10.0
- Solución amortiguadora de pH = 7.0
- Agua destilada.

d) Obtención de la Muestra

La determinación de la muestra se hizo con base a lo que establece la norma NMX-AA-052. la determinación se hizo por duplicado.

d) Procedimiento:

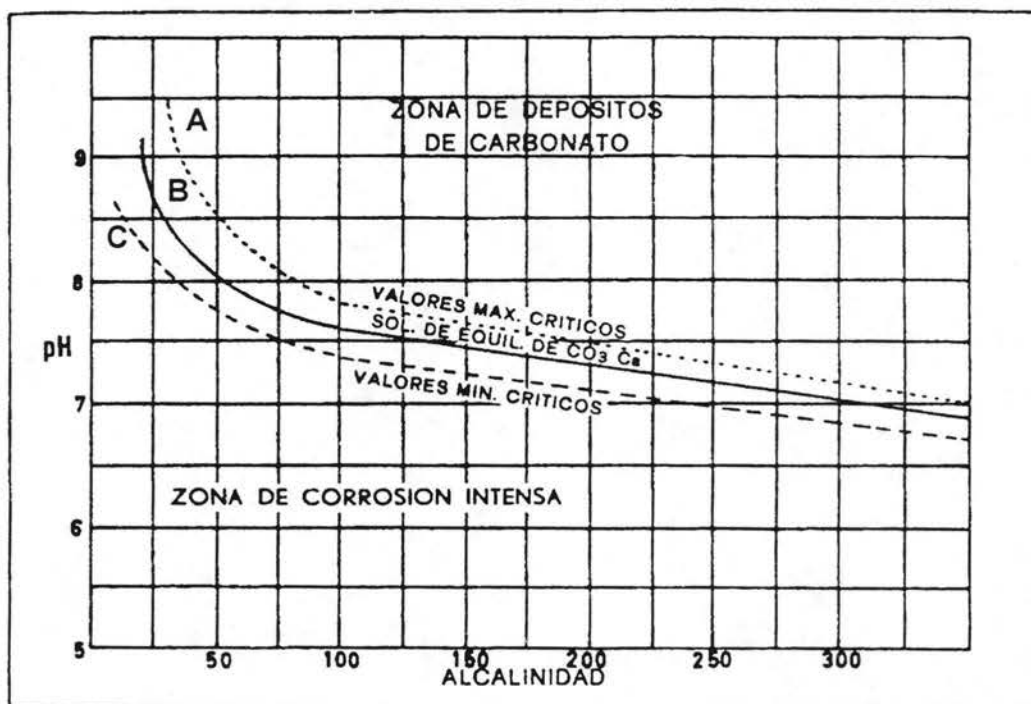


V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Grado de Corrosión Interna

En todas las muestras de agua encontramos un porcentaje de salinidad, aunque sea mínima es suficiente para que exista una conductividad eléctrica que es uno de los elementos que deben existir para que se presente la corrosión. El grado de corrosión se determinará con el pH y la dureza del agua.

El efecto de la corrosividad se puede evaluar mediante la relación pH – alcalinidad como se muestra en la gráfica 5-1. Si la intersección de las líneas que representa el valor del pH y la alcalinidad del agua está arriba y hacia la derecha de la línea A, el agua será capaz de depositar carbonato de calcio como recubrimiento de protección en el interior del tubo. Si la intersección está entre las líneas A y B, el agua no disolverá a un recubrimiento que ya este formado. Si la intersección queda entre las líneas B y C, el agua será un poco corrosiva, pero no lo suficiente para formar agua roja. Cuando la intersección está debajo de la línea C, el agua definitivamente es corrosiva.⁷



Gráfica 5-1 Relación pH - Alcalinidad

Tabla 5-1 Parámetros obtenidos del análisis físico del agua

Origen	Muestra	pH	Conductividad Eléctrica	Turbidez	Temperatura °C	% Salinidad
Gimnasio (Cisterna)	1	7.35	2.01	0	27.3	0.09
Biblioteca (Baños)	2	7.55	2.00	0	22.1	0.09
Derecho (Baños)	3	7.92	2.02	3	22.0	0.09
Tecnológico (Cisterna)	4	7.94	2.01	2	21.2	0.09
Sistema de Riego	5	7.90	2.00	0	23.2	0.09

La alcalinidad se debe a la presencia de iones hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. En el laboratorio no se pudo realizar la prueba para determinar la alcalinidad ya que este no cuenta con el equipo necesario pero se evaluó la dureza total debida a carbonato de calcio y magnesio.

5.1.1 Dureza

Tabla 5-2 Concentración obtenida de la dureza

Origen	Muestra	Lectura			Dureza mg/l CaCO ₃
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	44	45	45	235
Biblioteca (Baños)	2	42	42	42	280
Derecho (Baños)	3	44	44	44	250
Tecnológico (Cisterna)	4	44	44	43	250
Sistema de riego	5	43	42	43	265

Tabla 5-3 Resultado final después de relacionar pH - dureza

Origen	Muestra	pH	Dureza	Resultado
Gimnasio (Cisterna)	1	7.35	235	El agua no disolverá algún recubrimiento ya formado
Biblioteca (Baños)	2	7.55	280	Corrosión Nula
Derecho (Baños)	3	7.92	250	Corrosión Nula
Tecnológico (Cisterna)	4	7.94	250	Corrosión Nula
Sistema de Riego	5	7.90	265	Corrosión Nula

5.1.2 Magnesio

Si tenemos un trozo de hierro o acero en contacto con magnesio en agua salada, el magnesio es más activo que el hierro, se oxidará primero el magnesio antes que el hierro y mientras haya magnesio en contacto con el hierro, éste no se verá afectado por la corrosión.

Tabla 5-4 Concentración obtenida del magnesio

Origen	Muestra	Lectura			Magnesio mg/l Mg
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	14	14	14	57
Biblioteca (Baños)	2	15	15	15	53
Derecho (Baños)	3	15	15	15	53
Tecnológico (Cisterna)	4	12	12	12	64
Sistema de riego	5	9	9	9	78

5.1.3 Cloro Libre

Tabla 5-5 Concentración obtenida del cloro libre

Origen	Muestra	Lectura			Cloro Libre mg/l
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	23	23	23	1.77
Biblioteca (Baños)	2	94	93	94	0.07
Derecho (Baños)	3	23	23	23	1.77
Tecnológico (Cisterna)	4	88	88	89	0.15
Sistema de riego	5	96	95	94	0.06

5.1.4 Cloro Total

La reacción de cloro con nitrógeno orgánico es importante porque ejerce una demanda, es decir, se requiere que se agregue más cloro para lograr un nivel determinado de desinfección. No en todos los casos el cloro unido al nitrógeno pierde su capacidad de oxidar, pero en general no es un oxidante tan potente como el HOCL ó el NH₂Cl.

Tabla 5-6 Concentración obtenida del cloro total

Origen	Muestra	Lectura			Cloro Total mg/l
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	21	22	21	1.92
Biblioteca (Baños)	2	92	93	93	0.08
Derecho (Baños)	3	21	21	21	1.92
Tecnológico (Cisterna)	4	83	84	83	0.21
Sistema de riego	5	90	90	89	0.12

5.1.4 Cobre Libre

Tabla 5-7 Concentración obtenida del cobre libre

Origen	Muestra	Lectura			Cobre Libre mg/l Cu
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	94	94	95	0.13
Biblioteca (Baños)	2	95	94	96	0.10
Derecho (Baños)	3	96	96	96	0.06
Tecnológico (Cisterna)	4	92	93	94	0.17
Sistema de riego	5	99	99	100	0.00

5.1.6 Cobre Total

Se determinó el cobre libre y cobre total con la finalidad de descubrir si el agua que es transportada por la red de distribución es corrosiva a las tuberías hechas por cobre.

Tabla 5-8 Concentración obtenida del cobre total

Origen	Muestra	Lectura			Cobre Total mg/l Cu
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	97	99	97	0.03
Biblioteca (Baños)	2	96	98	96	0.06
Derecho (Baños)	3	94	94	96	0.13
Tecnológico (Cisterna)	4	94	94	94	0.13
Sistema de riego	5	98	97	98	0.00

5.1.7 Manganeso

El uso principal del manganeso es la formación de aleaciones de hierro, obtenidas mediante el tratamiento de pirolusita en altos hornos con hierro y carbono. Las aleaciones ferromanganesas (hasta un 78% de manganeso), utilizadas para fabricar aceros, y las aleaciones *spiegeleisen* (de un 12 a un 33% de manganeso), son las más importantes. En pequeñas cantidades, el manganeso se añade al acero como desoxidante, y en grandes cantidades se emplea para formar una aleación muy resistente al desgaste.

Tabla 5-9 Concentración obtenida del manganeso

Origen	Muestra	Lectura			Manganeso
		1	2	3	mg/l Mn
Gimnasio (Cisterna)	1	84	84	83	0.004
Biblioteca (Baños)	2	87	87	87	0.003
Derecho (Baños)	3	85	86	86	0.003
Tecnológico (Cisterna)	4	71	77	77	0.008
Sistema de riego	5	84	84	83	0.004

5.1.8 Zinc

La manera más simple de proteger el hierro contra la corrosión es formar una barrera entre el metal y la atmósfera. La barrera puede ser una capa de pintura, de aceite, de una grasa o de un plástico. Pero a veces se utiliza otra técnica: el hierro se recubre de una fina capa de otro metal, como por ejemplo el zinc. Este metal debe tener la propiedad de ser más activo químicamente que el hierro.

Tabla 5-10 Concentración obtenida de zinc

Origen	Muestra	Lectura			Zinc
		1	2	3	mg/l Zn
Gimnasio (Cisterna)	1	94	94	94	0.02
Biblioteca (Baños)	2	94	92	93	0.03
Derecho (Baños)	3	91	91	93	0.05
Tecnológico (Cisterna)	4	89	89	90	0.07
Sistema de riego	5	94	94	95	0.02

5.1.9 Hierro

Se realizó esta prueba con el objeto de conocer la cantidad de hierro que se encuentra en el agua y con ello determinar si esta presentando corrosión en el interior de la válvula. En la tabla de resultados se puede observar que se encontró una cantidad muy pequeña de hierro que nos hace suponer que prácticamente no existe corrosión interna. También se debe tener en cuenta que el hierro encontrado puede proceder de la red de distribución que se encuentra en la colonia Impulsora.

Tabla 5-11 Concentración obtenida de hierro

Origen	Muestra	Lectura			Hierro mg/l Fe
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	95	96	95	0.04
Biblioteca (Baños)	2	93	93	94	0.07
Derecho (Baños)	3	90	91	90	0.13
Tecnológico (Cisterna)	4	93	94	94	0.05
Sistema de riego	5	90	90	89	0.13

5.1.10 Cloruros

Las disoluciones que contengan cloruros podrían atacar por una acción de picado, y en las picaduras se podrán desarrollar celdas galvánicas. Los daños debidos a este picado son también llamados pinchazos de alfiler causados por la corrosión. Los cloruros ácidos, tales como el cloruro férrico y el cloruro sódico son particularmente peligrosos, pero cualquier cloruro en concentración apreciable puede ser la causa posible de perturbaciones. Generalmente los fracasos del acero inoxidable en un medio supuestamente a salvo de la corrosión son atribuibles a la presencia del ión cloruro en mayor concentración que la previsible.

Tabla 5-12 Concentración obtenida de cloruros

Origen	Muestra	Lectura			Clouros mg/l Cl
		1	2	3	
Gimnasio (Cisterna)	1	15	11	11	335
Biblioteca (Baños)	2	8	8	8	410
Derecho (Baños)	3	75	76	75	44
Tecnológico (Cisterna)	4	6	6	6	500
Sistema de riego	5	4	5	4	-

5.2 Grado de Corrosión Externa

Fue necesario consultar en el Centro Tecnológico Aragón los registros sobre la humedad relativa que prevalece en la ENEP Aragón para poder evaluar la corrosión en grietas.

Tabla 5-13 Humedad relativa

Humedad Relativa (%) 2003			
Mes	Hum Max	Hum Min	Promedio
Enero	79	12	45.5
Febrero	77	7	42.0
Marzo	77	4	40.5
Abril	79	11	45.0
Mayo	75	7	41
Junio	92	17	54.5
Julio	91	21	56
Agosto	91	21	56
Septiembre	92	29	60.5

Con la ayuda de la tabla 5-14, tomando la humedad máxima de la tabla anterior (tabla 5-13) se puede observar que se puede encontrar una apariencia en el metal desde filamentos muy delgados hasta filamentos muy anchos.

Tabla 5-14 Apariencia del metal causada por la humedad relativa

Humedad Relativa %	Apariencia
0 – 65	No hay corrosión
65 – 80	Filamentos muy delgados
80 – 90	Filamentos anchos de corrosión
93	Filamentos muy anchos
95	Muchas ampollas, dispersión filiforme
100	Ampollas

Se realizó la prueba del contenido de humedad del suelo para determinar si existe o no humedad. Como se puede ver en la siguiente tabla el suelo de la ENEP Aragón si cuenta con esta característica que es uno de tantos elementos que inciden en el proceso de la corrosión.

Tabla 5-15 Contenido de Humedad

Profundidad cm	Peso de la muestra Wm (gr)	Peso de los sólidos Ws (gr)	Ww Wm - Ws	W% 100x(Ww/Ws)
30.00	50.00	33.30	16.70	50.15
60.00	50.00	33.60	16.40	48.81
90.00	50.00	21.80	28.20	129.36
120.00	50.00	23.55	26.45	112.31
150.00	50.00	21.90	28.10	128.31

Se determinaron las características físicas de agua de lluvia. Después con ayuda del agitador y con una muestra de suelo donde se encuentra una de las compuertas que pertenecen a la red de agua potable se mezclaron y se volvió a determinar las características del agua. En la tabla 5-16 observa una conductividad eléctrica de 0.115 ms/cm y al mezclar esa agua de lluvia con la muestra de suelo se puede observar que esta creció considerablemente. Al igual que la conductividad eléctrica el porcentaje de salinidad se incrementó.

Tabla 5-16 Comparación con una muestra de agua de lluvia y una mezcla (agua de lluvia con muestra de suelo).

Elemento	pH	Conductividad Eléctrica ms/cm	Turbiedad UTM	Temperatura °C	Salinidad %
Muestra agua de lluvia	7.42	0.115	34	13.8	0.00
Agua de lluvia con muestra de suelo	10.31	4.380	759	27.0	0.22

No solo la lluvia influye en el proceso de la corrosión, también existe el problema de la contaminación atmosférica. Los principales contaminantes que influyen a este proceso se ilustra en la tabla 5-17

Tabla 5-17 Concentración de los principales contaminantes que ayudan al proceso de la corrosión

Contaminante	Concentración
Ozono (O3)	0.11 ppm / 1 h
Bióxido de Nitrógeno (NO2)	0.21 ppm / 1h
Bióxido de Azufre (SO2)	0.13 ppm / 8h
Monóxido de Carbono (CO)	11 ppm / 8h
Part. Susp. T. (PST)	260 ug / m ³ en 24 h
Part. Frac.Resp. (PM10)	150 ug / m ³ en 24 h
Plomo (Pb)	1.5 ug / m ³ en 3 meses

5.2.1 Revisión del sistema de distribución de agua en la ENEP - Aragón

Para verificar el estado de las tuberías del sistema de distribución de agua en la ENEP Aragón con respecto al grado y tipo de corrosión que presenta, se hicieron recorridos y se pudo constatar lo que a continuación se describe.

5.2.2 Sistema de distribución del Centro Tecnológico.

En un recorrido a través del Centro Tecnológico Aragón, se encontró que los accesorios presentan una corrosión por picaduras y por grietas. A simple vista se puede determinar que la corrosión no es lo suficientemente severa como para que pudiera existir alguna fuga de agua como se puede observar en la figura 5-1 y 5-2.



Figura 5 – 1 Vista aérea de la tubería de suministro que se encuentra en la parte trasera del Tecnológico

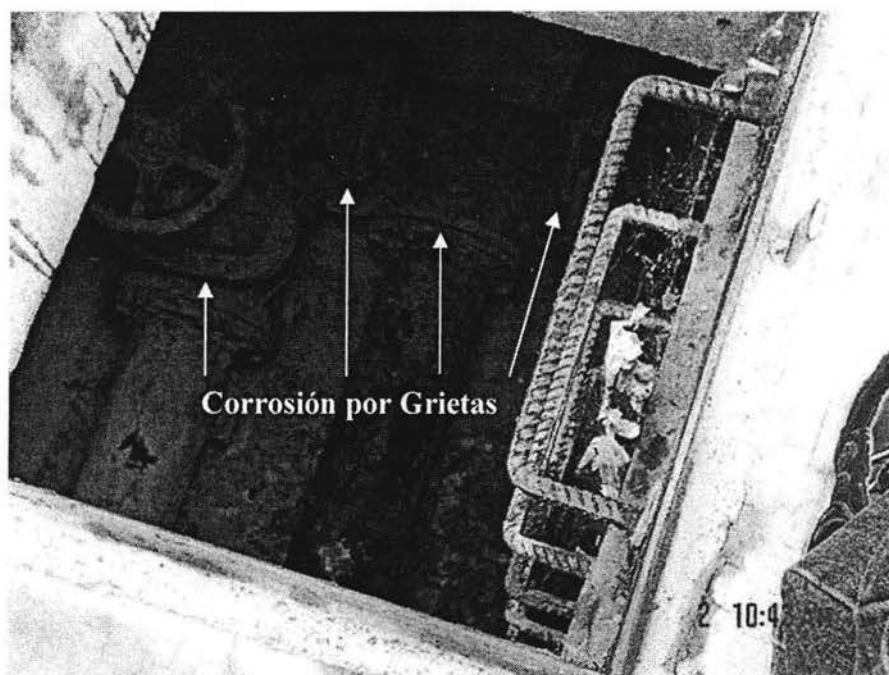


Figura 5 – 2 Vista aérea de la tubería de suministro que se encuentra en la parte trasera del Tecnológico

En la segunda compuerta que se encuentra dentro del Centro Tecnológico se puede notar que es el mismo tipo de corrosión que se ha estado observando: la corrosión por picaduras y además se presenta la corrosión del tipo uniforme. En caso de la corrosión uniforme, el metal ya está corroído en su totalidad pero todavía no es muy severa. En caso de la corrosión por picaduras se puede observar que apenas empieza y no representa peligro alguno de perforación por el momento.



Figura 5 – 3 Vista aérea de la compuerta que se encuentra en la parte trasera del Tecnológico

En la tubería, la corrosión por picadura ya está muy avanzada y existe el peligro de que la tubería se fractura y en consecuencia exista fuga de agua.

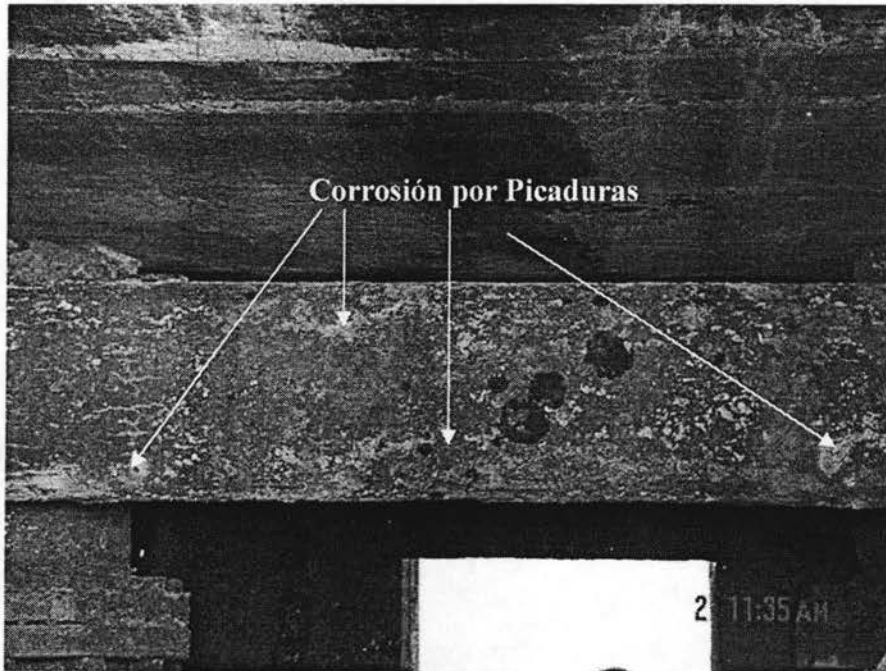


Figura 5 – 4 Vista aérea de la tubería que se encuentra en la parte trasera del Tecnológico



Figura 5 – 5 Vista aérea de del registro que se encuentra en la parte trasera del Tecnológico

En los lavabos del laboratorio de Estudios Ambientales se encontró una corrosión por picaduras. Como en el caso anterior, la corrosión no ha atacado demasiado como para poner en riesgo que el metal sea perforado, pero no hay que esperar demasiado en tomar las medidas pertinentes ya que el metal del lavadero es muy delgado y la corrosión lo puede atravesar.

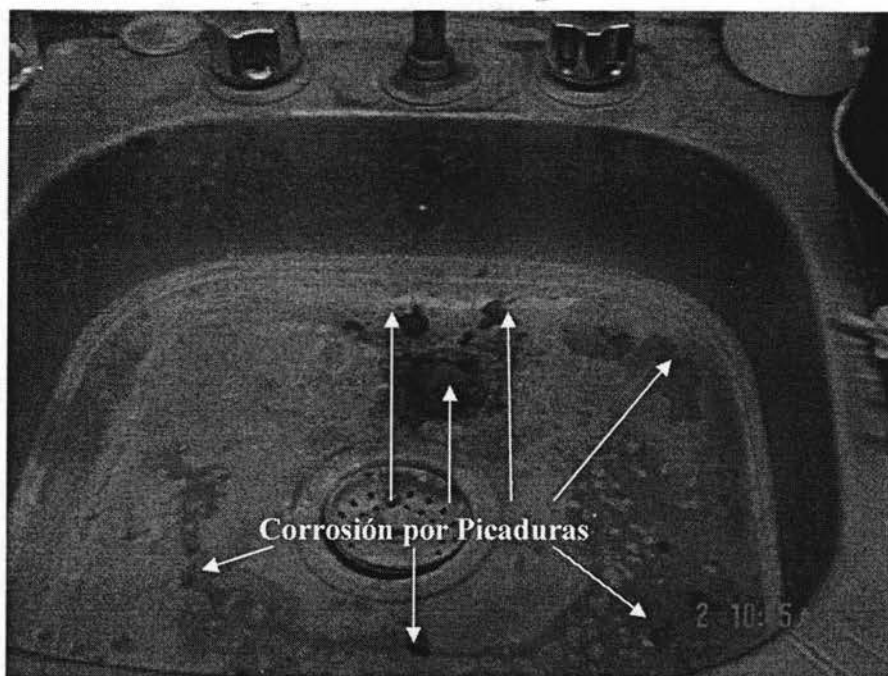


Figura 5 – 6 Vista aérea de unos de los lavabos que se encuentran dentro del laboratorio

5.2.3 Sistema de Distribución en el Edificio L-4

Continuando el recorrido por el plantel, se observó que en los accesorios que se encuentran a un lado del Laboratorio L – 4 sufre de una corrosión por picaduras y en menor grado presenta una corrosión uniforme. En la figuras que se presentan a continuación se puede observar que la corrosión todavía no ataca con severidad al metal, pero no se tiene que esperar a que la corrosión la perfora para que se pueda combatir dicho fenómeno.



Figura 5 – 7 Vista aérea del registro que se encuentra a un costado del laboratorio L-4

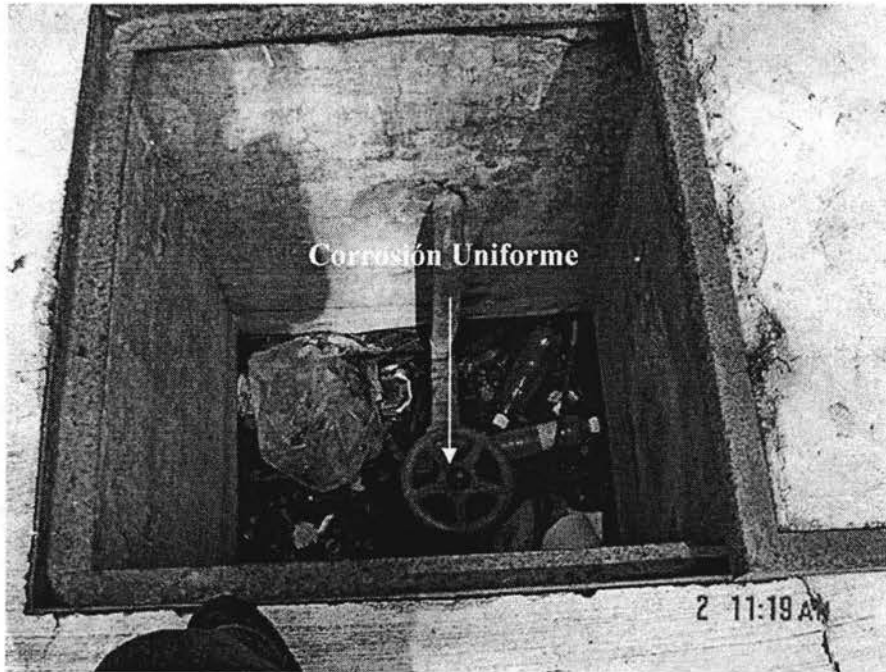


Figura 5 – 8 Vista aérea del registro que se encuentra a un costado del laboratorio L-4

5.2.4 Sistema de Distribución ubicado a un costado del Centro de Lenguas

Se encontró nuevamente que la corrosión uniforme y por picaduras atacan a los accesorios metálicos, como se ha observado en las figuras anteriormente. El grado de corrosión no es tan elevado en caso de la corrosión uniforme pero en caso de la corrosión por picaduras ya preocupante.

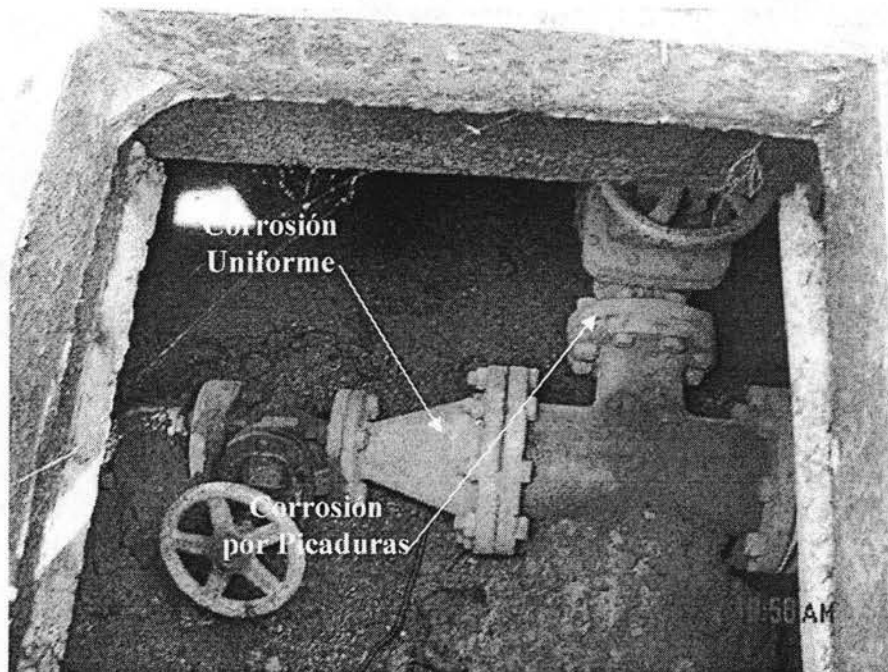


Figura 5 – 9 Vista aérea del registro que se encuentra en a un costado del centro de Lenguas

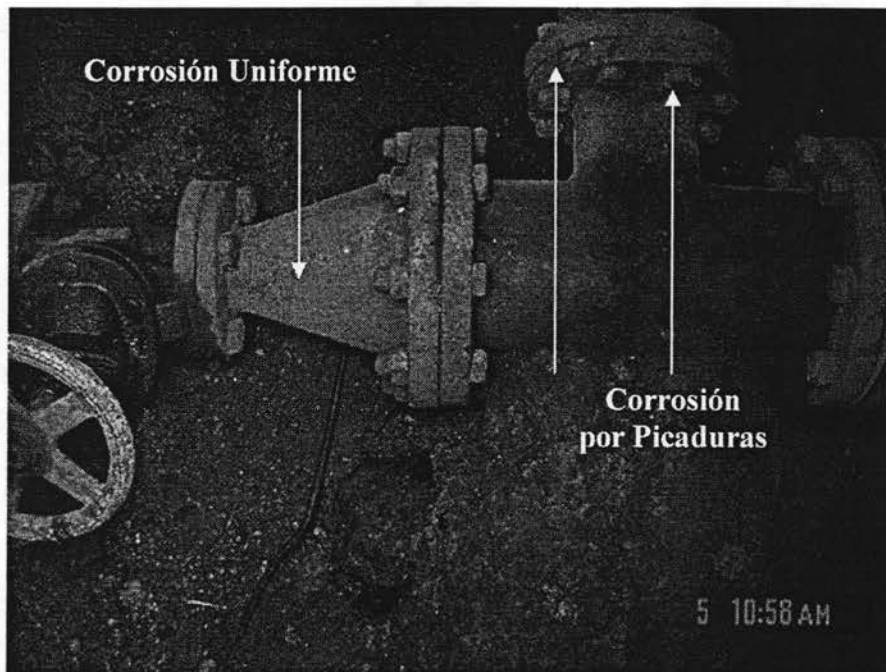


Figura 5 – 10 Vista aérea del registro que se encuentra en a un costado del centro de L enaguas



Figura 5 – 11 Vista aérea del registro que se encuentra en a un costado del centro de Lenguas

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

5.2.5 Sistema de Distribución que se encuentra en el estacionamiento de estudiantes.

En esta parte del recorrido se encontró que la tubería que se encuentra en este sitio esta verdaderamente corroída. Este registro se encuentra inundado al parecer por una o varias posibles fugas de agua que ya se originan gracias a una corrosión causada por picaduras.



Figura 5 – 12 Vista aérea del registro que se encuentra en el estacionamiento de estudiantes

5.2.6 Sistema de Distribución que se encuentra en la parte trasera del Gimnasio

En estos accesorios se observa que la corrosión uniforme es de un grado muy bajo.

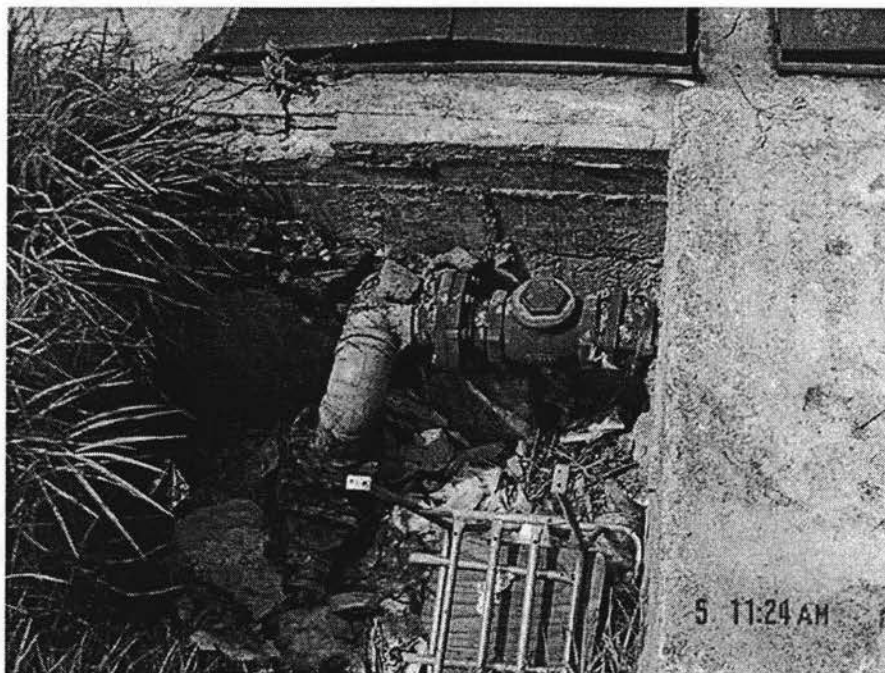


Figura 5 - 13 Vista aérea del sistema de distribución que se encuentra en la parte trasera del gimnasio



Figura 5 – 14 Vista aérea del sistema de distribución que se encuentra en la parte trasera del gimnasio

5.2.7 Sistema de Distribución a las afueras del Laboratorio L - 2

En la compuerta hay pequeños indicios de una corrosión por picaduras pero en el resto, la corrosión es inexistente como lo muestra la figura 5 -14.

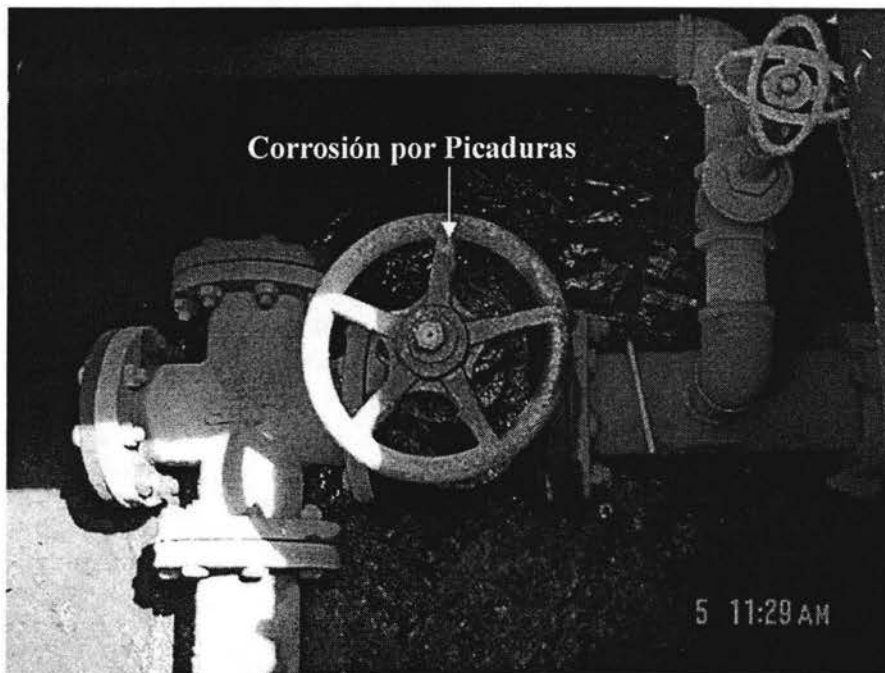


Figura 5 – 15 Vista aérea del sistema de distribución a las afueras del laboratorio L - 2

5.2.8 Sistema de Distribución que se encuentra en la parte trasera del laboratorio L – 3

En estos accesorios, el mantenimiento que lleva es realmente lamentable. La compuerta esta casi sumergida y llena de basura. La corrosión que se presenta es la del tipo uniforme en un grado demasiado alto.

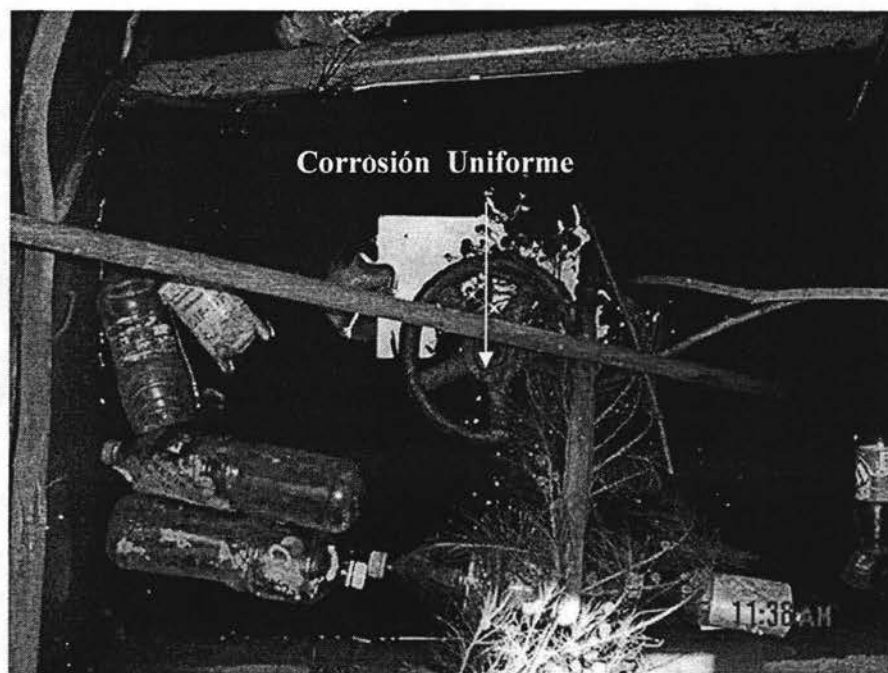


Figura 5 – 16 Vista aérea del sistema de distribución que se encuentra en la parte trasera del laboratorio L – 3

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la relación Dureza – pH se llega a la conclusión de que las paredes interiores del sistema de distribución de agua potable no serán atacadas por el fenómeno de la corrosión ya que el agua será capaz de depositar carbonato de calcio como recubrimiento de protección en el interior del tubo. En cambio, como se puede observar el tipo de corrosión externa que se presenta con mayor frecuencia en el sistema de distribución de agua potable de la ENEP Aragón fue la corrosión del tipo uniforme y la corrosión por picaduras. Esto es debido a que algunos registros no cuentan en ocasiones con la tapa y cuando se presenta la lluvia, la tubería se encuentra expuesta a esta y por consecuencia el metal se puede corroer. En otros casos los registros que cuentan con la tapa, esta la tienen levantada. Otra de las causas de la corrosión que debemos de tener en cuenta es la humedad relativa, aunque está no es tan severa con los elementos metálicos, el proceso de corrosión está presente. No hay que olvidar que los contaminantes presentes en la atmósfera como fueron indicados en la tabla No. 5-17 también influyen en el fenómeno corrosivo de los metales.

Dentro del plantel existen tuberías que están siendo severamente afectadas por el fenómeno de la corrosión y existe, la posibilidad de que estas puedan ser perforadas y en consecuencia se desperdicia el agua que pasa a través de la red. Esto debe de preocupar ya que son tiempos donde no se puede desperdiciar el vital líquido, ya que cada vez hay menos. Es importante mencionar que la mayor parte del agua que se distribuye en la Ciudad de México se pierde por las numerosas fugas que existen a través de la red de distribución y en el mismo plantel ocurra lo mismo.

Otra de las consecuencias de la corrosión consiste en que va a llegar el momento de que se tiene que remplazar el accesorio o la válvula, significando un costo extra a la Institución.

Recomendaciones para corregir y prevenir los problemas de la corrosión.

1.- Las tuberías expuestas al aire libre, son propensas al depósito o acumulación de agua, polvo, herrumbre, escapes de vapor, salitre, etc. La acumulación de estas sustancias en tuberías superficiales forma pequeñas pilas galvánicas que eventualmente corroen la superficie del metal. La aplicación de pintura y un programa de limpieza superficial y mantenimiento es suficiente para alargar la vida útil de la tubería. Sin embargo la aplicación del recubrimiento de pintura debe hacerse con especial cuidado, para que cumpla su misión de aislante de agentes externos. A continuación se describe el tratamiento que debe aplicar.

- Eliminar la grasa y depósitos de aceite, depositada en la superficie del metal, mediante el empleo de trapos limpios saturados con un adelgazador o gasolina blanca (libre de plomo).

- Para eliminar el barniz de fábrica, escamas de laminación, herrumbre, salpicaduras de soldadura y humo, tierra, etc. deberá frotarse la tubería con un cepillo de alambre hasta obtener una superficie completamente limpia, de color gris metálico brillante. En caso de existir depósitos fuertes de óxido y escorias de fundición, se removerán, con martillo y cincel y luego se utilizará cepillo de alambre.
- Antes de aplicar el fondo o pintura base, la superficie deberá limpiarse cuidadosamente con un paño humedecido en solvente para eliminar partículas de hierro y alambre producidas al utilizar la limpieza con cepillo metálico.
- Como primera capa de recubrimiento se debe aplicar dos manos de un imprimador de agarre. Como película intermedia se utiliza comúnmente rojo óxido de plomo, igualmente a dos capas. Por último, como capa de acabado utilice dos manos de un esmalte compatible con el sistema imprimante y película intermedia.
- En aquellos puntos donde la pintura tiende a deslizarse dejando puntos propicios para la corrosión, tales como: soldadura, ángulos, bordes y esquinas se efectuarán retoques de fondo a fin de aumentar el espesor de la película.

Es recomendable que, como sistema de recubrimiento, se apliquen las películas de imprimante, capa intermedia y capa de acabado de un mismo fabricante de pintura. Igualmente conviene cumplir con las recomendaciones del fabricante del recubrimiento en cuanto a la preparación de la superficie, implementos de pintura, mezcla del producto y técnica de aplicación.

El cumplimiento de este proceso y un programa de inspección y mantenimiento de la línea, nos garantizará la prolongación de la vida útil de la tubería.

2.- Las tuberías enterradas, a diferencia de las superficiales, se encuentran completamente sumergidas en un medio electrolítico. Cada suelo tiene características particulares de resistividad-conductividad específicas, y a lo largo de la longitud de la línea esta resistividad varía por efectos de cercanías a cuerpos de agua, instalaciones enterradas, bases de edificaciones, torres de alta tensión, otras tuberías, etc. Para garantizar la protección contra la corrosión de una tubería enterrada no es suficiente un recubrimiento de pintura. Es necesario la aplicación de revestimientos que aislen la tubería del medio en que se encuentra. Estos revestimientos pueden ser: polietileno o polipropileno, resina epóxica, brea epóxica, imprimante y cinta plástica adhesiva, etc. El polietileno, polipropileno y resina epóxica son de aplicación industrial y las tuberías deben enviarse a plantas de revestimiento especializadas en aplicar este tipo de protección a los tubos. La brea y la combinación de imprimantes y cintas pueden aplicarse en sitio.

Ningún revestimiento garantiza una protección del 100%. Impurezas en el material o proceso de aplicación de la capa protectora, golpes o ralladuras al momento del transporte o instalación pueden desmejorar el aislamiento. Es por esta razón que para garantizar la prolongación de la vida útil de una tubería revestida se acompaña de un sistema de protección catódica.

Programa de Mantenimiento

Para resolver el problema de la corrosión en la Institución se sugiere seguir los siguientes puntos:

- Verificar cada seis meses el estado de los accesorios.
- Todos los registros deberán contar con su tapa y permanecer cerradas.
- Se verificara que ningún registro se encuentre inundado, en caso contrario se tendrá que desalojar el agua y verificar si la inundación fue provocada por la lluvia o por un piquete en la superficie metálica.
- Si es requerido desalojar los lodos que se formen dentro de los registros para evitar malos olores.
- En caso de que se presente corrosión del tipo uniforme, se tendrá que frotar la tubería con un cepillo de alambre hasta obtener una superficie completamente limpia.
- Si se presentará una corrosión causada por picaduras, se tendrá que sellar dicha picadura por medio de soldadura.
- Ya combatida la corrosión, se tendrá que pintar toda la superficie metálica de los accesorios.

Siguiendo estas sencillas recomendaciones, los accesorios tendrán una vida útil más larga y se evitara el desperdicio del agua.

VII.- BIBLIOGRAFÍA

- (1) American Water Works Association. Control y Calidad y tratamiento del Agua. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid. 1975
- (2) Andrade Perdriz Carmén. Corrosión y Protección Metálicas Vol. II. Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid. Madrid. 1991
- (3) Ávila Mendoza Javier; et al. Más allá de la herrumbre I. Fondo de Cultura Económica S. A. De C. V. México. 1995
- (4) Bilubirna Luis. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. MARCOMBO S. A. España. 1990
- (5) CNA. Diseño, Selección e instalación de tuberías de acero. Instituto Mexicano del Petróleo. México. 1996
- (6) Departamento de Sanidad de Nueva York. Manual de Tratamiento de Aguas. Limusa. México. 1993
- (7) K. R. Trethewey. Corrosión. Logman Scientific and Technical. Honk Kong. 1990
- (8) Rodie B. Edward. Ingeniería Sanitaria. Compañía Editorial S.A. México. 1966
- (9) Stel E. EW. Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. Editorial Gustavo Gili S. A. España. 1981
- (10) Uhlig H. Herbert. Corrosión y Control de Corrosión. URMO, S. A. De Ediciones. España. 1975
- (11) Unda Opazco Francisco. Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. Limusa. México. 2002
- (12) Unidad de Investigaciones y Asistencia Técnica en Materiales. Corrosión (Primera Parte). Facultad De Ingeniería UNAM. México. 1995