



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES.

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA.

DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE CONCRETO REFORZADO, OBTENCIÓN DE SU METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN, Y ANTEPROYECTO DE LA NORMATIVA, CORRESPONDIENTE PARA LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES SCT.

PRESENTA:
ING. ESTEBAN BRITO CHÁVEZ.

ASESORES:
M. A. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA.
Investigador Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
DR. ANDRÉS TORRES ACOSTA.
Investigador Instituto Mexicano del Transporte.



Julio 2007.

AGRADECIMIENTOS.

El agradecimiento principal es para Dios, por ser la fuerza en que me apoyo cada mañana, para continuar viviendo y trabajando, este es otro escalón más en mi vida, gracias por permitirme tener la dicha de terminar este estudio en compañía de mi esposa María Eréndira y además con el regalo más grande que me pudiste haber dado, mi hija Venezia Monserrat, Gracias Dios.

Dios mío, ayúdame a decir la verdad en la cara de los fuertes, y a no mentir para congraciarme el aplauso de los débiles.

Si me das dinero, no tomes mi felicidad, y si me das fuerza, no quites mi raciocismo.

Si me das éxito, no me quites la humildad y si me das humildad, no quites mi dignidad.

Ayúdame a conocer la otra cara de la imagen, y no me dejes acusar a mis adversarios, tachándoles de traidores por que comparten mi criterio.

Enséñame a amar a los demás como a mí mismo, y a juzgarme como lo hago con los demás.

No me dejes embriagar con el éxito cuando lo logre, ni desesperarme si fracaso, más bien, hazme siempre recordar que el fracaso es la prueba que antecede al éxito.

Enséñame que la tolerancia es el más alto grado de la fuerza, y que el deseo de venganza, es la primera manifestación de la debilidad.

Si me despojas del dinero, déjame la esperanza, y si me despojas del éxito, déjame la fuerza de voluntad para poder vencer al fracaso.

Si me despojas del Don de la salud, déjame la gracia de la Fé.

Si hago daño a la gente, dame la fuerza de la disculpa.

Y si la gente me hace daño, dame la fuerza del perdón y la clemencia.

Y lo más importante... Señor, si te olvido yo, tú no te olvides de mí ni de mi familia..... Amén.

ACADÉMICOS.

Universidad Michoacána de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil y Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, por permitirme de nuevo estudiar bajo su techo y realizar otra meta más de mi vida; gracias, seré Nicolaita por siempre.

Dr. Andrés Torres Acosta por coordinar este proyecto, por permitir incorporarme dentro del mundo de la corrosión; por la información necesaria para su desarrollo, por los beneficios recibidos en las visitas a Querétaro y en el IMT; y por la amistad que logramos al crear este trabajo de tesis, muchas gracias.

M. A. Wilfrido Martínez Molina por ser mi asesor directo en este trabajo de tesis, por la información facilitada, por haber depositando su confianza en mí y apoyarme en todos los aspectos de mi maestría, sin tener conocimiento suficiente de mi persona. Estoy en deuda con usted, gracias.

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, por ser apoyo fundamental en la realización de este trabajo, le agradezco el volver a confiar en mí, muchas gracias por el apoyo hacia mi familia, y a mi trabajo, sin su apoyo sería difícil continuar avanzando. Muchas Gracias.

M. I. José Trinidad Pérez Quiroz. Por cederme su amistad y conocimiento, además de experiencia y paciencia para revisar parte de este trabajo de tesis, espero nuestra amistad continúe y mantenga la durabilidad a través del tiempo. Gracias Trini.

Ing. Mauricio Elizondo Ramírez, Coordinador de la Normativa para la Infraestructura del Transporte. IMT; Ing. Héctor Manuel Bonilla Cuevas, de la División de Desarrollo y Difusión de Normas, ambos de la SCT, por la atención personal, por el apoyo e información facilitada para la realización de las normas producto de este trabajo de tesis.

Ing. Sergio Espinosa Mares, Administrador del Programa SIPUMEX; por su amistad, colaboración y por permitir el uso de información para la realización de este trabajo de tesis, además del apoyo para mejorar la forma de mantener la infraestructura carretera del país.

Mis profesores de la Maestría, (sin nombres por obviar alguno); gracias por la educación recibida por la confianza en mi persona y por hacer de mi una persona más pensante conforme la situación actual de nuestro país, gracias, seguiré trabajando para mejorar mi México.

FAMILIA Y AMIGOS.

A las dos mujeres más importantes de mi vida, mi esposa María Eréndira y mi hija Venezia Monserrat, todo lo que hago es por ustedes, las quiero mucho, aunque el trabajo me absorba, no me olvido de ustedes, son las niñas de mis ojos. Sin ustedes mis esfuerzos serían en vano, gracias por aguantarme y apoyarme y por confiar en mi.

Mis padres: Ángel Brito y Antonia Chávez. Mis hermanos: Miguel Ángel y Dolores, este trabajo es parte de ustedes, porque ustedes son parte mía. Los quiero mucho y espero retribuir lo que han hecho por mi, gracias.

A toda mi familia, Abuelitos, Tíos, Tías, Primos, Sobrinos, Cuñados, Suegros, etc. pues su apoyo desde donde estén, fue importante para creer que la vida tiene siempre cosas mejores para nosotros, solo hay que buscarlas, mil gracias.

A mi excelente cuerpo de trabajo de ISDECON, principalmente a César Zacarías y Joaquín Galván, sin ustedes que son mi brazo derecho no hubiera podido realizar esta maestría, gracias y espero esto los motive a lograr sus metas, claro sin descuidar su chamba.

Ing. Anastacio Blanco Simiano por su apoyo incondicional como jefe de trabajo y ahora compadre, le agradezco no dejar de confiar en mi persona como profesionista y me haya permitido crecer en lo académico, seguro estará de que trabajaré por la mejora de nuestros alumnos.

A todos mis amigos (sin nombres por obviar alguno), de la Maestría, del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ing. Civil, de la Universidad Don Vasco, de la EPLER, ingenieros, tesisistas y alumnos, amigos de mi trabajo profesional, clientes y amigos que mantuvieron su confianza en mi y en la calidad de mi trabajo, gracias por su amistad.

**DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE CONCRETO
REFORZADO, OBTENCIÓN DE SU METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN, Y
ANTEPROYECTO DE LA NORMATIVA CORRESPONDIENTE PARA LA
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES SCT.**

A continuación se enlista el índice de los temas que este trabajo de tesis desarrollará:

ÍNDICE TEMÁTICO.

ABSTRACT - RESUMEN.

1. OBJETIVO Y ALCANCES DEL PROYECTO.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

**3. DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE CONCRETO
REFORZADO.**

4. METODOLOGÍA DE EVALUACION DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE,

**5. PROPUESTA DE ANTEPROYECTO DE NORMAS Y MANUALES DE PRUEBA
PARA EL USO DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y
TRANSPORTES.**

6. CONCLUSIONES.

7. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

8. ANEXOS.

DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE CONCRETO REFORZADO. ANTEPROYECTO DE NORMAS Y MANUALES PARA EL USO DEL PERSONAL DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES SCT.

Esteban Brito Chávez, esbrito73@hotmail.com; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Andrés Antonio Torres Acosta. Instituto Mexicano del Transporte, atorres@imt.mx; Wilfrido Martínez Molina, wmartinez@zeus.umich.mx; Elia Alonso Guzmán, ealonso@zeus.umich.mx; Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

PALABRAS CLAVE: *Durabilidad, Concreto Reforzado, Carbonatación, Corrosión, Inspección, Evaluación, Normativa, Metodología.*

RESUMEN.

El presente trabajo ofrece un anteproyecto de normatividad, basado en una metodología general que permita realizar una correcta inspección de las estructuras existentes de concreto reforzado, que forman parte de la Infraestructura del Transporte de México en cualesquiera de sus modos. Esto con el fin de obtener la Evaluación de la Durabilidad de dicha estructura y/o elementos que la componen, creando un plan de trabajo oportuno dentro del límite de serviciabilidad para realizar las reparaciones por mantenimiento y rehabilitación adecuadas, optimizando los recursos económicos del país destinados a la conservación de las estructuras de concreto reforzado; y en casos extremos ó de vida residual, definir la necesidad de la reconstrucción de la estructura; disminuyendo al máximo los riesgos e incertidumbres del colapso de dicha estructura, lo cual afecta social y económicamente a los usuarios de toda la infraestructura del transporte. El anteproyecto de normativa propuesto, fue realizado con el apoyo técnico del personal del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

ABSTRACT.

The present work offers a first draft of norms, based on a general methodology that allows to make a correct inspection of the existing structures of concrete reinforced, which they comprise of the Railway and Highway Network of Mexico in nobodies of his ways. This with the purpose of obtaining the Evaluation of the Durability of this structure and/or elements that compose it, creating a plan of opportune work within the usefulness limit to make the repairs by adapted maintenance and rehabilitation, optimizing the economic resources of the country destined to the conservation of the structures of concrete reinforced; and in extreme cases or of residual life, to define the necessity of the reconstruction of the structure; diminishing to the maximum the risks and uncertainties of the collapse of this structure, which economically affects social and the users of all the railway and highway network. The proposed first draft of norms, was made with the technical support of the personnel of the Mexican Institute of Transport (IMT) and the Secretariat of Communications and Transport (SCT).

1. OBJETIVO Y ALCANCES DEL PROYECTO.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los problemas de daños en las estructuras existentes de concreto reforzado, provocados por efectos de corrosión y el impacto que el medio ambiente ejerce sobre dicha infraestructura de concreto son cada día más visibles y provocan un estado de alerta en relación a la determinación exacta de la Durabilidad de dicha infraestructura, es conocido y bien sabido del extenuante trabajo que investigadores nacionales e internacionales han realizado para definir las teorías y los procesos que provocan la carbonatación y corrosión de las estructuras de concreto reforzado; pero a pesar de conocer estos factores, su forma de ataque, recomendar medidas de mitigación y reparación de las estructuras, no se tiene una METODOLOGÍA que nos permita realizar la EVALUACIÓN de dichas estructuras de manera eficiente y con un criterio general definido.

La metodología existente, por llamarla de esta manera, se basa en los conocimientos y experiencias obtenidas por los investigadores en cada uno de sus trabajos específicos. Estas experiencias nos conducen a obtener resultados diversos en base a las diferentes condiciones climatológicas y ambientales de cada situación en particular, siendo obvio el no poder aplicar un procedimiento de reparación “x” para una estructura ubicada en un sitio “y” diferente, con diversas condiciones de medio ambiente.

1.2 OBJETIVO.

El objetivo central y aportación de este proyecto de investigación, es la de facilitar la inspección de estructuras existentes de concreto reforzado, por medio del diseño de una serie de normas y formatos de prueba que especifiquen los pasos a seguir según la metodología adecuada que permita realizar una evaluación basada en el criterio de la durabilidad de dicha estructura, con la finalidad de que de una manera clara, precisa y concreta, el personal de la SCT, o cualquier empresa de proyectos, realice un diagnóstico acorde al problema de la estructura, el cual servirá para la correcta formulación de los conceptos que intervengan en los trabajos de conservación o rehabilitación de la estructura, optimizando los recursos que nuestro país invierte en la infraestructura del transporte; no importando la zona del territorio nacional donde se encuentre; esto es, considerando las diferentes regiones climatológicas, ambientales y de trabajo a que están sometidas estas estructuras.

El objetivo secundario de este proyecto es que en base a la normatividad diseñada, la inversión federal a la infraestructura del transporte principalmente carretera (*puentes*) sea efectiva y que los egresos generados en Estudios y Proyectos para conservación rutinaria o periódica resulten en mejoras que aumenten la vida útil de la estructuras, y no como en muchos casos hemos visto que son solamente remedios pasajeros que permiten seguir a la estructura dando el servicio pero no resuelven el problema d fondo, y consecuentemente después de pocos años, es necesaria la aplicación de una rehabilitación mayor o reconstrucción que vuelve a costar dinero y demostrar que sin una normatividad, las inversiones resultan ser inadecuadas.

Es por esto que la normativa, permitirá que todos los proyectistas realicen las pruebas mínimas necesarias para realizar una evaluación adecuada, y posteriormente diseñar el proyecto de rehabilitación necesario para ampliar ó conservar la vida útil de toda la infraestructura del transporte de nuestro país.

1.3 ALCANCES.

Basados en los objetivos antes presentados, los alcances que este proyecto de investigación pretende son los siguientes:

- Generar dos normas de procedimientos de inspección que permitan a cualquier proyectista recabar conforme a un formato, las características mínimas necesarias de la estructura, por medio de un criterio general basado en las condiciones ambientales y de trabajo de la estructura a evaluar.
- Generar ocho procedimientos de pruebas no destructivas con respecto al análisis físico – químico del concreto, con el cual se construyeron las estructuras de concreto reforzado; para la determinación de las variables necesarias en la evaluación de la resistencia mecánica y daño por carbonatación del concreto utilizado.
- Generar tres procedimientos de pruebas no destructivas con respecto al acero de refuerzo de las estructuras de concreto reforzado, para obtener las variables necesarias en la evaluación del ataque por corrosión al acero de refuerzo.
- Poner a disposición de la Coordinación de Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, por medio de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo “UMSNH” y del Instituto Mexicano del Transporte “IMT”, las normas y manuales aquí realizados para su revisión, aprobación, edición y publicación posterior; cumpliendo con los objetivos propuestos, en un lapso no mayor a dos años más.
- Posteriormente, proporcionar a la Dirección General de Conservación de Carreteras “DGCC” y a la Dirección General de Servicios Técnicos “DGST”, la normativa ya aprobada, mediante la aplicación de una nueva capacitación para la aplicación de la correcta evaluación de las estructuras de concreto reforzado de toda la infraestructura del país, utilizando las nuevas tecnologías de diagnóstico de estructuras, así como, en caso de encontrar efectos que afecten la durabilidad, como la carbonatación y la corrosión, seguir los lineamientos para su prevención, control y corrección.
- Como punto final, ampliar y reforzar los trabajos que la red DURAR a nivel Iberoamericano ya ha emitido o recomendado conforme los procedimientos para la inspección, diagnóstico y evaluación de las estructuras de concreto reforzado, pero a la fecha en nuestro país, no existe una normatividad federal que administre todo el proceso de evaluación con fines de durabilidad, es por esto que este trabajo de investigación será el inicio de este largo y arduo camino que brindara seguridad a todos los usuarios de la Infraestructura del Transporte del país.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Dentro de los cuatro modos o sistemas de transporte de nuestro país, los sistemas carretero y portuario cuentan con un sistema de administración de conservación y mantenimiento de su infraestructura existente de concreto reforzado, que permite conocer de manera genérica el estado actual de conservación que guarda cada obra, el cual puede así programar reparaciones dependiendo del nivel de daño cuantificado y calificado que presente la estructura en cuestión; pero desafortunadamente, dentro de estos sistemas de administración y conservación no existe un rubro que permitiese establecer con resultados de laboratorio, la degradación por corrosión que se está desarrollando en aquellas estructuras, sean puentes, pasos a desnivel, muelles o estructuras de concreto en general. [1]

Aunado a esto, muchos ingenieros encargados de la vigilancia del buen funcionamiento de nuestra infraestructura de concreto desconocen en este momento la existencia de alguna normativa que por medio de una metodología clara, permita realizar la evaluación de la infraestructura con fines de obtener la durabilidad de las mismas; es decir, no se tiene una metodología para evaluar el grado de degradación por carbonatación ó corrosión y consecuentemente poder obtener un parámetro sobre la el límite de servicio, la vida residual y por consiguiente la vida útil de la estructura.

Esto nos lleva en la mayoría de los casos a licitar estudios y proyectos con un carácter estructural, mientras que el problema real ó de fondo puede ser por efectos corrosivos provocados por el impacto ambiental que se tiene en la zona; ya sea ataque de cloruros y sales en zonas costeras ó agentes químicos como dióxido de carbono, cloruros y sulfatos en zonas industriales; aplicando finalmente reparaciones inadecuadas a las estructuras existentes de concreto reforzado, que no permiten reestablecer la vida útil de la estructura.

El costo económico que produce la corrosión es entre el 2 y el 5% del PNB de cada país. Entre un 15 y un 25% de este costo se pudo haber evitado si se hubiese aplicado la tecnología existente para contrarrestarla. En nuestro país existe información de que más del 90% de las industrias presentan algún daño por corrosión, un ejemplo de esto es el caso Yucatán, donde en ese año los costos por corrosión rebasaban el 8% del PIB estatal. [2]

Con base en datos experimentales del IMT, se propone una relación entre el daño por corrosión y la pérdida de la carga de preesfuerzo en estructuras de concreto. Matemáticamente, se relaciona el cambio de la frecuencia del primer modo natural con la reducción de la fuerza de preesfuerzo y, como resultado, con el efecto de la corrosión. En general, se encuentra que la reducción de precarga en un cable, debida a la corrosión, esta se comporta como un proceso de agrietamiento y presenta razones de cambio del preesfuerzo, pequeñas al principio que se vuelven muy grandes al final del proceso corrosivo. [3]

Los resultados muestran que los cables de preesfuerzo tienden a perder sus propiedades mecánicas dependiendo del tipo de medio químico que los rodea y del nivel mismo de carga al que fueron sometidos. El modelo de la mecánica de la fractura para el agrietamiento fue asistido por corrosión y esfuerzos, muestra una tendencia similar si se supone que el cambio en la fuerza de tensión es inversamente proporcional al tamaño de las grietas. La reducción en esta fuerza sigue un patrón típico de formación de microgrietas que actúan como concentradores de esfuerzos y que se propagan, produciendo finalmente una falla.

Ahora bien, respecto a los Cambios en Rigidez y Resistencia a la Flexión en Vigas de Concreto Dañadas por Corrosión del Refuerzo, se concluye que la resistencia característica en compresión del concreto contaminado con cloruros disminuyó en un 10% aproximadamente con relación al mismo concreto preparado sin esta contaminación; aunque esta variación es despreciable de acuerdo a la normatividad del ACI. Las grietas debidas a corrosión fueron observadas en la cara inferior de las vigas y eran paralelas al acero de refuerzo. Estas grietas debidas a corrosión se ensancharon y alargaron conforme la corrosión avanzaba. Los fenómenos de carga y descarga produjeron grietas perpendiculares al acero de refuerzo; el método usado para el proceso de carga y descarga detecto la pérdida de rigidez de los elementos estudiados, observándose que la rigidez disminuyó al aumentar la pérdida de radio por corrosión. [3]

Los costos de mantenimiento de estructuras ya dañadas son sumamente significativos, sólo en los EE.UU. se ha evaluado que el 50% de los 575,000 puentes tienen alguna afectación por corrosión y que de ese porcentaje el 40% ya se reportan con deficiencias estructurales. Los costos de reparación ascienden a más de USD \$50 billones. Historias similares se han reportado en Brasil, Canadá, Reino Unido, de tal manera que México no debe ser la excepción, máxime cuando en la región del Golfo de México existen zonas como Tampico y Coatzacoalcos consideradas como unas de las más agresivas del mundo en términos de corrosión ambiental. [4]

En un estudio reciente en los EE.UU. se demostró que éste país eroga un gasto del orden de 2 a 6 mil millones de dólares en reparación de su sistema carretero federal debido únicamente a la degradación por corrosión de la infraestructura de concreto-metal y metálica. En México se desconoce hasta la fecha la existencia de esta información, por lo que es de suma importancia determinar que tan degradada se encuentra la infraestructura marina puentes y muelles para así programar recursos para la protección o reparación de dichas estructuras antes de que pueda suceder una catástrofe de gran magnitud. [5] Una aproximación realizada hasta el año 2001 por la Coordinación de Equipamiento del IMT estima que el 10% de los puentes en las Redes carreteras en México presentan algún daño por corrosión. [11]

Respecto al punto de las inversiones de nuestro país, podemos ver en la siguiente tabla, las variaciones tan grandes que existen entre la cantidad de dinero que se invierte en conservación periódica de carreteras vs la conservación rutinaria de puentes desde el año 2005; las diferencias son enormes, es decir parece que los puentes no son tan importantes como las carreteras, lo cual es totalmente equivocado. [6]

Tabla 1. Resumen de Inversión del Programa Nacional de Conservación de Carreteras de México.

Año.	Conservación Periódica de Carreteras.	Conservación Rutinaria de Puentes.	Porcentaje. % Puentes/Carreteras
2005	\$ 3,090,663,742.00	\$ 93,412,984.00	3.022
2006	\$ 1,725,304,601.99	\$ 104,336,021.00	6.047
Jun 2007	\$ 3,935,174,200.00	\$ 95,481,000.00	2.426

En general podemos apreciar que realmente las inversiones de nuestro país en cuidar la infraestructura de los puentes carreteros, es demasiado pequeña, de esta cantidad no se tienen datos sobre el porcentaje destinado a los estudios sobre carbonatación del concreto y corrosión del acero de refuerzo, que son los que nos interesan pues estas patologías son las que provocan los daños más severos en los puentes de México.

También hemos podido constatar que muchas empresas ganan licitaciones de contratos extensos de estudios y proyectos de puentes, pero con importes muy bajos; es decir, no existe una normativa que le diga al proyectista que lineamientos para inspección y que pruebas no destructivas debe aplicar para realizar la evaluación de la estructura; por esto, es claro que no se tiene una igualdad de criterios para evaluar y posteriormente dar soluciones que permitan la correcta inversión de las reparaciones de los puentes y estructuras existentes de concreto reforzado del país. Presentamos a continuación algunos datos obtenidos de la Subdirección de Infraestructura, Dirección General de Conservación de Carreteras, referente a la relación de contratos del primer semestre del año 2005.

5-7-CB-A-040-Y-0-5 CYMAP, S.A. DE C.V

Revisión de: Estudio y proyecto de reconstrucción de subestructura, protección contra socavación y construcción de andador del puente "Tembembe II", km. 18+900 del tramo Alpuyeca – Lím. Mor./Gro.; proyecto de reforzamiento de superestructura del puente "La Cuera", Km. 83+300; estudio y proyecto de reforzamiento de superestructura del puente "Amayuca", km. 92+800; estudios y proyecto para el Puente nuevo "Paso Inferior Amayuca", km. 93+000; del tramo Cuautla – Lím. Mor./Pue., en el estado de Morelos; estudio y proyecto de protección contra socavación del puente "Río Zapotitlán", km. 31+900, del tramo Tehuacán – Lím. Pue/Oax., en el estado de Puebla; estudio y proyecto de sustitución de superestructura del puente "Necaxa", km. 0+300 del tramo Ramal Nuevo Necaxa; proyecto de reforzamiento de la superestructura, cambio de las juntas de dilatación y protección contra socavación de los puentes "Carranza" km. 133+150 y "El Huanal", km. 116+500, del tramo Nautla – Cardel, en el estado de Veracruz.

Período: 23 de Junio del 2005 al 18 de Noviembre del 2005

Monto del Contrato: \$ 509,688.56.

Número de Puentes: 8,0. Costo por Puente incluye IVA: \$ 63,711.07.

5-7-CB-A-041-Y-0-5 ESPECIALISTAS EN PUENTES Y CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

Revisión de: Est. y proyec. de recimentación, encauzamiento del río, cambio de apoyos y juntas de dilatación, del Pte. "El Zapote II", km. 46+290, tramo Acapulco-Zihuatanejo; proyec. de reforz. de la superestruc. cambio de las juntas de dilatación, de apoyos y protec. de taponos de anclaje del Pte. "Cutzamala", Km 210+329, tramo Lím.Mex/Gro-Cd. Altamirano, Edo. de Gro.; est y proyec. de reparación de superestruc. del Pte. "El Zapote", km. 92+000, tramo Guadalajara-Lím.Jal/Nay; est. y proyec. de Pte. Nvo. (cambio de trazo), del Pte. "Las Animas Tonila", km 37+000, del tramo Lím. Col/Jal-Cd. Guzmán; est. y proyec. De repar. de superestruc. y subestruc. del Pte. "Trapiche", km 215+300, tramo Lím.Mich/Jal-Zapotlanejo, est. y proyec. De reforz. de superestruc. del Pte. "Chapingo", km. 151+000, del tramo Lím.Mich./Jal-Zapotlanejo, en Edo. de Jal.; proyec. De repar. de la superestruc., rehabilit. de la superf. de rodamiento, y protec. de la subestruc. y terraplenes de acceso de los Ptes. "Lázaro Cárdenas Der" y "Lázaro Cárdenas Izq", km. 0+900 del tramo Lázaro Cárdenas-Pto Industrial Lázaro Cárdenas, Edo. Michoacán.

Período: 23 de Junio del 2005 al 18 de Noviembre del 2005.

Monto de Contrato: \$ 569,957.25

Número de Puentes: 8,0. Costo por Puente incluye IVA: \$ 71,244.65

5-7-CB-A-038-Y-0-5 SIGMA INGENIERÍA CIVIL, S.A. DE C.V.

Revisión de: est. y proye. de reforzamiento de superestruc. Del Pte. "San Francisco", km. 123+040 del tramo Lím. Jal./Ags-Aguascalientes; est. y proyec. de rehabilitación de superestruc. del Pte. "Pirules Izq. y Der.", km. 2+754, del tramo Aguascalientes – lím. Ags./Zac., en el Edo. de Ags.; estudio y proyecto de Pte. peatonal "El Mimbres", km. 150+400 del tramo Saltillo – Torreón, en el estado de Coahuila; proyecto de reforzamiento de subestructura, cambio de apoyos y sustitución de juntas de dilatación de los Ptes. "Los Cabezones Der." y "Los Cabezones Izq." Km.

180+900 del tramo Linares–Allende; proyecto de sustitución de superestructura del Pte. “Villa Las Flores Der.” Km. 264+500 del tramo Allende – Monterrey; proyecto de reforzamiento y reparación de la superestructura y subestructura del Pte. “Santa Rosa FFCC”, km. 18+200 del tramo Monterrey – Sabinas Hidalgo, en el estado de Nuevo León y proyecto de reforzamiento y ampliación transversal de la superestructura, cambio de apoyos y cambio de juntas de dilatación del Pte. “Guadalupe”, km. 152+100 tramo Tlaltenago de Sánchez Román–Colotlán , Edo. de Zac.

Período: 21 de Junio del 2005 al 18 de Noviembre del 2005.

Monto del Contrato: \$ 449,651.60

Número de Puentes: 9,0.

Costo por Puente incluye IVA: \$ 49,961.29

Obteniendo un promedio de las cantidades cobradas por cada puentes a estudiar, tenemos un promedio de \$ 61,639.00 pesos por cada puente, incluyendo el IVA; esta cantidad es bien sabido no es suficiente para realizar todas las pruebas que realmente necesitan los puentes, sin contar que de este dinero tienen que salir los gastos administrativos de campo y oficina, de personal técnico, equipo de investigación, prueba de laboratorio, planos de reparaciones, documentos para concursos, y varios más; además de suponer una ganancia de la empresa. Por todo lo anterior, es claro ver que la cantidad de dinero que se cobra no es suficiente para efectuar proyectos de reforzamiento, rehabilitación y reconstrucción 100% efectivos, que no desperdicien el dinero en malas conservaciones de los puentes; ya que no existe una normativa que permita la correcta evaluación de las estructuras existentes de concreto reforzado.

El punto más importante dentro del planteamiento del problema de la no existencia de una normativa regida por una metodología de evaluación par la obtención de la durabilidad de las estructuras existentes de concreto reforzado del país, es la de las reparaciones inadecuadas, que pueden provocar una aceleración en la corrosión de la acero de refuerzo. Reparaciones efectuadas a un muelle en Venezuela, donde se descarga sal, la evaluación se efectuó mediante inspección visual y un análisis detallado en algunos elementos típicos, a los cuales se les realizaron pruebas específicas según los daños que se presentaban, la estructura presentaba delaminación del concreto en vigas, con una corrosión severa en la acero de refuerzo, agrietamiento en sus losas, filtraciones de agua, lixiviación de compuestos alcalinos, fisuras, áreas reparadas con concreto fofo, etc. En general se encontró que en todas las reparaciones en este caso la última con una diferencia de tiempo de 6 años, ya presentaba corrosión de moderada a severa, debido a la penetración de ión cloruro desde el medio exterior. Particularmente las medidas efectuadas permitieron detectar en la losa de plataforma, una reparación que dividió a ésta en dos, siendo causa de problemas de corrosión y estructurales del acero en su área de influencia. Se recomendaron nuevas técnicas de reparación/rehabilitación provocando demoliciones costosas encareciendo el costo de conservación de la estructura. [7]

Es por esto, y por muchas más experiencias y estudios realizados en varios sitios, que se vuelve sumamente necesario diseñar e implementar una **NORMATIVA DE EVALUACIÓN PARA DETERMINAR LA DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES DE CONCRETO REFORZADO DE NUESTRO PAÍS**; ofreciendo un diagnóstico más real de la situación que éstas guarden, permitiendo pronosticar el tiempo en que se llegará a la vida residual de la estructura, y aplicando de manera adecuada las alternativas de reparación para lograr una rehabilitación oportuna y exitosa que recupere el límite de serviciabilidad de toda la infraestructura existente de concreto necesaria para el desarrollo de nuestro país; finalmente concluimos:

LA CARBONATACIÓN Y LA CORROSIÓN SON UNA ENFERMEDAD, SI NO SE EVALUAN OPORTUNAMENTE, NO SE PUEDE SOLUCIONAR EL PROBLEMA CORRECTAMENTE, SIENDO LA RAZÓN PRINCIPAL POR LA CUAL MUCHAS REPARACIONES RESULTAN INADECUADAS, MALGASTANDO LA INVERSION EN LA INFRAESTRUCTURA DEL PAÍS.

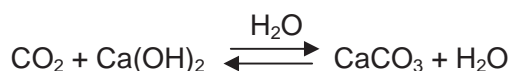
3. DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES CONCRETO REFORZADO.

En los últimos veinte años el término “Durabilidad” se ha estado escuchando con más frecuencia en la rama de la Ingeniería Civil. Países industrializados como los EE.UU., España, Francia, Reino Unido y Japón, han tomado la durabilidad como un tema de gran importancia, invirtiendo en esta área sumas millonarias en estudios de investigación.

En Latinoamérica un esfuerzo similar se realizó en el año 1997 al presentarse el reporte de la Red Temática Iberoamericana DURAR, en el cual se desarrollaron algunos conceptos básicos sobre vida útil, evaluación, mantenimiento, reparación y/o rehabilitación de obras de concreto reforzado, dañadas principalmente por corrosión del acero de refuerzo. Haremos referencia hacia algunos conceptos básicos de durabilidad necesarios para lograr el objetivo común de este trabajo de investigación.

Carbonatación. [10]

El pH del concreto puede cambiar por el ingreso de diversas sustancias desde el medio ambiente. Estas sustancias son principalmente el Dióxido de Carbono “CO₂” que se encuentra de manera natural en el aire y el Trióxido de Azufre “SO₃” que se produce de la combustión de combustibles fósiles. De estos, el CO₂ en el aire es de mayor importancia, de ahí el nombre de carbonatación. Inicialmente el CO₂ no es capaz de penetrar profundamente dentro del concreto, debido a que reacciona con la cal libre del concreto superficial de acuerdo con la siguiente reacción. Fig. 3.1.



dando como resultado un cambio en el pH: pH = 12.5 a 13.5 → pH ≈ 9

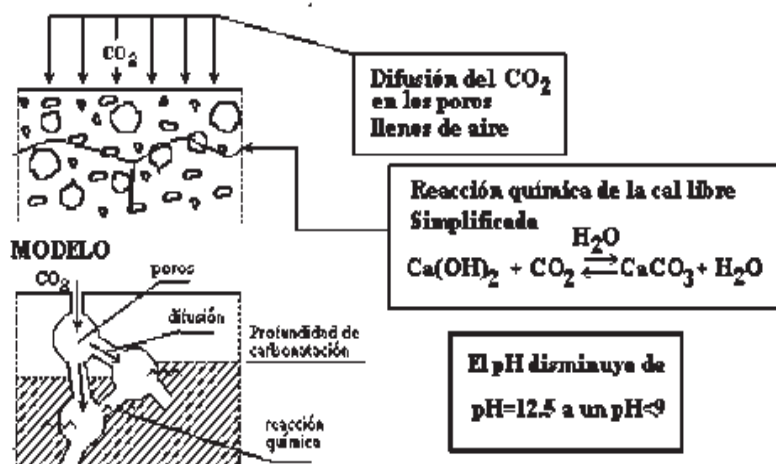


Figura No. 3.1 Proceso de Carbonatación.

Aunque la porción de mezcla externa del concreto se carbonata rápidamente, el CO₂ continúa su ingreso a mayor profundidad y cuando el pH alrededor del acero de refuerzo es cercano a 9, la capa de óxido protector pierde su estabilidad termodinámica según el diagrama de Pourbaix mostrado en la Figura 3.2; dando paso a la corrosión del acero. A la profundidad que el CO₂ ha penetrado y por lo tanto que ha modificado el pH, generalmente se le llama “frente de carbonatación”.

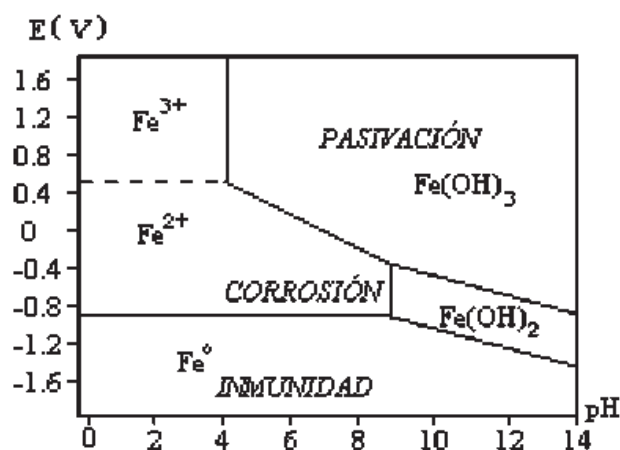


Figura 3.2 Diagrama de Pourbaix para el Hierro.

En la práctica es útil conocer a qué velocidad progresa el "frente de carbonatación" para estimar si ha alcanzado la interfase acero-concreto y poder aproximar el estado superficial que guarda el acero de refuerzo. La penetración del CO_2 está determinada por la forma de la estructura de los poros y por el volumen de ellos que está ocupando por la disolución poro del concreto, ya que la velocidad de difusión del CO_2 en agua es 10^4 veces más lenta que la velocidad de difusión del CO_2 en el aire.

Si el poro está seco, como se muestra en la Figura 3.3, el CO_2 se difunde fácilmente, pero la carbonatación no puede ocurrir debido a la falta de agua. Este caso sólo se presenta en concreto que está sobresecado, como ocurre en climas muy secos. Si los poros están llenos de agua como vemos en la Figura 3.4, hay apenas alguna carbonatación debido a la poca difusión del CO_2 en agua, que es el caso de estructuras sumergidas. Si los poros están parcialmente llenos de agua como vemos en la Figura 3.5, la carbonatación puede proceder hasta un espesor donde los poros del concreto están secos. Los parámetros que determinan la velocidad de carbonatación, son: la composición y cantidad del cemento, la compactación, condiciones de curado y condiciones ambientales de exposición del concreto.

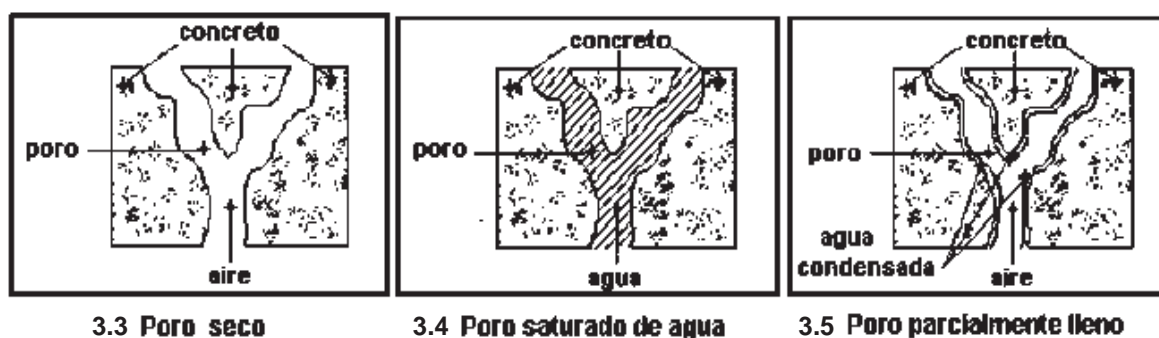


Figura No. 3.3, 3.4 y 3.5 Situaciones de los Poros dentro del Concreto.

La carbonatación se presenta comúnmente en medios rurales y con mayor incidencia en zonas urbanas, en las que se alcanzan grandes concentraciones de óxidos sulfurosos (SO_x) y nitrosos (NO_x), que son combinados con el agua de la humedad ambiental formando los respectivos ácidos sulfurosos y nitrosos. En zonas de alta contaminación ambiental y altas precipitaciones pluviales, el pH llega a tomar valores cercanos a 4, lo que se conoce como lluvia ácida, que afecta las estructuras de concreto de la misma forma que la carbonatación.



Foto 1. Pieza de concreto carbonatado.



Foto 2. Foto de puente dañado por corrosión.

Corrosión. [4]

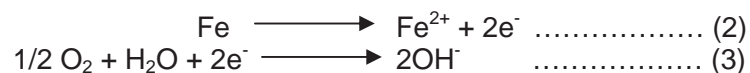
Todos los metales procesados tienen la tendencia a regresar a su estado natural o a su estado mineral original. El hierro no escapa de este designio de la naturaleza ya que en presencia de oxígeno, el acero tiende con el tiempo a oxidarse en compuestos similares a sus minerales. Infelizmente, los óxidos ferrosos son frágiles y con nula resistencia mecánica, muy poca adherencia y, por tal, deben ser considerados como negativos. Si la capa de óxido del acero se desprende de la superficie del metal, nuevos átomos de oxígeno reaccionarán con el hierro presente y lo volverán a oxidar, perdiéndose entonces espesor o sección efectiva de metal. Sin embargo, los aceros (aleaciones Fe – C), al oxidarse generan una capa de óxido que se desprende parcialmente y que puede proteger y mantener pasiva la acción degradante del oxígeno, ya que impide la formación de nuevos óxidos o de la penetración de la capa oxidada a través de la sección del componente metálico. Esta capa puede proteger de forma permanente al metal, si la misma no se desprende o si ésta no reacciona con otros compuestos. De esta manera, mientras el concreto no permita el acceso de humedad con contaminantes a través de la porosidad o los agrietamientos, el acero embebido en él no sufrirá daño alguno ya que la acción corrosiva se mantendrá pasiva. Desafortunadamente, si el concreto cuenta con porosidad y con microgrietas, la permeación de humedad hacia su interior es inevitable y la probabilidad de dañar al acero de refuerzo se maximiza. En ese momento el concreto deja de proteger a la capa pasiva de óxido del acero y se inicia el proceso corrosivo del metal y la degradación del concreto.

Este proceso se describe adecuadamente con la reacción (1), la cual muestra la acción conjunta de humedad y oxígeno sobre el hierro para producir hidróxido de hierro.



Este hidróxido, producto de la reacción, se convierte más tarde en una mezcla de óxidos hidratados comúnmente conocida como herrumbre. Aunque la reacción (1) es usualmente una representación completa del proceso de corrosión, no es particularmente informativa acerca del mecanismo por el cual tiene lugar la reacción.

Es de ayuda considerar las reacciones (2) y (3) por separado.



La reacción (2) representa la oxidación del hierro desde un elemento sin carga a un ión cargado positivamente junto con la liberación de electrones. La reacción (3) describe la reducción de las especies no metálicas y que corresponde a un proceso que consume electrones.

En terminología electroquímica, las reacciones de oxidación (liberación de electrones) son procesos anódicos, ellas se llevan a cabo en sitios sobre el metal llamados ánodos. Las reacciones de reducción (o consumidoras de electrones) se llaman procesos catódicos y tienen lugar en los cátodos. Cada electrón que libera el metal, como resultado de una reacción anódica, se consume en una reacción catódica manteniendo la neutralidad eléctrica. Se puede notar que si las reacciones (2) y (3) se suman, los electrones de cada lado se cancelan y el resultado es la reacción (1). La figura 3.6 es una representación esquemática de estos procesos. Cabe destacar que el circuito eléctrico se completa por el paso de iones a través del electrolito.

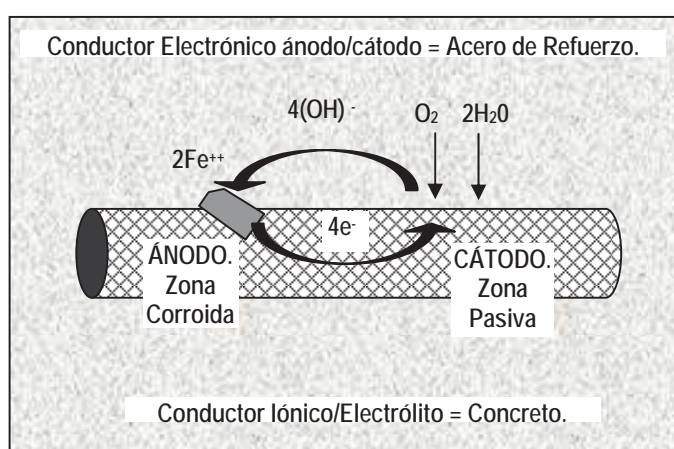


Figura 3.6. Modelo simplificado de la corrosión del acero embebido en concreto.

Para iniciar el proceso de corrosión, son necesarios cambios (reacciones) capaces de modificar el medio que rodea al acero de refuerzo y descomponer la capa superficial de protección (comúnmente llamada de pasivación). Después de estudios realizados en las construcciones, los dos procesos más comunes encontrados antes de que se origine la corrosión del acero de refuerzo, son la carbonatación del concreto y la penetración de iones cloruro.

Los constituyentes del concreto reforzado (varilla, cemento Portland, arena, grava y agua) le confieren propiedades excelentes a éste tales como: resistencia a la compresión y a la tensión. La elevada alcalinidad de concreto (pH entre 12.5 y 13.5) y resistividad eléctrica (en concreto sano de 100 KΩ-cm o mayor) proporcionan condiciones ideales para la pasivación (protección) del acero. La corrosión del acero de refuerzo en concreto no se presenta, a menos que un agente externo al medio (Cl⁻, SO₄⁻, CO₂, SO₂) modifique el estado pasivo normal del medio alcalino. [11]

El ion cloruro causa el rompimiento de la condición pasiva normal del acero en concreto y da como resultado el desarrollo de la corrosión. El umbral de cloruros que pueden iniciar la corrosión se ha estimado ser de una concentración de 710 ppm (para un pH=12.5). Por arriba de esta concentración la película protectora fallará irremediablemente. El ataque de los iones cloruros al acero embebido en concreto se describe como un proceso electroquímico donde el agua está presente, fungiendo como electrolito y proporcionando oxígeno que se reducirá en el cátodo. Los iones cloruro atacan al acero formando FeCl₂ (cloruro ferroso) y en una reacción secundaria se forma Fe(OH)₂ (hidróxido ferroso), dejando al ion Cl⁻ libre, que atacará nuevamente al acero. [11]

Funcionalidad y Durabilidad. [8]

La funcionalidad es una cantidad cuantificable que está en función de la capacidad de carga de la estructura. La funcionalidad (o capacidad de carga) se cuantificará basándose en el tiempo que se pretende dure la estructura. Cuando el concepto tiempo entra en juego en la evaluación de la funcionalidad de una estructura, varios factores externos (o factores de degradación) resultan en un primer plano. Como la funcionalidad está íntimamente relacionada con la durabilidad de una estructura, la durabilidad se puede definir como la habilidad de mantener la funcionalidad requerida.

Degradación. [8]

El concepto de degradación es, por definición, el decremento gradual de la funcionalidad de la estructura con el tiempo. Se puede cuantificar a la degradación como el inverso de la funcionalidad.

Vida Útil. [9]

El reporte de la Red Temática DURAR propone una definición clara para el concepto de vida útil de una estructura: "Período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento." Es decir, si la estructura careciera de cualquiera de estas tres propiedades (seguridad, funcionalidad y estética), ésta ya sobrepasó el periodo de su vida útil. En el diseño de estructuras por durabilidad el requerimiento de la vida útil de la estructura puede ser definido de antemano por el cliente, por lo que se le llamará vida útil de servicio, TVU.

Como ejemplo, se presenta la Foto 3, tomada de la subestructura de un puente en el estado de Tamaulipas, el cual presenta fisuras o grietas en la superficie del concreto en una zapata. Estas grietas aparentemente fueron producidas por que las barras de acero de refuerzo ya se encontraban corroyéndose. El sensor mostrado en la misma foto, pertenece al equipo utilizado para determinar si el acero de refuerzo se encontraba en proceso de corrosión. Siguiendo la definición "al pie de la letra" de vida útil, la zapata puede conservar su seguridad y funcionalidad, pero ya no es estética por la apariencia de dichas grietas. Por lo tanto, ese elemento en particular podría haber sobrepasado su vida útil y necesitaría ser reparado.



Foto 3. Zapata de puente en el estado de Tamaulipas.

Vida Residual. [8]

"Se entiende por vida residual el tiempo a partir del momento en que la estructura alcanza el anterior límite aceptable (fin de la vida útil). Este es el período en el que la estructura necesitaría reparación, remodelación ó completa renovación para que regrese a su estado de servicio original; esto es, que sea segura, funcional y estética. En pocas palabras, la etapa de vida residual es el tiempo que tiene el dueño de la estructura, ó elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta el límite de un posible colapso.

Un ejemplo de este estado límite se presenta en la Foto 4, la cual fue tomada de la losa de otro puente en el estado de Michoacán (20 Km al Sur de la Cd. de Morelia). La losa mostrada presenta desprendimiento notorio del recubrimiento, producido por la corrosión severa del acero de refuerzo. Por definición esta losa se encuentra más allá de su vida útil, ya que la degradación que presenta esta más allá de una simple grieta ó mancha de óxido. Esta degradación inclusive puede ser suficiente para producir una falla local en ese puente. En este caso, la reparación es urgente pues es inminente que se produzca un colapso (o falla) de la losa.



Foto 4. Puente en el estado de Michoacán.

Estado Límite de Servicio (ELS) y Estado Límite Último (ELU). [8]

Los valores mínimos de servicio (o valores máximos aceptables de degradación) son llamados los estados límites de la durabilidad de una estructura, estos son principalmente dos:

1. Estado Límite de Servicio (ELS). Correspondería al punto en el tiempo el cual la estructura ha llegado a su vida útil, o sea, "estado en el cual los requerimientos de servicio de una estructura ó elemento estructural (seguridad, funcionalidad y estética) ya no se cumplen.
2. Estado Límite Último (ELU). Corresponde al estado en que la estructura o elemento estructural se encuentra asociado con un colapso u otra forma similar de falla estructural. Otra definición es, tiempo en el cual la estructura llega a un estado de degradación inaceptable antes de que sufra un colapso inminente: $ELU < TCOLAPSO$.

Probabilidad de Falla. [8]

La probabilidad de falla se podría definir como la probabilidad de exceder cierto estado límite, ya sea ELS ó ELU. Por otro lado, el término "falla por durabilidad" es usado cuando existe una falla por degradación del material en una estructura o elemento estructural, en comparación de una "falla mecánica", la cual es causada por cargas mecánicas externas. Es importante notar que la falla por durabilidad puede generar una falla mecánica. La Figura 3.7 presenta el modelo de degradación mencionado, incluyendo los diferentes conceptos ya definidos.

La vida útil de una estructura se definió por DURAR como "El período de tiempo durante el cual la estructura conserva todas las características de funcionalidad, seguridad, resistencia y aspecto externo, con un nivel de seguridad suficiente". Hasta ahora, se han propuesto varios modelos que contemplan el concepto de durabilidad y que analizan la degradación por corrosión del acero de refuerzo (ó presfuerzo) en función del tiempo, uno de los más importantes es el modelo de Tutti, mencionado a continuación.

El modelo de Tuutti (1982). [1]

En el cual se basan la mayoría de los modelos ya existentes, señala que la vida útil de un puente (TVU) se puede representar de la siguiente forma: $TVU = T1 + T2$. En este modelo, se denomina T1 al período de iniciación del fenómeno, y se define como el lapso de tiempo que tarda el ión cloruro en atravesar el recubrimiento, alcanzar al acero de refuerzo y provocar su despasivación. Se denomina T2 al período de propagación, que se refiere al periodo entre la pérdida de protección pasiva y la manifestación externa de los daños por corrosión (manchas de óxido, agrietamientos, o desprendimientos de la cobertura del concreto).

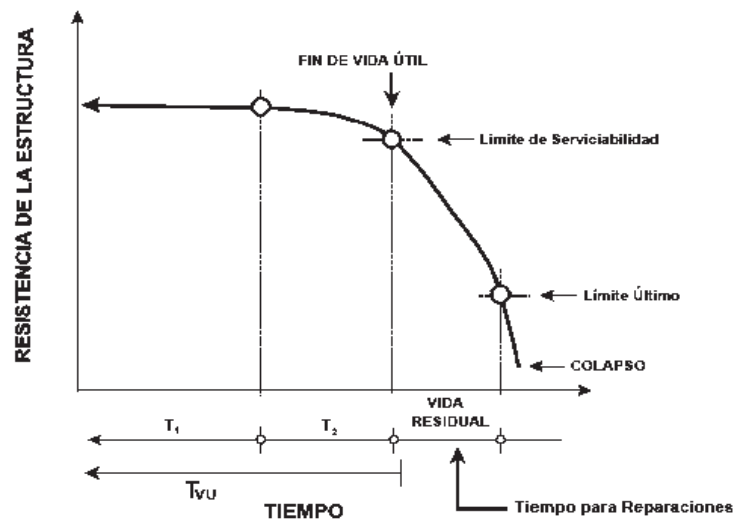


Figura 3.7. Modelo Tuutti. Propuesto para determinar la durabilidad por corrosión en ambiente marino

La etapa T2, finalizará con la formación de pequeñas grietas (con anchos menores de 0.1 mm) ó manchas de óxido. Si en la estructura se observan otros tipos de degradaciones como grietas más anchas de 0.1 mm, delaminaciones, desconchaduras, acero de refuerzo expuesto con corrosión visible, etc., dicha estructura se encontrará más allá de su vida útil, o sea, en el periodo de su vida residual.

El periodo de la vida residual finaliza hasta un límite inaceptable de durabilidad el cual se podría expresar en función de la capacidad de carga del elemento estructural. La Figura 3.7 presenta, de manera gráfica, las etapas T1 y T2, así como el periodo de la vida residual en relación a la pérdida de la capacidad de carga o resistencia del elemento estructural.

Otros modelos como el de Bažant (1979a, 1979b) ó el de Browne (1980), similares a los de Tuutti, especifican que T2 finaliza al encontrarse daños visibles en la estructura o elemento estructural. En cambio, el modelo de Beeby (1983) especifica que T2 finaliza hasta que un nivel inaceptable de la corrosión se ha alcanzado. Esto quiere decir que el elemento puede estar más allá de su periodo de vida útil y encontrarse en la etapa de su vida residual.

Con todo lo comentado anteriormente es claro ver la urgencia de tener una normativa que reglamente los procedimientos de inspección para posteriormente poder evaluar y definir la situación de los tiempos T1 y T2 de cualquier estructura existente de concreto reforzado, obteniendo en base a las pruebas realizadas, el diseño y proyecto de reparación adecuado para regresar a la estructura antes del límite de serviciabilidad T2, ó si es posible, dentro del tiempo T1, regresando el acero de refuerzo a su estado de pasivación; o en un caso crítico, informar sobre la urgencia de una reconstrucción de la estructura afectada por la corrosión, estando siempre del lado de la seguridad que se brinda al usuario.

Es claro saber que la inversión realizada en las reparaciones deberán de ser mucho menores a una reconstrucción, siempre y cuando esta reparación sea basada en un estudio completo de Durabilidad, lo cual nos permitirá enfocar la reparación y así mismo optimizar el recurso económico del país, permitiendo que el porcentaje mostrado en la Tabla 1, permita desarrollar más y mejores proyectos de durabilidad en estructuras existentes de concreto reforzado.

4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

Recordemos de manera inicial que la referencia principal de este trabajo de tesis, son todas las estructuras existentes de concreto reforzado que fueron construidas para crear la infraestructura del transporte del país, pero dada la gran importancia de los puentes dentro del conjunto de estas estructuras existentes de concreto reforzado, este capítulo hará referencia de carácter principal a este tipo de estructuras de concreto reforzado, y todos sus elementos, zapatas, muros cabecales, columnas, pilas, pilotes, trabes, etc.

Para la correcta aplicación de este proyecto, se propone que la SCT se administre cumpliendo con la metodología enmarcada en las siguientes etapas fundamentales:

1. Hacer uso de la información existente de la base de datos que posee la DGCC, por medio del Sistema Integral de Puentes Mexicanos "SIPUMEX", además de la información disponible en el Sistema de Información Geoestadística del Transporte "SIGET" creado por el IMT. Obteniendo un antecedente de la situación más actual de la estructura a estudiar, para posteriormente definir que tipo de inspección a realizar.
2. Aplicar en base a la normativa propuesta en este trabajo de tesis, el procedimiento de Inspección adecuado sobre las estructuras existentes de concreto reforzado a cargo de la DGCC, el cual será realizado por el personal de la DGST en conjunción con los residentes de conservación de la SCT, y/o empresas particulares dedicadas a los estudios y proyectos de conservación y rehabilitación de los puentes del país.
3. Posterior a la inspección preliminar y de ser necesario se deberán de realizar en base a la normativa propuesta en este trabajo de tesis, las pruebas no destructivas de laboratorio necesarias para determinar la condición actual de las estructuras de concreto, en coordinación con los equipos de la SCT, del IMT ó de empresas particulares.
4. Reunir todos los resultados de la inspección y de la aplicación de pruebas no destructivas de laboratorio, para efectuar la evaluación general de la estructura, concluyendo con la determinación de las variables que nos permitirán definir la Durabilidad de la estructura existente de concreto reforzado.
5. Diseñar el programa de conservación, rehabilitación ó reconstrucción de la estructura existente de concreto reforzado según sea necesario; tratando de rescatar, conservar ó ampliar el tiempo de vida útil de la misma, optimizando los recursos técnicos y económicos, y así aumentar el nivel de servicio de la estructura, logrando con esto evitar reparaciones inadecuadas o ineficientes, por no tener una evaluación de durabilidad, adecuada y sólo apearse a la cuestión estructural como en muchos casos suele pasar.
6. Posterior a la aplicación del programa de conservación, rehabilitación ó reconstrucción de la estructura existente de concreto reforzado, se propone diseñar y aplicar un programa de monitoreo para la evaluación a futuro de la estructura, y así tener una retroalimentación conforme al buen funcionamiento de la metodología aquí propuesta.

En las páginas siguientes explicaremos de una manera más clara, apoyados en los datos que se tienen, los puntos anteriores.

4.1 INFORMACIÓN EXISTENTE. “SIPUMEX – SIGET”. [1]

Con referencia a este punto, se tiene ya una evaluación de la estructura existente, y la generación de una base de datos en el año 1993, la DGCC y la DGST de la SCT implementó un sistema de administración de puentes denominado SIPUMEX. Esta base de datos contempla la ubicación de todos los puentes del país, usando coordenadas geográficas; además incluye los datos más importantes de tipo estructural como son: características geométricas, tipo de material es usados, tipo de estructura, fecha de construcción, fecha de operación, últimas reparaciones, etc. Un ejemplo de este programa de administración de datos es la Tabla 2 siguiente, la cual enlista a los puentes que el sistema posee, divididos por estado o entidad federativa.

Tabla 2. Resumen de puentes por estado, en México. (SIPUMEX) [1]

Estado	Número Puentes	Longitud (Km)	Estado	Número Puentes	Longitud (Km)
Aguascalientes	70	2.5	Nayarit	124	4.8
Baja California	122	4.8	Nuevo León	241	8.4
Baja Calif. Sur	96	2.9	Oaxaca	382	17.2
Campeche	74	2.0	Puebla	140	4.0
Coahuila	305	9.0	Querétaro	63	2.2
Colima	58	3.1	Quintana Roo	19	0.8
Chiapas	266	11.3	San Luis Potosí	251	8.6
Chihuahua	352	9.9	Sinaloa	230	10.4
Durango	237	7.0	Sonora	457	9.0
Guanajuato	162	3.9	Tabasco	84	5.6
Guerrero	390	18.5	Tamaulipas	349	10.9
Hidalgo	197	7.0	Tlaxcala	152	3.9
Jalisco	298	11.1	Veracruz	415	18.7
México	208	8.2	Yucatán	23	1.1
Michoacán	463	15.8	Zacatecas	195	4.8
Morelos	77	1.9			

El SIPUMEX, cuenta con información de las reparaciones realizadas a las estructuras, además define con una calificación el estado actual del puente desde el punto de vista estructural, más no desde el punto de vista de durabilidad. Esta calificación, que va desde 0 a 5, informa si el puente está en excelentes condiciones (calificación 0) ó si ha rebasado su límite último y está a punto de colapsar si no se realiza una reparación mayor (calificación 5). Las definiciones de cada calificación de 0 a 5 del SIPUMEX es la siguiente:

Calificación	0.	Estructuras recientemente construidas o reparadas, sin problemas.
Calificación	1.	Puentes en buen estado. No requieren atención.
Calificación	2.	Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido.
Calificación	3.	Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años.
Calificación	4.	Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años.
Calificación	5.	Daño extremo o riesgo de falla total. Se requiere reparación inmediata o al año siguiente.

La calificación que el inventario de SIPUMEX adjudica a los puentes no refleja el posible daño que por corrosión puedan tener, por lo que a partir del año 2000 la SCT, en coordinación con el IMT, implementa un proyecto denominado “Plan Nacional de Evaluación de la Degradación por Corrosión en Puentes”, el cual permitirá conocer el estado que guardan los puentes de la Red Federal de Carreteras Libres (RFCL) en México, ahora si conforme a los factores que afectan su Durabilidad, carbonatación del concreto y corrosión del acero de refuerzo.

Para el proyecto antes mencionado, se realizó el análisis de los datos del SIPUMEX proporcionados por la SCT, con el personal del IMT mediante el uso de una herramienta de cómputo única en el mundo, generada en el mismo instituto, denominada “Sistema de Información Geoestadística del Transporte” (SIGET).

Este análisis espacial fue utilizado para la agrupación y representación cartográfica de los puentes que puedan estar propensos a la corrosión, en función de su posición geográfica y de las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos. Incrementado la base de datos de los puentes existentes tanto de concreto reforzado como de estructura de acero, permitiendo programar los trabajos de inspección en todos los puentes del país.

La Figura 4.1 muestra el análisis espacial y la ubicación geográfica de los puentes que presentan algún tipo de daño visual. Las prioridades para evaluación de los puentes según el SIGET, han sido definidas en función de la calificación del SIPUMEX, y son las siguientes:

Calificación SIGET.	Calificación SIPUMEX.
ALTA	4 y 5
MEDIA	2 y 3
BAJA	0 y 1

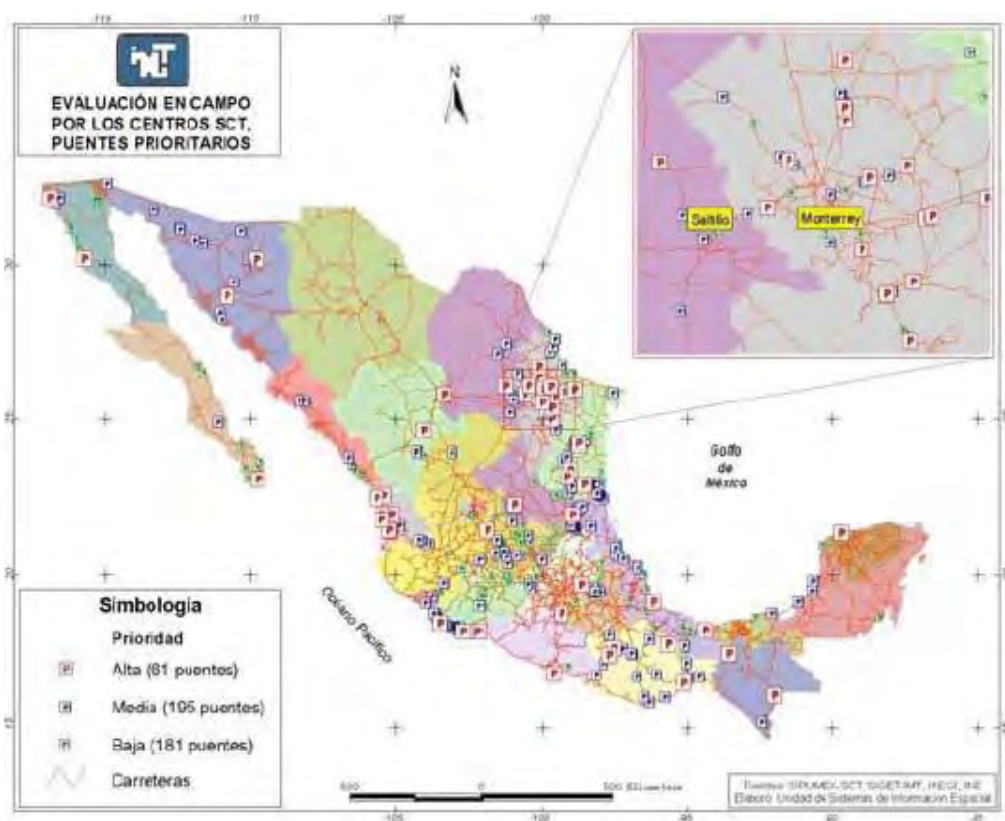


Figura 4.1. Mapa de Calificación del Plan Nacional de Evaluación de Puentes Dañados por Corrosión de la SCT (2002). [1]

La Figura 4.2 muestra un histograma del porcentaje de los puentes divididos por entidad federativa y además por su ubicación geográfica con respecto a zona costera y zona del interior del país.

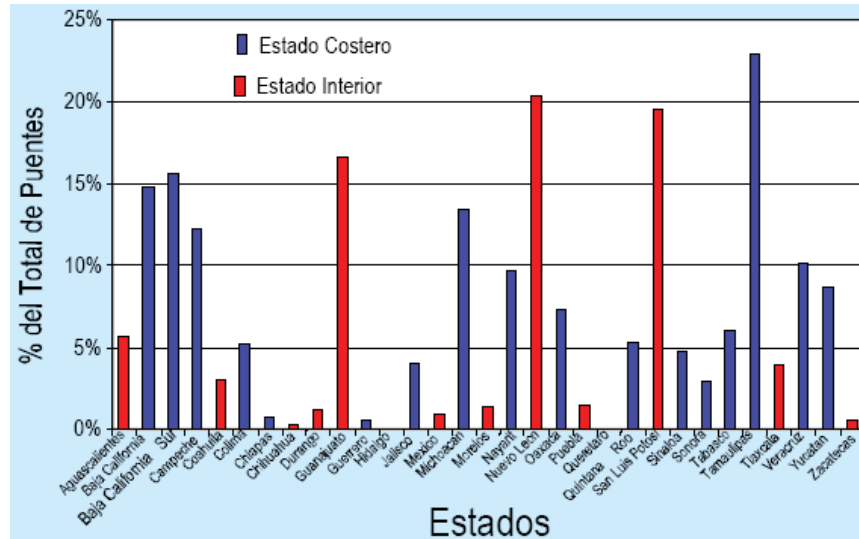


Figura 4.2. Puentes en México con daños visuales por corrosión Centros SCT. [1]

Con la información existente del SIPUMEX y del SIGET, además de otros parámetros como el tránsito promedio anual de vehículos, se obtiene un listado de los puentes que potencialmente muestran daños por corrosión, representados mediante mapas cartográficos y en formato tabular; realizamos una valoración de la información de la estructura por evaluar y con la información resultante, se sientan las bases para poder decidir que tipo de inspección que requiere la estructura de concreto que presente daño por corrosión.

Este listado da origen al programa de estudios y proyectos de puentes del año en que se realiza la jerarquización y al programa de obras de reconstrucción de puentes del año siguiente.

La manera gráfica de trabajar del SIPUMEX es la mostrada en la Figura 4.3 de la derecha.

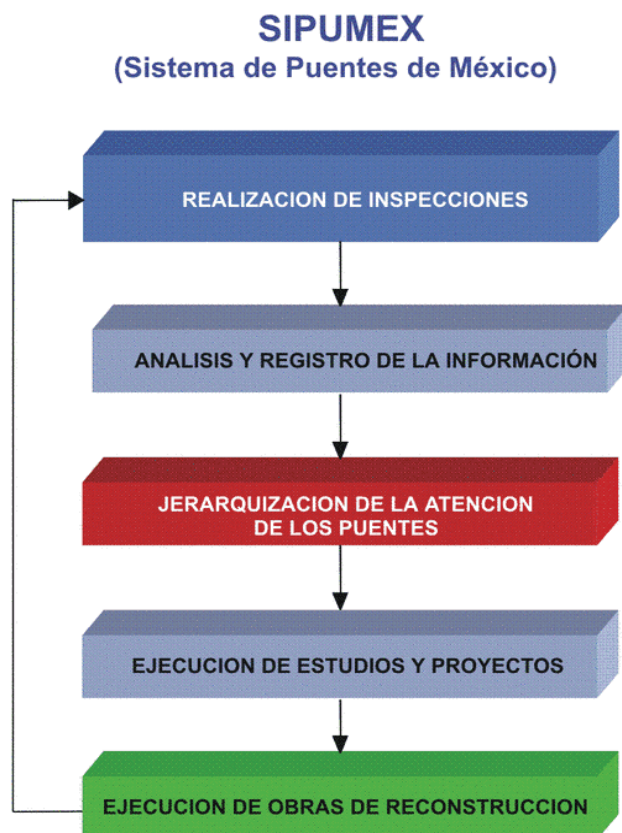


Figura 4.3. Diagrama de flujo del SIPUMEX.

En esta etapa podemos conocer de manera puntual si es que la estructura por evaluar esta registrada en el SIPUMEX, los siguientes datos:

- Nombre y ubicación geográfica del puente.
- Geometría del puente.
- Datos de la Superestructura principal y secundaria.
- Datos de la Subestructura.
- Detalles generales (parapetos, superficie de rodamiento, apoyos, juntas, carga de diseño, obstáculo que cruza, etc.)
- Datos del propietario y del responsable de la inspección.
- Resumen cronológico de inspecciones y de la última inspección principal.
- Anexo de fotografías y detalles de los problemas a la fecha de la última inspección principal.

Como muestra de lo que ofrece hasta ahora el programa SIPUMEX, en el Anexo 2, presentamos el reporte del puente Bejucalillos, ubicado en la carretera Zitácuaro – Cd. Altamirano km 75+400; en el estado de Michoacán.

Toda la información recopilada será muy importante en el concepto de facilitar al supervisor el conocimiento a través del tiempo, durante el cual ha estado sujeto a las inspecciones del SIPUMEX, de todos los pormenores, fallas y reparaciones que la estructura ha tenido, valorando de manera principal si estas han sido con un carácter netamente estructural o si ya se ha tenido una valoración de la condición de durabilidad de la estructura, que es el enfoque principal de este trabajo de tesis.

Los datos que el SIPUMEX no permite conocer son:

- Características mecánicas de los materiales, resistencia a la compresión del concreto, a la flexión en el acero, datos de preesfuerzo o postensado del acero, entre otros.
- Cambios en el esviamiento del flujo o problemas por la contaminación del flujo que pasa por ellos, situación de ataques de contaminación industrial.
- Existencia de carbonatación en el concreto.
- Existencia de corrosión en el acero de refuerzo de la estructura.
- Detalles de las reparaciones aplicadas en años anteriores.

Finalmente podemos ver que una investigación y estudio de la información existente, nos permite crear una idea de los posibles daños actuales del puente y así mismo dirigir la nueva inspección en base a la normativa marcada ya sea de tipo preliminar o detallada, lo que sería lo mismo crear un prediagnóstico de los posibles daños que se puedan encontrar en la estructura de concreto a evaluar.

Es claro ver que se necesita una ampliación de la base de datos para albergar datos de otras estructuras de concreto que no sean puentes, además de incorporar todos los aspectos de durabilidad que se necesitan para la correcta evaluación y monitoreo de estas estructuras, sabemos que es un trabajo muy pesado pero es necesario realizarlo por el bien de la infraestructura de nuestro país.

4.2 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN. [9]

El conocimiento de las diferentes manifestaciones apreciables a simple vista, ó no, originadas como resultado de los fenómenos corrosivos, es fundamental para su detección y para la elaboración del diagnóstico de las fallas. Por ello, la inspección de las estructura existentes de concreto reforzado, constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior diseño de la reparación de las estructuras dañadas por corrosión, ya que a través de esta inspección se obtiene directa ó indirectamente la información requerida para la solución del problema.

Los procedimientos relacionados con la inspección de una estructura de concreto armado desde el punto de vista de corrosión pueden implicar una labor bastante sencilla en algunos casos o, por el contrario, una muy difícil y ardua en otros, esto según la complejidad de los problemas, de la magnitud de la estructura y de la naturaleza de la misma. Antes de abordar una inspección, debe conformarse un equipo multidisciplinario de trabajo con al menos un especialista en corrosión, uno en diseño estructural y uno en técnicas constructivas.

En términos generales, las inspecciones en obra de las estructuras existente de concreto reforzado, deberán contener las siguientes etapas:

- a) Ficha de Antecedentes de la estructura y del medio ambiente.
- b) Examen visual general de la estructura.
- c) Levantamiento de daños.
- d) Selección de zonas para examen visual detallado y Elaboración de Plan de Muestreo.
- e) Selección de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- f) Selección de zonas para la realización de ensayos/mediciones/análisis físico-químicos en el concreto, acero de refuerzo y en el medio ambiente circundante.
- g) Ejecución de mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el concreto y/o en el acero de refuerzo.

Posteriormente se recopilarán todos los datos de la inspección aplicada, para poder realizar la evaluación de la durabilidad de la estructura así como diseñar los programas de mantenimiento ó reparación que la estructura necesite. Esta secuencia de etapas presentada, no significa que todas las actividades deben ser necesariamente llevadas a cabo, de acuerdo al tipo y magnitud de la información que se desee obtener se puede hablar de una Inspección Preliminar y de una Inspección Detallada.

Así, los puntos señalados como a) y b) en las etapas marcadas con anterioridad, constituyen pasos obligados en la Inspección Preliminar, las actividades de c) a f) sólo se aplicarán si se decide que es necesaria una inspección pormenorizada o puntual dentro de esta inspección para la elaboración del diagnóstico y/o con miras a una posterior reparación de la estructura.

En una Inspección Detallada, se llevarán a cabo los ensayos c) a f) que son las mediciones requeridas para obtener datos necesarios en naturaleza, número y confiabilidad, dependiendo de los resultados con que concluya la Inspección Preliminar, que permitan una evaluación acertada del problema y eventualmente, definir los sistemas de intervención (pronóstico de vida residual, mantenimiento, reparaciones, rehabilitación, etc.). Concluyendo posteriormente con la evaluación de la durabilidad de las estructura de concreto reforzado.

4.2.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR. [9]

Esta inspección permitirá tener una idea general del contexto que rodea a la estructura con problemas; puede estar sustentada en una visita previa y, de la necesidad de un análisis más profundo para la elaboración del diagnóstico correspondiente lo cual dependerá principalmente, de la complejidad del problema, riesgos involucrados y de la experiencia de la persona responsable de la evaluación. Como ya se ha indicado, en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible ya determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien constituir sólo la etapa previa a un estudio más detallado.

Las actividades propias de esta etapa las cuales fueron tomadas en cuenta para el diseño del anteproyecto de la normativa, motivo de este trabajo de tesis, son las que se explican en forma breve a continuación.

Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la Estructura y del Medio.

a. Estructura: Recoger la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del concreto, dosificación y resistencia característica del concreto, tecnología de fabricación del concreto, edad de inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos o componentes estructurales, eventuales cambio de uso, etc.

b. Medio: Información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio y la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción de acuerdo a sus efectos, por ejemplo: tipo de atmósfera, tipo de aguas, naturaleza del terreno ó suelo, presencia de corrientes de interferencia, presencia de agentes químicos, entre los más importantes.

Examen Visual General de la Estructura.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxido: color, extensión y curso; fisuras: ubicación, dirección y dimensiones; zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con/sin exposición de la acero de refuerzo), degradación del concreto, así como cualquier otra seña particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo. Para esto nos apoyaremos con la propuesta de inspección del American Concrete Institute, ACI; la cual se puede ver en la norma correspondiente en el capítulo 5 de este trabajo de investigación. Existen otras sugerencias interesantes, como la dada por la RILEM Draft Recommendation; pero en este anteproyecto de norma vemos más eficiente el uso de la tabla del ACI.

Es importante elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones generales del puente como de las zonas de difícil acceso en donde no es posible una observación directa o sencilla. Tal como se señaló antes, si el problema no es complejo y los evaluadores son experimentados, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para dictaminar la(s) causa(s) y elaborar el prediagnóstico. Se procederá entonces a la elaboración de croquis/planos con el levantamiento de daños, para proceder a la evaluación de la estructura.

En otros casos puede requerirse la realización de un mínimo de ensayos y/o mediciones ejecutables en campo durante la Inspección Preliminar, estos serán complementarios a la información básica obtenida, para llegar al diagnóstico final. La ejecución de estos ensayos y mediciones requiere del uso de herramientas, equipos, materiales y reactivos; por lo tanto, es recomendable prever su utilización durante una inspección preliminar. Los métodos aplicables y los respectivos criterios de evaluación son tratados en el capítulo cinco.

Finalmente, en algunos casos, los evaluadores pueden decidir que es imprescindible llevar a cabo una inspección detallada de la estructura y que la realización de los ensayos y mediciones, tengan lugar sólo en esa inspección.

4.2.2 INSPECCIÓN DETALLADA. [9]

Como ya se comentó con anterioridad, esta inspección se realiza cuando existe una fuerte posibilidad de que la estructura de concreto presente daños por carbonatación ó corrosión; por lo que se llevarán a cabo los ensayos necesarios al concreto y al acero de refuerzo de la estructura, en las zonas dañadas o con más urgencia de evaluación, recordemos que cualquier elemento de concreto que este seriamente dañado, pone en riesgo la durabilidad de toda la estructura. Con la obtención de la información de esta inspección, podrá realizarse la evaluación general de la estructura pero de forma cuantitativa, pues los resultados de laboratorio nos ofrecen un valor más exacto de la calidad actual que la estructura presente, por lo que con estos datos se puede volver a revisar de manera estructural la capacidad de carga del puente y determinar su vida útil, además de poder puntualizar las reparaciones estructurales además de las reparaciones que permitan recuperar o aumentar la durabilidad de dicha estructura.

Las actividades propias de esta etapa las cuales fueron tomadas en cuenta para el diseño del anteproyecto de la normativa, motivo de este trabajo de tesis, son las que se explican en forma breve a continuación.

Plan de Trabajo.

La concepción del Plan de Trabajo requiere de la evaluación de la información básica obtenida previamente (Ficha de Antecedentes, Examen Visual General y, Resultados de los Ensayos y/o Mediciones de campo a pie de obra que conducen al prediagnóstico) y, en general, incluye las siguientes actividades:

- a) Levantamiento de Daños, Plan de Muestreo y Tabla de Tipos de Daños.
- b) Selección de zonas, técnicas y número de ensayo/medición/análisis.
- c) Planificación del uso de Materiales y Equipamiento para las mediciones.

Elaboración del Plan de Muestreo.

Una vez reconocida la estructura a través de la inspección preliminar debe hacerse una división de ella en zonas, clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, que sean representativas dentro del conjunto de la estructura. Luego, los puntos de muestreo serán identificados con cada una de estas zonas, de manera que la evaluación considere y enmarque cada situación particular. La clasificación de las zonas debe estar basada en los objetivos de la inspección y orientada a facilitar la determinación de las causas que han originado los daños por corrosión en las armaduras usando criterios como: zonas de diferente exigencia estructural, condiciones iniciales y actuales de trabajo y zonas con diferente ataque del medio ambiente.

La división de la estructura en base al grado de deterioro de las diferentes zonas estará soportada por los resultados del examen visual y de los ensayos previos eventualmente realizados. Los croquis y/o planos de la estructura elaborados para el levantamiento de daños deben resumir esquemáticamente y de manera simple y clara los criterios de identificación aplicados y, lo mismo que en las tablas de tipificación de daños, deberá utilizarse términos (normalizados o previamente definidos en un glosario) que describan inequívocamente la situación que se desea reflejar.

Selección de zonas, técnicas y número de ensayo/mediciones/análisis.

Realizada la división de la estructura según los criterios arriba mencionados debe estimarse en esta etapa, qué tipo de ensayos, mediciones y/o análisis deberán ser llevados a cabo en la inspección detallada, y en qué (y en cuántos) puntos de muestreo serán realizados. Los equipos y metodología para llevar a cabo estos trabajos se comentaran en el capítulo cinco.

Planificación de Materiales y Equipamiento.

Basados en el levantamiento de daños, se deberán tomar las provisiones en cuanto a la preparación de los equipos, materiales y reactivos a utilizar durante la inspección detallada. Se reitera la necesidad de realizar un registro fotográfico extenso y tomar en cuenta que eventualmente sea necesario el uso de binoculares o de una cámara de vídeo, para poder tener una evaluación detallada de la estructura. Es importante mencionar que esta planificación debe ser aplicada en los procesos de inspección como en el proceso de rehabilitación de la estructura pues de ello dependerá la correcta aplicación de la normativa de prueba aquí diseñada.

Ejecución de la Inspección Detallada.

El Examen Visual Detallado debe considerar la inspección minuciosa, tanto del concreto como del estado del acero de refuerzo ó estructura metálica. La inspección debe abarcar todos y cada uno de los elementos, registrándose las anomalías observadas por medio de Fichas de Antecedentes, Planos/Croquis de Levantamiento de Daños, Tipificación de Daños, etc.

La inspección debe considerar la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, extensión) y la morfología del ataque (uniforme o localizado, profundidad y extensión de picaduras, etc.). La realización de ensayos y mediciones en el concreto y en el acero de refuerzo, así como la extracción de muestras a ser analizadas en laboratorio, se puede llevar a cabo durante la aplicación de esta etapa, previo Examen Visual Detallado, y Plan Trabajo.

Completando toda esta etapa que es la más riesgosa por la geometría y magnitud de la estructura, así por las zonas que se deben de inspeccionar, se realizará la concentración de todos los resultados de las pruebas de laboratorio no destructivas aplicadas, comparando los valores obtenidos con los rangos marcados en la normativa y por los publicados por los investigadores del área, concluyendo con el diagnóstico final de la estructura conforme a la evaluación de la durabilidad de la misma.

Es claro ver que se necesitará del equipo multidisciplinario para determinar la durabilidad de la estructura, pues los resultados de la inspección detallada conciernen tanto al especialista en estructuras como al de corrosión y al de técnicas de construcción, quienes diseñarán el programa de conservación, rehabilitación ó tomar la decisión de la reconstrucción de la estructura, por fuerte que esto parezca; buscando siempre la estabilidad y vida útil de la estructura de concreto.

4.3 APLICACIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS DE LABORATORIO. [9]

Como ya ha sido señalado, una parte muy importante de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión del acero de refuerzo armaduras y su propagación, se obtiene realizando pruebas no destructivas a los elementos de concreto y acero de refuerzo dentro de la inspección Detallada. Recordemos que el objetivo principal de este trabajo de tesis es la formulación de la normativa con la que se deberán de realizar los ensayos que pertenecen a dicha inspección; estos son los que a continuación se mencionan con una pequeña descripción.

Análisis Físico Químicos del Concreto.

- **Toma de Testigos.**

La extracción de testigos de la estructura, que van a ser utilizados en la realización de los ensayos, debe de ser de manera adecuada para que los resultados de las pruebas que en ellos se apliquen sean lo más verídicos posibles; los tipos de testigos más comunes son: Núcleos, Porciones de concreto y/o Porciones de material en polvo.

- **Resistencia a la Compresión.**

Determinar la resistencia a la compresión del concreto de la estructura a través de testigos de concreto. La resistencia a la compresión del concreto es considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer la evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como estructural.

- **Profundidad de Carbonatación.**

Determina el avance de la carbonatación en el concreto por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido-base. La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12-14) del concreto por efecto del CO₂ que se difunde desde el ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el CO₂ reacciona con los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH del concreto por debajo de 10.

- **Resistividad Eléctrica.**

La Resistividad Eléctrica es una propiedad eléctrica de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del concreto y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa. Es función de variables tales como: el tipo de cemento, las adiciones inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otras.

- **Ultrasonido.**

Por medio de la velocidad de propagación de onda a través del elemento de concreto, este ensayo no destructivo tiene como principales objetivos, verificar la homogeneidad del concreto, detectar las fallas internas introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones; además de Monitorear las variaciones de las propiedades del concreto a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio.

- **Esclerometría.**

El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del concreto, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido. El índice esclerométrico (IE) es el valor obtenido a través de un impacto del esclerómetro de reflexión sobre un área de ensayo, proporcionado directamente por medio del aparato, medido como el número de rebote del martillo.

- **Concentración de Cloruros.**

La determinación de la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa de concreto a diferentes profundidades, permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo. Esta información, interrelacionada con otras variables, permite analizar el estado actual de la estructura y también permite estimar el tiempo que tardará el ion cloruro en alcanzar el acero de refuerzo.

- **Porosidad.**

Determinar la absorción capilar y la porosidad de morteros y concreto es como una medida de su compacidad. Como porosidad del concreto se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de concretos y morteros a consecuencia de la evaporación del agua excedente del amasado y del aire atrapado en su manipulación.

Evaluación del Acero de Refuerzo.

- **Localización, Profundidad y Diámetro del Acero de Refuerzo.**

Localizar y definir la profundidad del acero de refuerzo dentro del concreto armado, así como poder determinar el diámetro efectivo de trabajo, es importante por conocer la correcta construcción del elemento, además el recubrimiento o capa de protección, estructuralmente, se refiere al espesor de concreto medido desde la superficie más externa de la acero de refuerzo principal hasta la cara externa del elemento.

- **La medición de potenciales.**

Medir el potencial del acero de refuerzo del concreto mediante el uso de electrodos de referencia, permite conocer los puntos donde exista un diferencial de potenciales, que provocará la migración de electrones, aumentando la posibilidad de corrosión en esa zona.

- **La medición de la velocidad de corrosión.**

Se llama velocidad o intensidad de corrosión (i_{corr}) a la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo. Las unidades básicas son $g/cm^2día$, aunque la forma usual de definirla a partir de medidas de tipo electroquímico es en $\mu A/cm^2$ o, transformando este dato a partir de la densidad del metal, en unidades de penetración (mm/año).

Infraestructura para la Aplicación de las pruebas.

Para la realización de la correcta aplicación de este anteproyecto de normativa, el IMT y la DGST de la SCT, dispone con el siguiente equipo de prueba, que obviamente estará sujeto a la disposición del mismo instituto, pero que podrá ser solicitado por medio de la dependencia correspondiente para su uso en cualquier estructura existente de concreto reforzado del país; los equipos son los listados en la Tabla 3, siguiente.

Tabla 3. Equipos para la aplicación de pruebas no destructivas en Concreto Reforzado. [1]

Nombre del equipo	Ubicación	Marca	Modelo
Equipo Portátil de Rayos X	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	Rich-Siefert	Eresco 610/10
Contador Geiger	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	D.E. Smith	GS-2000
Equipo Portátil de Ultrasonido	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	Krautkramer	USD 10
Cámara Holográfica con Láser	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	Newport	HC-1000
Rayo Láser He-Ne	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	Spectrphysics	127-35
Indicador de Deformaciones Portátil	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	Measurement S Groups	P-3500
Estación de Soldadura para Galgas	Área de Pruebas No Destructivas, IMT	M-Line	Mark V
Analizador de Imágenes Optomax V	Área de Materiales, IMT	AMS	9000
Fotomicroscopio Metalográfico	Área de Materiales, IMT	Olympus	Vanox-T-AH2
Microscopio Estereoscópico	Área de Materiales, IMT	Olympus	SZH-ILLB
Microscopio Metalográfico de Platina Invertida	Área de Materiales, IMT	Olympus	PMG3-F
Cortadora de Disco Sumergible	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	CUTO 35
Desbastadora Húmeda de Cinta Doble	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	BS2
Lijadora Manual	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	MANUPOL
Lijadora Húmeda de Disco Doble	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	DUO
Pulidora de Mesa de Disco Doble	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	TG-250/2
Pulidora Electrolítica	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	POLIMAT
Pulidora Vibratoria	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	Vibropol
Montadora Hidráulica	Área de Materiales, IMT	Jean Wirtz	HYDROPRESSM
Potensistato Portátil	Área de Materiales, IMT	ACM	
Corrosímetro G-Corr	Área de Materiales, IMT	James Instruments	CS-5000

Como se comentó, el equipo anterior pertenece al IMT, pero es sabido que se ha entregado equipo básico a algunos centros SCT del país, tal es el caso de Michoacán, pero el problema es que el personal a pesar de haber recibido cursos de capacitación, no está usando el equipo, perdiendo la práctica adquirida, aunado a que la mayoría de las inspecciones detalladas en puentes se licitan, dejando así las evaluaciones estructurales y de durabilidad a empresas particulares, que no sabemos si realmente conocen los conceptos antes mencionados.

4.4 DIAGNÓSTICO Ó EVALUACIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA. [1 y 9]

Establecer el diagnóstico o evaluación para una estructura es el resultado de un proceso lógico de análisis e interrelación de todos los hechos, resultados y observaciones realizados en las etapas de inspección preliminar o detallada, la información debe ser sopesada y críticamente analizada a la luz de los distintos criterios de evaluación establecidos, aportados por el presente anteproyecto de normativa y/o por la experiencia del evaluador en función del estado del arte de la investigación sobre las diferentes patologías de las estructuras de concreto armado.

Bases del Diagnóstico.

El diagnóstico estará basado en los dos grupos de información principal establecidos en los incisos anteriores, información sobre el medio ambiente que rodea a la estructura y sobre las condiciones actuales de la estructura. Sobre esta base, la información de las condiciones de la estructura deben ser examinadas en primer término para establecer la presencia de corrosión, como para requerir reparaciones de importancia o urgentes. De manera general estamos hablando de la información adquirida por medio de la inspección preliminar y la detallada, así como los resultados de las pruebas no destructivas aplicadas a elementos de concreto ó al acero de refuerzo dentro del elemento de concreto; generando así el prediagnóstico adecuado.

Es necesario determinar los riesgos que involucra el deterioro del elemento o estructura analizada para poder establecer, en conjunto, la gravedad y magnitud del daño y la urgencia de la reparación pertinente.

Procedimiento General de Diagnóstico.

Luego de analizar los resultados de las inspecciones y evaluaciones, se procederá a la identificación y a la enumeración de las condiciones, características o evidencias que, individualmente o en conjunto, puedan haber ocasionado o eventualmente puedan ocasionar la corrosión del acero de refuerzo. A continuación deberá establecerse la magnitud y morfología del daño existente (o del daño potencial), así como la necesidad de un seguimiento en el tiempo y la urgencia de intervención, en un elemento específico ó en toda la estructura.

La interrelación de evidencias y evaluación de condiciones ambientales del concreto, del acero y de la estructura como un todo puede ser variada y compleja. Cada caso debe ser analizado según los criterios y agravantes del contexto en que se presenta. Se deben considerar incluso los aspectos económicos y sociales que puedan influir en los criterios para definir la criticidad y urgencia de intervención. La correlación de estos resultados seguirá los criterios indicados, haciendo uso de las tablas de valoración de los ensayos y los diagramas de flujo que se han presentado para cada situación en particular. Se deben establecer los puntos a revisarse nuevamente para clarificar el mecanismo de corrosión actuante y la severidad presentada, así como la potencialidad de otros tipos de corrosión.

Es importante establecer el origen de los agentes agresivos y de los factores contribuyentes. De esta forma se podrá garantizar que la intervención a ejecutar en la obra sea la más adecuada para corregir los daños existentes, previniendo su extensión y reaparición, tanto como la generación de nuevos daños. Realizaremos un listado de las actividades que nos parecen más adecuadas para la evaluación de la durabilidad de la estructura existente de concreto reforzado.

En base a los resultados de la Información Ambiental e Inspección Detallada, se buscará:

- Identificar el tipo de corrosión existente. (cloruros, carbonatación, etc.)
- Identificar el origen y mecanismo de ataque del agente responsable de la corrosión.

Adicionando los resultados de la evaluación estructural, se buscará:

- Cuantificar la severidad de la corrosión en términos de resistencia estructural.
- Predecir cuantitativamente el avance de la corrosión.
- Evaluar la estructura en base a indicadores de daño ó al cálculo de la capacidad portante.

Finalmente concluiremos con:

- Elaborar el diagnóstico final de la estructura.
- Diseñar el plan de conservación, rehabilitación y/o reconstrucción de la estructura evaluada.
- Obtener el pronóstico de la Durabilidad ó Vida útil de la estructura antes y después del programa de rehabilitación.

4.5 PROGRAMA DE CONSERVACIÓN, REHABILITACIÓN Ó RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA. [9]

Al lado de un gran e indiscutible crecimiento de la necesidad de intervenir las estructuras de concreto con el fin de alcanzar la vida en servicio para la cual ésta fue diseñada, también se ha observado que muchas veces la intervención no es la más acertada. Los materiales o los procedimientos adoptados para reparación y reconstrucción no siempre confieren a la estructura las características de durabilidad compatibles con la importancia de la obra y con los elevados costos de reparación y reconstrucción de las mismas. También ha sido frecuente y constatado un resultado negativo, o sea, una vida útil muy corta después de esa reparación, la mayoría de las veces mucho más corta que el período transcurrido entre el término de la obra hasta la necesidad de intervención.

Esto principalmente a que las reparaciones han sido dirigidas por la parte estructural sin tomar en cuenta la parte de durabilidad que ya hemos informado; así mismo es claro ver que la inversión destinada a las reparaciones pasa a ser dinero mal invertido pues la reparación en vez de detener el daño por corrosión, en muchas de las ocasiones simplemente lo acelera provocando mas daños de los que existían antes de las reparaciones.

El sector de producción industrial de materiales para reparaciones de estructuras de concreto, es uno de los más prometedores en el área de la construcción y ha generado en los últimos años una gran variedad de productos, alternativas, sistemas y técnicas de reparación; el problema principal es que muchas de estas alternativas no tienen un soporte técnico adecuado que permita realmente reparar la estructura y en vez de resolver el problema, lo hacen más grave.

Los ingenieros ó empresas de reparación de estructuras dañadas por corrosión, encargados de un proyecto de mantenimiento, reparación y/o rehabilitación deben estar constantemente actualizados para poder resolver los problemas de fondo, con una visión amplia, sistemática y efectiva. Sin embargo en muchos de los casos las intervenciones se dejan a cargo del maestro de obra, ó del residente en turno, personal sin el conocimiento adecuado y que por consiguiente las reparaciones su vuelven en experiencias desastrosas, esto debe ser evitado al máximo.

El programa de conservación, rehabilitación y/o reconstrucción cuando se tienen en la estructura problemas de corrosión, resulta ser costoso y requiere de conocimientos consistentes del problema, además de implicaciones estructurales, estéticas y sociales, la reparación debe verse bien a los ojos de los usuarios para no provocar incertidumbre en ellos; ahora bien para que el programa de conservación ó la reparación sea durable, es preciso que sea proyectada en detalle, con especificaciones de los materiales, equipos y técnicas a usar, no olvidemos que el procedimiento constructivo de la reparación debe ser lo suficientemente explícito para que la mano de obra pueda entender cada una de las indicaciones de la reparación; sin olvidar que la reparación siempre deberá ser supervisada por el equipo multidisciplinario ya comentado con anterioridad.

Los procedimientos y materiales a usar deberán tener un desempeño intrínseco ó personal, tener una buena interfase y buen equilibrio físico-químico entre la zona de reparación y los elementos y materiales nuevos aplicados en esa reparación; esto es importante pues en algún caso puede suceder que cuando el medio ambiente es agresivo y el concreto de la reparación es de calidad inferior a la necesaria, los resultados de esta reparación son peores, generamos nuevas zonas de corrosión así como delaminaciones y grietas que provocarán la falla de la reparación además de la progresión de la corrosión con más velocidad sobre el elemento de concreto reforzado.

Algunos de los sistemas más comunes para prevención ó rehabilitación de la infraestructura existente de concreto reforzado son los siguientes: [12]

- Cementos químicos especiales.
- Lechadas y Morteros.
- Concretos especiales.
- Parcheos puntuales y por zonas.
- Recubrimientos ornamentales.
- Aceros especiales.
- Primarios y pinturas especiales.
- Realcalinización del concreto.
- Remoción de cloruros.
- Inhibidores de corrosión.
- Protección catódica por corriente impresa o ánodo de sacrificio.

Existen varios criterios para aplicar el programa de conservación, rehabilitación o reconstrucción de la estructura de concreto reforzado dañada por corrosión, pero de manera general presentamos a continuación las variables más importantes que deben ser consideradas para obtener la mejor alternativa de reparación.

- El costo de la reparación.
- La disponibilidad local de los materiales a usar.
- La confiabilidad del método y procedimiento de reparación.
- Los plazos de duración de la reparación.

Otro factor importante es poder especificar la vida o duración de la reparación, lo cual en México y Latinoamérica no se cumple ó especifica. La práctica muestra reparaciones con vida útil muy corta, la mayoría de las veces mucho mas corta que el período de tiempo transcurrido entre la terminación de la obra y la ejecución de las reparaciones. La comunidad inglesa, a través de la norma "*BS 7543 Guide to Durability of Building Elements, Products and Components*", recomienda que las reparaciones y reconstrucciones efectuadas en obras publicas de importancia como puentes, viaductos, algunos edificios grandes y estadios polideportivas, proporcionen una vida útil de por lo menos 60 años. [13]

Lamentablemente, este campo esta aún muy vacío en la normatividad mexicana conforme los trabajos de reparación por afectación de la corrosión y carbonatación, revisando nuestra normativa SCT, solamente tenemos los siguientes trabajos de Conservación, para Puentes y estructuras de Concreto.

CONSERVACIÓN RUTINARIA.

- Limpieza de Juntas de Dilatación. N·CSV·CAR·2·03·001/01
- Limpieza de Parapetos, Banquetas y Camellones. N·CSV·CAR·2·03·002/01
- Limpieza de Drenes. N·CSV·CAR·2·03·003/01
- Limpieza de Estribos, Pilas, Columnas y Aleros. N·CSV·CAR·2·03·004/01

CONSERVACIÓN PERIÓDICA.

- Calafateo de Fisuras. N·CSV·CAR·3·03·001/02
- Reparación de Grietas. N·CSV·CAR·3·03·002/02
- Reparaciones y Resanes en Elementos de Concreto N·CSV·CAR·3·03·003/02
- Reposición del Sello en Juntas de Dilatación. N·CSV·CAR·3·03·004/02
- Reparación de Parapetos y Banquetas N·CSV·CAR·3·03·005/02

TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN.

- Remoción de Carpeta Asfáltica en Puentes. N·CSV·CAR·4·03·001/02
- Reposición de Juntas de Dilatación N·CSV·CAR·4·03·002/02

Como podemos ver la mayoría de la conservación de nuestro puentes está basada en limpieza, cambio de piezas y reparación de daños menores; y en lo que corresponde a reconstrucción solamente hablamos de carpeta asfáltica y juntas de dilatación, pero y que pasa con lo elementos de concreto reforzado que son el alma de la estructura, vemos que es necesario el desarrollo de investigación y de técnicas mínimas adecuadas y efectivas para realizar las reparaciones en las estructuras de concreto, en las diferentes zonas geográficas del país; esperamos que este trabajo de tesis sea el impulsor de la normativa sobre la reparación de estructuras dañadas por corrosión.

4.6 PROGRAMA DE MONITOREO POSTERIOR DE LA ESTRUCTURA.

En base a todas las inspecciones, experimentaciones y medidas de conservación, rehabilitación, y/o reconstrucción, es importante proponer un sistema de monitoreo posterior a la reparación de la estructura para obtener información necesaria que permita evaluar no solo el comportamiento de la estructura sino también la buena aplicación de las medidas de rehabilitación que se diseñaron, lo cual servirá como retroalimentación y ayudará a corregir errores en los programas de reparación, mejorando el sistema en general, realizando mejores reparaciones en el futuro.

El monitoreo estará basado en los siguientes puntos principales:

- Inspección Preliminar por lo menos anual, para llevar a cabo un control de vida futura de la estructura, considerando los cambios en el aspecto climatológico de la región.
- Dependiendo de la Inspección Preliminar, determinar nuevamente la Vida Residual de la Estructura, para evitar la disminución del Tiempo de Vida Útil ó Durabilidad de la misma.

- Revisión periódica de la estructura en los puntos ó zonas rehabilitadas y en puntos o zonas de supuestos problemas futuros.
- Aplicación de pruebas no destructivas en los puntos ó zonas rehabilitados y en zonas adjuntas a las rehabilitadas para prevención de problemas futuros.
- Obtención del comportamiento a lo largo del tiempo después de la reparación del elemento, permitiendo pronosticar el lapso de tiempo para la aplicación de las inspecciones preliminares o detalladas.
- El uso de la información obtenida aplicada a una estructura de concreto en una zona específica del país pudiendo usar estos datos como pronóstico para puentes en otros estados de la república pero con la misma zona medio ambiental.
- Desarrollo de nueva tecnología de investigación para crear mejores programas de mantenimiento y reparación de las estructuras.

Es bien sabido que la operación de un programa de monitoreo así como del equipamiento necesario para realizar el monitoreo, eleva los costos de las reparaciones pues los equipos a utilizar ya sean de campo ó remotos, son muy caros, y en caso de presentarse fallas, se pueden perder muchos datos de la investigación de la estructura; pero creemos que es una de las partes más importantes del desarrollo de una cultura de la vida útil de la estructura, pues será el único elemento que nos informará de los cambios que las reparaciones producen en la estructura, además de cómo ya fue comentado, sabremos de la efectividad de la reparación.

El monitoreo debe ser llevado a cabo también por el equipo multidisciplinario, ya que involucra cuestiones químicas, eléctricas, de cómputo, ambientales, y de resistencia mecánica, por lo que es muy recomendable que la SCT, aunque posea poco personal, necesita que este tenga la capacitación técnica adecuada en las diferentes ramas de la ingeniería que tienen que ver con el monitoreo de las estructuras de concreto referente al tema de la durabilidad por ataque de corrosión. En el dado caso de que empresas particulares sean las que apliquen el monitoreo, la SCT debe tener personal capacitado que supervise, administre y revise la información que los especialistas en monitoreo están registrando, pudiendo con esto tener un amplio criterio para la toma de decisiones de las nuevas reparaciones de la estructura existente de concreto reforzado.

5. PROPUESTA DE ANTEPROYECTO DE NORMAS Y MANUALES DE PRUEBA PARA EL USO DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. [1 y 9]

A través de una analogía con la Medicina se puede considerar que las estructuras de concreto y las construcciones civiles en general deberían ser estudiadas y entendidas a la luz de nuevos enfoques complementarios a los tradicionales, los cuales no son suficientes para el entendimiento del comportamiento de las construcciones. La Teoría Clásica de las Estructuras, la Resistencia de los Materiales, la Estabilidad de las Estructuras y el curso tradicional de Materiales y Técnicas de Construcción Civil, además de la falta de conocimiento en las áreas de la química y electricidad de los ingenieros civiles, y de los materiales usadas en la construcción de la infraestructura del país, no fueron lo suficientemente capaces de explicar adecuadamente el envejecimiento prematuro de las construcciones civiles. En vista de ello, en los últimos 20 años, nuevas disciplinas fueron colocadas a disposición de los ingenieros civiles para apoyarse en los datos que muchos investigadores han obtenido, además de poder trabajar en base a un criterio universal por lo menos para la zona donde se cree y se aplique. Estas disciplinas son las que se ilustran en la Figura 5.1.

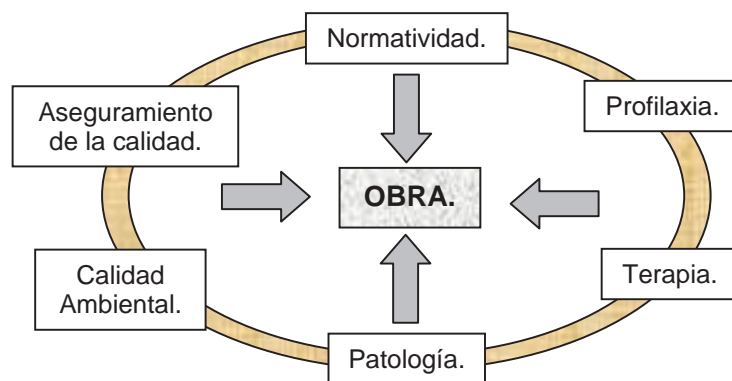


Figura 5.1. Nuevas Disciplinas introducidas en la Ingeniería Civil.

Se entiende por **Normatividad ó Normalización**, un gran movimiento internacional de uniformización de criterios básicos de proyectos y construcción, cuyos ejemplos notorios son:

- Comité Euro-International du Beton. CEB-FIP Model Code 1990. [14]
- Comité International du Batiment. Building Pathology. CIB W-86. [15]
- International Organization for Standardization ISO 1920. [16]
- European Comité for Standardization CEN-ENV 206. [17]
- Comité Latino-americano de Estructuras. MERCOSUR-CLAES. [18]
- American concrete Institute. NAFTA-ACI318. [19]

El Aseguramiento de Calidad o Calidad Ambiental, todos los procedimientos actualmente disponibles y recomendados por las normas de serie ISO 9000 [20] y de la serie ISO 14000. [21]

La Patología, puede ser entendida como una parte de la Ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las construcciones civiles, o sea, es la ciencia que permite un correcto diagnóstico de un problema patológico.

La Terapia, estudia la corrección y solución duradera de problemas patológicos, ejemplo, corrige a pérdida precoz y no prevista de la vida útil inicialmente esperada en la estructura de concreto.

La Profilaxia, son todas las medidas preventivas que deben ser tomadas en las construcciones nuevas, a partir del correcto diagnóstico de los problemas. Se aplica esencialmente a construcciones nuevas, como una forma de evitar un deterioro precoz, está basada en los estudios de la patología.

Considerando que estas nuevas disciplinas fueron introducidas en la Ingeniería Civil en los últimos 20 años, se verifica que, entre ellas, la Terapia de las Construcciones es la menos conocida y dominada hoy en día. Actualmente son pocas las publicaciones técnico-científicas sobre el tema y prácticamente no existe un consenso que permita una Normalización efectiva y fuerte en el área. Un gran número de entidades internacionales han dedicado esfuerzos en esa dirección, principalmente a partir del inicio de esta década, pudiéndose citar los siguientes intentos de normalización; todas muy recientes y en la mayoría de los casos sólo existen textos preliminares y en discusión.

- COST509. [22]. workshop. Comision of the European Communities.
- COMETTPROJECT7352/Cb. [23]. Project 7352/Cb. Concrete Repair.
- ACICOMMITEE546. [24]. American Concrete Institute. ACI 546
- GEHO. [25]. Grupo Español del Hormigón.
- RILEM 124-SRC. [26]. Reunion Interationale de Laboratoires D'Essais et Materiaux.
- RILEM 130-CSL. [27]. Reunion Interationale de Laboratoires D'Essais et Materiaux.
- SHRP S-360. [28]. Conctract C-103

A pesar del gran peso que han tenido estos trabajos en la normalización internacional, es bien sabido que en México, como en otros muchos países de América, la normativa que rige los procesos de pruebas de materiales, así como diagnósticos y reparaciones son las ya conocidas:

- ASTM. American Standard Testing Materials.
- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI. American Concrete Institute.
- PCA. Portland Cement Asosociation.

Pero muy aparte de estas asociaciones, en nuestro país, la normativa más importante con respecto a la Infraestructura del Transporte en cualquiera de sus modos, es la de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT, por lo que el anteproyecto de normas para obtener la durabilidad de las estructuras existentes de concreto reforzado, motivo del presente trabajo de tesis, nos regiremos por los normatividad de la SCT, aplicando el instructivo y guía de redacción facilitados por el Ing. Héctor Manuel Bonilla Cuevas, de la división de Desarrollo y Difusión de Normas, del Instituto Mexicano del Transporte, en la ciudad de México D. F.

Conforme a la normatividad de redacción y clasificación de las normas a desarrollar, se ha decidido incorporarlas en los dos grupos siguientes:

NORMAS DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN O EVALUACIÓN:

- INSPECCION PRELIMINAR. Ficha de Antecedentes de la Estructura y del Medio, Examen Visual General de la Estructura, Levantamiento de daños y Prediagnóstico.
- INSPECCIÓN DETALLADA. Plan de Trabajo y Muestreo, Selección de Técnicas y Zonas de Ensayo, Equipamiento y ejecución de Inspección Detallada.

MANUAL DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES (ENSAYOS 1):

Análisis Físico Químico del Concreto.

- Toma de Testigos.
- Resistencia a la Compresión.
- Profundidad de Carbonatación.
- Resistividad Eléctrica
- Ultrasonido.
- Esclerometría.
- Concentración de Cloruros.
- Porosidad.

MANUAL DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES (ENSAYOS 2):

Evaluación del Estado del Acero de Refuerzo.

- Determinación de la Localización, Profundidad y Diámetro del Acero de Refuerzo.
- Medición de Potenciales.
- Medida de la Velocidad de Corrosión.

Extraemos los parámetros más importantes de esta normativa conforme su presentación en el portal web: <http://normas.imt.mx/>.

PROPÓSITO DE LA NORMATIVA SCT:

Que el sector transporte cuente con una normativa técnica permanentemente actualizada, que incluya los últimos avances tecnológicos y jurídicos que se desarrollen en el país y en el extranjero, proponiendo los criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de los trabajos que se realizan en materia de infraestructura para el transporte, con seguridad, calidad, economía y eficiencia, en las áreas de: Aeropuertos, Carreteras, Edificaciones, Ferrocarriles y Puertos Marítimos.

OBJETIVOS:

1. La uniformidad de estilo y calidad en las obras públicas y en los servicios relacionados con ellas, que realiza la Secretaría para la infraestructura del transporte, estableciendo los criterios y procedimientos para la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución, supervisión y, en su caso, operación y mitigación del impacto ambiental.
2. Establecer los criterios y procedimientos para la concesión de la infraestructura para el transporte.
3. Normar las relaciones de la Secretaría con las personas físicas y/o morales que contraten la ejecución de obras públicas y los servicios relacionados con ellas, o a las que se les otorguen concesiones de infraestructura para el transporte.
4. Orientar la selección y aplicación de los criterios, métodos y procedimientos más convenientes para la realización de los estudios y proyectos; para la ejecución, supervisión, aseguramiento de calidad, operación y mitigación del impacto ambiental de la infraestructura durante su construcción, conservación, reconstrucción y modernización.

NORMAS

Las Normas proponen valores específicos para diseño; las características y calidad, de los materiales y de los equipos de instalación permanente, así como las tolerancias en los acabados; los métodos generales de ejecución, medición y base de pago de los diversos conceptos de obra y, en general, todos aquellos aspectos que se puedan convertir en especificaciones al incluirse en el proyecto o en los términos de referencia para la ejecución de las obras públicas y de los servicios relacionados con la infraestructura del transporte.

MANUALES

Los Manuales contienen el compendio de los métodos y procedimientos para la realización de todas las actividades relacionadas con la infraestructura del transporte.

CSV. CONSERVACIÓN.

Establece los criterios y métodos para la evaluación de la infraestructura. Contiene los conceptos para la conservación rutinaria y la periódica, para la reconstrucción y para la mitigación del impacto ambiental durante la conservación de la infraestructura, incluyendo definiciones, criterios básicos de ejecución, acabados, medición y base de pago.

MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.

Comprende los procedimientos para muestreo y prueba, tanto de laboratorio como de campo, de los materiales que se utilicen en las obras.

DESIGNACIÓN O CLAVE DE LAS NORMAS.

Para la identificación de cada fascículo publicado, en la primera página se indica, además del Libro, Tema, Parte, Título y Capítulo que trata, una designación única como la siguiente: **N-PRY-CAR-10-01-003/99**. Esta designación se integra con las claves siguientes:

Tipo de publicación:	Norma (N) .
Libro a que pertenece:	Libro Proyecto (PRY) .
Tema al que pertenece el fascículo:	Tema Carreteras (CAR) .
Número correspondiente a la Parte:	Parte 10 , Proyecto de Señalamiento y Dispositivos de Seguridad en Calles y Carreteras
Título de que se trata:	Título 01 , Proyecto de Señalamiento,
Capítulo que se trata:	Capítulo 003 , Diseño de Señales Preventivas
Año de su publicación:	Publicada en el año de 1999 .

UTILIZACIÓN.

Los fascículos correspondientes a las Normas, Manuales y Prácticas Recomendables de los diferentes Libros, Temas, Partes, Títulos y Capítulos de la Normativa SCT, se publican y difunden en la medida en que se elaboran o actualizan. En el momento de su publicación derogan, en lo que corresponda, a los publicados anteriormente.

Los criterios, métodos y procedimientos contenidos en la Normativa SCT son una guía para efectuar la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución, supervisión y, en su caso, operación y mitigación del impacto ambiental de las obras públicas y servicios relacionados con ellas, así como para la concesión de la infraestructura, de manera que, si el Ingeniero considera que dichos criterios, métodos y procedimientos no son aplicables para la realización de un trabajo

específico, puede proponer otros que no estén contenidos en la Normativa SCT, siempre y cuando estén debidamente sustentados, no contravengan las leyes federales aplicables y sean aprobados por las Autoridades competentes.

En la elaboración de sus proyectos y/o términos de referencia, el Ingeniero puede invocar las Normas contenidas en la Normativa SCT que considere aplicables, haciendo referencia a las designaciones correspondientes. Las Normas invocadas de esta manera, mediante la firma del Ingeniero y con la aprobación de las Autoridades competentes de la Secretaría, se convertirán en especificaciones, las que deben ser cumplidas obligatoriamente por el ejecutor de los trabajos. Las Autoridades de la Secretaría, en el ámbito de su competencia, mediante la instrucción correspondiente, pueden establecer como obligatoria la utilización de aquellos criterios, métodos y procedimientos de la Normativa SCT, que consideren necesarios.

Con el propósito de perfeccionar permanentemente la Normativa SCT, es necesario que los comentarios, observaciones y propuestas de modificación, se hagan llegar a la Comisión de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios de la Secretaría, a través de la Dirección General de Servicios Técnicos o de la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, a fin de que sean analizados, valorados y, en su caso, considerados en las nuevas versiones que se realicen.

RESPONSABILIDADES.

En la planeación, ejecución y supervisión de las obras públicas y de los servicios relacionados con ellas, que realice la Secretaría, las especificaciones son responsabilidad del Ingeniero y de las Autoridades competentes que las aprueben. Aquellas Normas, que se conviertan en especificaciones al ser invocadas y validadas mediante las firmas del Ingeniero y de las Autoridades competentes de la Secretaría, en un proyecto o en unos términos de referencia determinados, deben ser atendidas obligatoriamente por todos los involucrados en la ejecución, supervisión y control de la obra pública correspondiente o del servicio relacionado con la misma, quienes son los responsables de su cumplimiento.

En el caso que se demuestre mediante estudios apropiados, que una o algunas especificaciones de las establecidas en un proyecto, no sean procedentes para la ejecución de la obra, el Ingeniero o la persona física o moral que elaboró el proyecto, debe hacer los ajustes pertinentes de acuerdo con los requerimientos reales. Dichos ajustes deben ser aprobados por las Autoridades competentes de la Secretaría. Si una obra o servicio relacionado con ella se ejecuta por una persona física o moral, contratada para tal propósito por la Secretaría, dicha persona física o moral está obligada a cumplir el proyecto o los términos de referencia correspondientes y sus especificaciones. Asimismo, es la única responsable de todo lo que se requiera para la correcta ejecución del trabajo y, en su caso, de establecer los procedimientos constructivos más eficientes y seguros para lograr los objetivos establecidos, así como de instalar el control de calidad de sus actividades.

Para el desarrollo de las normas de anteproyecto motivo de este trabajo de tesis, se aplicó la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida; de la cual en el Anexo 3, colocamos las páginas de mayor relevancia con respecto a este trabajo de tesis.

En las siguientes páginas, se presenta el desarrollo de las dos normas de inspección así como de los once manuales de procedimientos de prueba para reglamentar la evaluación de las estructuras existentes de concreto reforzado de la infraestructura del Transporte del México.

ANTEPROYECTO N·CSV·CAR·1·03·001/07

LIBRO:	CSV. CONSERVACIÓN.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	1. Evaluación.
TÍTULO:	03. Puentes y Estructuras.
CAPÍTULO:	001. Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.

A. CONTENIDO.

Esta norma contiene los aspectos por considerar en la Inspección Preliminar de las estructuras o elementos de concreto hidráulico que formen parte de la infraestructura de cualquier modo de transporte (carretero, portuario, aeroportuario y férreo) del país.

B. DEFINICIÓN.

Una Inspección Preliminar, permite tener una idea general del contexto que rodea a la estructura con problemas; ésta, permite la elaboración de un diagnóstico en algunos casos ó de un prediagnóstico en aquéllos casos más complejos. Puede estar sustentada en una visita previa y, de la necesidad de un análisis más profundo para la elaboración del diagnóstico correspondiente lo cual dependerá principalmente, de la complejidad del problema, riesgos involucrados, de la experiencia y capacitación de la persona responsable de la evaluación; se procederá a la realización de actividades de preparación para la llamada Inspección Detallada

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Ejecución de Obras	N·LEG-3/05
Ejecución de Supervisión de Obras	N·LEG-4/05
Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos Para protección de Obras de Conservación.....	N·PRY·CAR·10·03·001/01
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1·03·002/07

D. EJECUCIÓN.

Como ya se ha indicado, en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien constituir sólo la etapa previa a un estudio más detallado. Las actividades propias de esta etapa son:

D.1. ELABORACIÓN DE FICHA DE ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA Y DEL MEDIO.

Para la elaboración de la ficha de antecedentes de la estructura y del medio, se deberá de recabar la información solicitada de los elementos a continuación descritos:

D.1.1 Estructura.

Se debe recabar la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del concreto, dosificación y resistencia característica del concreto, así como su tecnología de fabricación, fecha de inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos ó componentes estructurales, eventuales cambio de uso, etc. Para el registro de estos datos, aplique el Formato 1, anexo al final de esta norma.

D.1.2 Medio.

Información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio que rodea a la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción. Principalmente debe requisitarse la información de los aspectos siguientes, aplicando el Formato 2, anexo al final de esta norma.

- Tipo de atmósfera (urbana, rural, marina, industrial, o una combinación de dos ó más tipos) y estimación de la presencia de posibles contaminantes; aproximación de los ciclos de condiciones de temperatura, humedad relativa y vientos (o ventilación) atmosféricos y locales.
- Tipo de agua (naturales: salobres, dulces, subterráneas, potable; de desecho: tras uso doméstico o industrial, etc.), su composición química y eventual contaminación.
- Naturaleza del terreno ó suelo (natural ó de relleno, ácido ó alcalino, resistividad eléctrica, características especiales, etc.).
- Presencia de corrientes de interferencia ó erráticas y evaluación de posible contaminación; así como
- Presencia de agentes químicos, (sales para deshielo, plantas industriales, etc.).

D.2. EXÁMEN VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxido: color, extensión y dirección; fisuras: ubicación, dirección y dimensiones; zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con/sin exposición del acero de refuerzo), degradación del concreto, así como cualquier otra señal particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo.

Para la tipificación de los daños de manera gráfica se hará uso de la Tabla 1, (propuesta por el American Concrete Institute, ACI), además de una clasificación según códigos e información adicional relevante. Elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones ya comentadas. Utilice el Formato 3 anexo al final de esta norma, para realizar la presentación simultánea de la tipificación de daños localizados de la estructura y el respectivo reporte fotográfico.

Si el problema no es complejo y en base a la experiencia del evaluador, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para la elaboración de croquis y/o planos con el levantamiento de daños; y así dictaminar las causas de los daños, elaborando el prediagnóstico de la estructura.

Basado en la inspección preliminar y en la experiencia del evaluador, puede llevarse a cabo la realización de algunos ensayos correspondientes a la inspección detallada para, tener un diagnóstico de la estructura.

Según sea el caso, el responsable de la inspección seleccionará los puntos elegidos o zonas de ensayo representativas, en donde se aplique cualquiera de los siguientes ensayos:

- Localización del acero de refuerzo y medición del espesor de recubrimiento de concreto.
- Determinación de la disminución del diámetro del acero de refuerzo.
- Determinación de la resistividad eléctrica del concreto.
- Medición de potenciales electroquímicos.
- Determinación de la profundidad de carbonatación y presencia del ión cloruro en el concreto.

La ejecución de los ensayos y mediciones anteriores requiere del uso y aplicación del Manual de Métodos y Prueba de los Materiales, previa lectura de la norma de Inspección Detallada.

E. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B.“DURAR” 3ª Ed. Agosto 2000.
Guide for evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation. ACI materials Journal.1993.....	ACI Committee 364
Recommendation for Damage Classification of Concrete Structure. Materials and Structures. 1994.....	RILEM Draft.
Manual para Reparo, Reforço e Proteção de estruturas de Hormigón. “da Ed. São Paulo, PINI 1992.....	Helene, P.



INSPECCION PRELIMINAR PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO EXISTENTES

NOMBRE DE LA ESTRUCTURA: _____

UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA: _____

RESPONSABLE DE INSPECCION: _____ FECHA: _____

FORMATO No. 1 NORMA: ANTEPROYECTO N.CSV.CAR-1-03-001/07

FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA. 1/2

I. DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA.

I.1 Tipo de Estructura.

Descripción Básica de sus Componentes.

<input type="checkbox"/>	Edificación	_____
<input type="checkbox"/>	Puente	_____
<input type="checkbox"/>	Muelle	_____
<input type="checkbox"/>	Muro de Contención	_____
<input type="checkbox"/>	Tanque de almacenamiento	_____
<input type="checkbox"/>	Plataforma Petrolera.	_____
<input type="checkbox"/>	Otro	_____

I.2 Fecha de Construcción: _____ **Epoca del año:** _____

I.3 Uso de la Estructura: _____

I.4 Croquis de Ubicación.

Coordenadas de fachada, orientación, dirección del viento y medio de exposición.

II. DATOS PARTICULARES DE LA ESTRUCTURA.

II.1 Propiedades de los Materiales

Tipo y Clase de Cemento: _____ Tipo de agua: _____

Naturaleza de los áridos: Grava: _____ Arena: _____

II.2 Diseño del Concreto.

Resistencia característica a la compresión ($f'c$): _____

Dosificación cemento: _____ Dosificación de agregados: _____

Relación agua/cemento: _____ Tipo y uso de aditivos: _____

II.3 Elaboración del Concreto.

<input type="checkbox"/>	En obra	<input type="checkbox"/>	Concreto reforzado	<input type="checkbox"/>	Postensado.
<input type="checkbox"/>	Prefabricado	<input type="checkbox"/>	Pretensado	<input type="checkbox"/>	Otros

Tecnología de fabricación en obra: _____

Método de compactación: _____

Método de curado: _____



INSPECCION PRELIMINAR PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO EXISTENTES	
NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:	_____
UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA:	_____
RESPONSABLE DE INSPECCION:	_____ FECHA: _____
FORMATO No. 1	NORMA: ANTEPROYECTO N-CSV-CAR-1-03-001/07
FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA. 2/2	

III. HISTORIAL DE LA VIDA DE LA ESTRUCTURA.

III.1 Fecha de puesta en servicio: _____

III.2 Resistencia a la compresión del Concreto a la fecha de construcción: _____

III.3 Anomalías observadas durante la construcción: _____

III.4 Anomalías anteriormente detectadas:

III.5 Ensayos y mantenimiento.

Resultados de la prueba de carga: _____

Inspecciones rutinarias: _____

Ensayos Particulares: _____

Tipos de mantenimiento: _____

III.6 Reparaciones.

IV. INFORMACIÓN ADICIONAL.

Fecha: _____ Elaborado por. _____

Nombre de la Institución: _____



INSPECCION PRELIMINAR PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO EXISTENTES			
NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:		_____	
UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA:		_____	
RESPONSABLE DE INSPECCION:		_____	
FORMATO No. 2		NORMA:	ANTEPROYECTO N.CSV.CAR.1-03-001/07
FICHA DE DESCRIPCION DEL MEDIO			
I. AGENTES FÍSICO. QUÍMICO EN CONTACTO CON LA ESTRUCTURA.			
<input type="checkbox"/> Atmósfera	<input type="checkbox"/> Agua	<input type="checkbox"/> Suelo	<input type="checkbox"/> Otro medio
<input type="checkbox"/> rural <input type="checkbox"/> urbana <input type="checkbox"/> marina <input type="checkbox"/> industrial	<input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> dulce <input type="checkbox"/> salobre <input type="checkbox"/> doméstica <input type="checkbox"/> potable <input type="checkbox"/> residual <input type="checkbox"/> industrial	<input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> relleno	<input type="checkbox"/> Alta Temperatura <input type="checkbox"/> Agentes Químicos <input type="checkbox"/> Corrientes de Interferencia <input type="checkbox"/> Atmósfera Específica.
II. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL MEDIO.			
<input type="checkbox"/> Atmósfera*	<input type="checkbox"/> Agua	<input type="checkbox"/> Suelo	
<input type="checkbox"/> humedad relativa: _____ <input type="checkbox"/> temperatura: _____ <input type="checkbox"/> régimen de vientos: _____	<input type="checkbox"/> cloruros: _____ <input type="checkbox"/> sulfatos: _____ <input type="checkbox"/> ph: _____ <input type="checkbox"/> temperatura: _____	<input type="checkbox"/> Cloruros: _____ <input type="checkbox"/> Sulfatos: _____ <input type="checkbox"/> ph: _____ <input type="checkbox"/> Potencial Redox: _____ <input type="checkbox"/> Resistividad Eléctrica: _____ <input type="checkbox"/> Humedad: _____ <input type="checkbox"/> Nivel Freático: _____	
ANOTE AQUÍ CUALQUIER OTRO COMENTARIO QUE CREA CONVENIENTE DEL MEDIO			
<i>* Si es posible, obtener datos meteorológicos y promedio.</i>			



INSPECCION PRELIMINAR PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO EXISTENTES	
NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:	_____
UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA:	_____
RESPONSABLE DE INSPECCION:	_____ FECHA: _____
FORMATO No. 3	NORMA: ANTEPROYECTO N.CSV-CAR-1-03-001/07

INSPECCION VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA 1/2

Tipo de Estructura: _____ Edad: _____
 Ubicación: _____ Ambiente: _____
 Orientación: _____ Fecha de inspección: _____

a) Tipificación de daños y localización en la estructura.

(Para nomenclatura de daños generales ver Tabla II.1)
 Croquis de la estructura con levantamiento de daños generales

b) Registro Fotográfico



INSPECCION PRELIMINAR PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO EXISTENTES		
NOMBRE DE LA ESTRUCTURA:	_____	
UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA:	_____	
RESPONSABLE DE INSPECCION:	_____	FECHA: _____
FORMATO No. 3	NORMA:	ANTEPROYECTO N-CSV-CAR-1-03-001/07

INSPECCION VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA 2/2

c) Extensión y gravedad de los daños:














d) Ensayos mínimos a realizar:

ENSAYO	RESULTADOS
Determinación de cloruros o sulfatos	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
Profundidad de Carbonatación	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
Espesor del Recubrimiento	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

e) Prediagnóstico:



TABLA 1. INSPECCION VISUAL - CLASIFICACIÓN SIMPLIFICADA DE DAÑOS.

LEYENDAS	CODIGO	DAÑO	DESCRIPCIÓN	CAUSA	OBSERVACIONES DURANTE LA INSPECCION
	A1	GRIETAS O FISURAS	ROTURA DEL HORMIGON, SUPERFICIAL O PROFUNDA	SOBRECARGAS, CONTRACCION, CORROSION	DIRECCION, ANCHO, LONGITUD Y PROFUNDIDAD
	A2	RED DE GRIETAS	GRIETAS ESTRECHAS Y CORTAS FORMANDO UNA RED	CAMBIO DIFERENCIAL DE VOLUMEN DE HORMIGON SUPERFICIAL A INTERNO	ANCHO DE GRIETAS, TAMAÑO DE RED Y SUPERFICIE AFECTADA.
	B1	GEL DE EXUDACION	GEL VISCOSO SALIENDO A TRAVES DE LOS POROS DEL HORMIGON	REACCION ALCALI-AGREGADO	SUPERFICIE AFECTADA, CANTIDAD DE DEPOSITO
	B2	EFLORESCENCIA	COSTRA BLANCA EN LA SUPERFICIE DEL HORMIGON	LIXIVIACION DE HIDROXIDOS CON O SIN FORMACION DE CARBONATOS	SUPERFICIE AFECTADA, CANTIDAD DE DEPOSITO
	B3	MANCHAS DE OXIDO	MANCHAS DE COLOR MARRON-ROJIZO	CORROSION DE LA ARMADURA, DEL ALAMBRE DE AMARRE	LOCALIZACION, INTENSIDAD, POSIBLE DAÑO ASOCIADO
	B4	MANCHAS DE HUMEDAD	ZONA SUPERFICIAL DEL HORMIGON CON INDICIOS DE HUMEDAD	ESCURRIMIENTOS EXTERNO O INTERNO, CONDESACION	SUPERFICIE AFECTADA.
	C1	PROTUBERANCIAS ("POP-OUT")	DAÑO LOCALIZADO SUPERFICIAL	DESARROLLO DE UNA PRESION INTERNA LOCAL O EXPANSION DE PARTICULAS DE AGREGADOS	LOCALIZACION, PROFUNDA.
	C2	CONCRETO FOFO	SONIDO HUECO AL GOLPE DEL MARTILLO	CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO	SUPERFICIE AFECTADA, GRIETAS ASOCIADAS.
	C3	DELAMINACION	FRAGMENTOS DE HORMIGON SEPARADOS DE LA MASA	PRESION INTERNA POR CORROSION DE LA ARMADURA O POR UNA FUERZA EXTERNA APLICADA	SUPERFICIE AFECTADA, PROFUNDIDAD
	C4	INTEMPERISMO	DESGASTE DE LA SUPERFICIE DEL HORMIGON, LAVADO DE LA PASTA DE CEMENTO.	ACCION DEL MEDIO AMBIENTE QUE PRODUCE DESGASTE EN LA SUPERFICIE	SUPERFICIE AFECTADA, PROFUNDIDAD
	D2	NIDOS DE ABEJA (CONGREJERAS)	VACIO ENTRE LOS AGREGADOS GRUESOS	FALTA DE HOMOGENEIDAD DURANTE EL VACIADO DEL CONCRETO	SUPERFICIE AFECTADA, PROFUNDIDAD, INTENSIDAD
	E1	JUNTAS DE CONSTRUCCION	DEMARCACION EN LA SUPERFICIE DEL HORMIGON, POROSA O NO.	JUNTA ENTRE DOS COLADOS	LOCALIZACION Y POSIBLE DAÑO ASOCIADO.
	E2	JUNTAS DE DILATACION	LINEA FORMADA POR LA UNION DE DOS PLANOS DE HORMIGON	ESPACIO DEJADO PARA PEQUEÑOS MOVIMIENTOS ROTATORIOS	ABERTURA, OBSTRUCCION Y CUALQUIER ASOCIADO A SU DEFECTO.

OBSERVACION: Para cualquier daño reportado se deberá evaluar además el grado de deterioro del acero de refuerzo si está a la vista, estimando la pérdida de diámetro del refuerzo y el recubrimiento. En el caso de cabillas salientes de la superficie del concreto sin daños aparentes en éste, se deberá además cuantificar el número de puntos.

ANTEPROYECTO N-CSV·CAR·1·03·002/07

LIBRO:	CSV. CONSERVACIÓN.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	1. Evaluación.
TÍTULO:	03. Puentes y Estructuras.
CAPÍTULO:	002. Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.

A. CONTENIDO.

Esta norma contiene los aspectos por considerar en la Inspección Detallada de las estructuras o elementos de concreto hidráulico que formen parte de la infraestructura de cualquier modo de transporte (carretero, portuario, aeroportuario y férreo) del país.

B. DEFINICIÓN.

Partiendo del prediagnóstico de la Inspección Preliminar y por necesidad, la Inspección Detallada permite obtener una evaluación más completa de la problemática en la estructura, mediante la aplicación de pruebas al concreto hidráulico así como al acero de refuerzo que componen los elementos de la estructura a evaluar.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Ejecución de Obras	N·LEG·3/05
Ejecución de Supervisión de Obras	N·LEG·4/05
Ejecución de Proyectos de Señalamiento y Dispositivos Para protección de Obras de Conservación.....	N·PRY·CAR·10·03·001/01
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1·03·001/07

D. EJECUCIÓN.

Posterior y en base al prediagnóstico obtenido por medio de la norma N-CSV·CAR·1·03·001/07, Inspección Preliminar, se realizará la ejecución de la Inspección Detallada, la cual necesitará de la aplicación de un Plan de Trabajo para posteriormente aplicar los ensayos mínimos de la Inspección Detallada para poder realizar el diagnóstico final del elemento o de la estructura que se esta evaluando.

D.1. PLAN DE TRABAJO.

Estará compuesto principalmente por los datos que condujeron al prediagnóstico de la estructura, y estará compuesta por el plan de muestreo, la selección de las zonas de ensayo y medición, así como de los materiales y equipos a utilizar.

D.1.1. Plan de Muestreo.

Hacer una división de la estructura en zonas, clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, que sean representativas dentro del conjunto de la estructura. Después serán identificados los puntos de muestreo con cada una de estas zonas, de manera que la evaluación considere y enmarque cada situación particular.

La clasificación de las zonas debe estar basada en los objetivos de la inspección y orientada a facilitar la determinación de las causas que han originado los daños por corrosión en las aceros de refuerzos. Se sugiere los siguientes criterios básicos:

- Diferenciar las zonas con distintas exigencias estructurales.
- Identificar las características originales (al ser puesto en obra) del concreto.
- Diferenciar las zonas sometidas a distinto medio ambiente, (marino, industrial, etc)
- Establecer grados de deterioro en el concreto y en el acero de refuerzo.

Para el plan de muestreo se deberá de utilizar las siguientes definiciones:

- **Elemento:** Parte de la estructura sometida a una sollicitación estructural específica, tal es el caso de pilas, pilotes, muros, vigas, trabes, losas, etc.
- **Lote:** Conjunto de elementos fabricados con las mismas características y en las mismas condiciones de daño.
- **Muestra:** Conjunto de testigos extraídos ó mediciones realizadas en los elementos de la estructura, que se consideran representativos del lote. El tamaño de la muestra, dependerá de las dimensiones del elemento, de su accesibilidad y de la magnitud del problema.

La división de la estructura en base al grado de deterioro de las diferentes zonas estará soportada por los resultados del examen visual y de los ensayos previos eventualmente realizados. Los croquis y/o planos de la estructura elaborados para el levantamiento de daños deben resumir esquemáticamente y de manera simple y clara los criterios de identificación aplicados y, lo mismo que en las tablas de tipificación de daños, deberá utilizarse términos normalizados que describan exactamente la situación existente.

D.1.2. Selección de Técnicas y Zonas de Ensayo, Medición y Análisis.

Realizada la división de la estructura según los criterios arriba mencionados debe estimarse en esta etapa, qué tipo de ensayos, mediciones y/o análisis deberán ser llevados a cabo en la inspección detallada, dónde y cuántos puntos de muestreo serán realizados. Identificación de la accesibilidad de las zonas de ensayo y condiciones ambientales para la aplicación de los ensayos necesarios.

D.1.3. Planificación de Materiales y Equipo.

En base a los resultados de las actividades expuestas en el punto D.2. Examen Visual General de la Estructura, de la Norma N·CSV·CAR·1·03·001/07, Inspección Preliminar, Formato 3, se deberán tomar las previsiones en cuanto a la disposición de los equipos, materiales y reactivos a utilizar (calibración, preparación de soluciones, etc.) durante la inspección detallada.

Se reitera la necesidad de realizar un registro fotográfico extenso y tomar en cuenta que eventualmente sea necesario el uso de binoculares ó de una cámara de vídeo para el correcto registro de la información del Plan de Trabajo.

D.2. INSPECCION DETALLADA.

El Examen Visual Detallado debe considerar la inspección minuciosa, tanto del concreto y/o acabados, como del estado del acero de refuerzo. La inspección debe abarcar todos y cada uno de los elementos, registrándose las anomalías observadas, conforme las leyendas descritas en la Tabla 1, de la Norma N·CSV·CAR·1-03-001/07, Inspección Preliminar. La inspección debe considerar la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, extensión) y la morfología del ataque (uniforme ó localizado, profundidad y extensión n de picaduras, etc.).

La realización de ensayos y mediciones en el concreto y en el acero de refuerzo, así como la extracción de muestras a ser analizadas en laboratorio, se puede llevar a cabo durante el examen visual detallado.

D.2.1. Ensayos de Inspección Detallada para la Evaluación del Concreto.

Como ya ha sido señalado, una parte muy importante de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión del acero de refuerzo y su propagación, se obtiene realizando apropiados ensayos sobre el concreto y el acero de refuerzo de la estructura.

Los ensayos mínimos a realizar son los comentados a continuación:

- **Extracción de Testigos.** Muestras que van a ser utilizados en la realización de los ensayos, los tipos de testigos que pueden ser extraídos son, núcleos, porciones de material en polvo y porciones de concreto.
- **Resistencia a la Compresión.** Determinar la resistencia a la compresión del concreto de la estructura a través de la extracción de testigos de concreto.
- **Profundidad de Carbonatación.** Determinar el avance de la carbonatación en el concreto por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido-base. La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12,0 -14,0) del concreto por efecto del CO₂ que se difunde desde el ambiente que lo rodea.
- **Resistividad Eléctrica.** Es una característica eléctrica del concreto que mide la capacidad para oponerse al flujo de una corriente eléctrica y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm ú ohm-m.
- **Ultrasonido, ó Velocidad de Propagación de Onda.** Este ensayo no destructivo tiene como principales objetivos, verificar la homogeneidad del concreto, detectar las fallas internas producidas durante la fabricación, determinar la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones, además de monitorear las variaciones de las propiedades del concreto a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio que lo rodea.
- **Esclerometría.** El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del concreto, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido.
- **Concentración de Cloruros.** El objetivo de este ensayo es la determinación de la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa de concreto a diferentes niveles de profundidad, resultados que permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo.
- **Porosidad.** Determinar la absorción capilar y la porosidad de morteros y concretos como una medida de su compacidad.

D.2.2. Ensayos de Inspección Detallada para la Evaluación del Acero de Refuerzo.

Además de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión de las armaduras y su propagación, se necesitan realizar los siguientes ensayos mínimos al acero de refuerzo que esta en el interior del elemento o estructura de concreto a evaluar.

Los ensayos mínimos a realizar son los comentados a continuación:

- **Localización, Profundidad y Diámetro del Acero de Refuerzo.** Definir la ubicación de la acero de refuerzo embebido en un elemento de concreto y determinar el espesor del recubrimiento o capa de protección de éste desde la cara exterior del elemento.
- **La Medición de Potenciales.** Medir el potencial de la acero de refuerzo del concreto mediante el uso de electrodos de referencia.
- **La Medición de la Velocidad de Corrosión.** Determinar la velocidad a la cual el acero de refuerzo pierde sección, por corrosión de la misma.

En la Tabla 1 de esta norma, se resume la información de las técnicas más comunes, ventajas y limitaciones de los ensayos mínimos a realizar

Tabla. 1. Ensayos más comunes en la evaluación de corrosión del acero de refuerzo.

ENSAYO	CAPACIDAD DE DETECCIÓN	APLICACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
Medición de Resistividad.	Cualitativa.	Problemas por presencia de Cr.	Permite preseleccionar áreas con potencialidad corrosiva. Medida rápida.	Interpretación compleja de los resultados. Disponibilidad de equipo de Medida Concreto carbonatado
Medición de Potenciales.	Cualitativa.	Cualquier Estructura.	Permite preseleccionar áreas con potencialidad corrosiva. Medida rápida.	Interpretación compleja de los resultados.
Medición de velocidad de corrosión.	Cuantitativa.	Cualquier Estructura.	Permite, una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección de la acero de refuerzo.	Interpretación. Disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación de la caída óhmica (IR).
Medición de Resistencia a la compresión y volumen de vacíos.	Cuantitativa.	Cualquier Estructura.	En conjunto con volumen de vacíos ó relación agua/cemento ó contenido de cemento, evalúa calidad del concreto.	Ensayo Destructivo.
Definición de Profundidad de Carbonatación.	Cuantitativa.	Estructuras con concreto de calidad de baja a mala.	Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar la acero de refuerzo	Ensayo Destructivo.
Perfil de cloruros.	Cuantitativa.	Cualquier Estructura.	Permite determinar la calidad del concreto y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo.	Ensayo Destructivo. Interpretación compleja, apoyo estadístico.

E. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Guide for evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation. ACI materials Journal.1993.....	ACI Committee 364
Recommendation for Damage Classification of Concrete Structure. Materials and Structures. 1994.....	RILEM Draft.
Manual para Reparo, Reforço e Proteção de estruturas de Hormigón. "da Ed. São Paulo, PINI 1992.....	Helene, P.

ANTEPROYECTO M·MMP·2·02·0X1/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X1. Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.

A. CONTENIDO.

Este manual describe los procedimientos para la obtención de testigos de concreto hidráulico a que se refiere la Norma N·CSV·CAR·1·03·002/07 Inspección Detallada, a fin de ser usados en la realización de ensayos de laboratorio para la determinación de los parámetros fijados en dicha Norma.

B. DEFINICIÓN.

La obtención de testigos, consiste en obtener una porción representativa del concreto con el que se construyó cualquier elemento que forme parte de la infraestructura de los modos de transporte (carretero, portuario, aeroportuario y férreo), además incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de los testigos.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1·03·001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1·03·002/07

D. EQUIPO.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear será de primera calidad y estará en óptimas condiciones para su uso, limpio, completo en todas sus piezas y sin desgaste.

El equipo general necesario para la realización de toma de testigos de cualquier tipo consta de:

- Recipientes y/o bolsas rígidas, herméticas, que impidan la filtración de luz, con un tamaño suficiente para contener la muestra, fabricados de un material no absorbente para evitar cambios de humedad en la muestra.
- Extractora de núcleos ó corazones, con broca para concreto de preferencia con tornillos niveladores y/o bomba de vacíos para sujeción del equipo al elemento a muestrear.
- Marro ó martillo de 30,0 cm de largo y 1,36 kg (3,0 libras) de peso; puede ser de bola, de ladrillero o de uña, de preferencia con mango de neopreno para evitar se resbale por el sudor de las manos.

- Cincel de corte en frío de 20,0 cm ó 30,0 cm de longitud, con un diámetro de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ " de preferencia con protección de polipropileno de alto impacto para la seguridad de la mano.
- Taladro rotomartillo manual y brocas para concreto.
- Cepillo de cerdas de metal y brochas, para limpieza de la superficie a examinar
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. TOMA DE TESTIGOS.

Se deben definir los sitios y los tipos de testigos a retirar de la estructura, los cuales van a ser utilizados en la realización de los ensayos. La elección del tipo de testigo a extraer estará condicionada principalmente por el ensayo a que se destina el mismo, pero también a la mayor o menor accesibilidad de los equipos al sitio donde será tomado este testigo.

Conviene también referir que una buena regla de trabajo, consiste en reparar los sitios donde se extrajeron los testigos utilizando un mortero de reparación con baja retracción, evitando daños posteriores al elemento examinado.

Los tipos de testigos más comunes que pueden ser extraídos son:

- Núcleos.
- Porciones de concreto.
- Porciones de material en polvo.

E.1. NÚCLEOS.

La extracción de núcleos debe ser efectuada con un equipo adecuado, de ser posible use un equipo que posea fijación por vacío, que facilita y reduce el tiempo de extracción de núcleos, todas las muestras deberán ser tomadas perpendicularmente a la superficie del elemento a investigar. Las dimensiones de los testigos tipo núcleo dependen del tipo de ensayo a que se destine y se deberán tener en cuenta las dimensiones máximas del agregado grueso, recomendándose una relación de 3:1, el diámetro del núcleo, será tres veces el tamaño máximo promedio del agregado.

La exigencia dimensional es más importante si se pretende efectuar ensayos de resistencia a la compresión, permeabilidad ó absorción del agua. Si los testigos se destinan a ensayos químicos (tales como determinación de cloruros o carbonatación) puede optarse por la extracción de muestras de menor dimensión. Esta decisión tiene ventajas en zonas donde la extracción de los testigos es de difícil acceso o en zonas de gran densidad de acero de refuerzo.

La extracción de testigos destinados a la determinación de cloruros se debe hacer utilizando un flujo reducido de agua para enfriamiento del equipo, el agua a utilizar no deberá estar contaminada con cloruros (agua de mar). De ser posible, impermeabilice con una tinta ó cera que no contenga cloruros, la superficie del concreto en la zona donde van a ser extraídos los testigos.

E.2 PORCIONES DE CONCRETO.

La extracción y recolección de porciones de concreto se hará por medio de un cincel y un martillo, técnica fácil que puede ser utilizada particularmente en los casos en que la estructura muestre zonas de delaminación de concreto. Esta técnica de toma de testigos no provoca daños adicionales en la estructura, pero afecta su aspecto.

El tamaño de la porción de concreto dependerá de la prueba a realizar; por lo que el personal que realice el muestreo deberá saber el destino o prueba por aplicar a la porción de concreto, para determinar su tamaño.

Este tipo de testigo (no aconsejado para análisis químicos) puede ser utilizado posteriormente en el laboratorio para la preparación de probetas a ser utilizadas en la realización de diversos ensayos como son: resistividad eléctrica y carbonatación.

E.2 PORCIONES DE MATERIAL EN POLVO.

La extracción de material en polvo podrá ser efectuada utilizando un taladro que disponga de una guía para la medición de profundidad de perforación. El diámetro de la broca debe ser escogido teniendo en cuenta la dimensión del agregado grueso. Una dimensión común para la broca es de 14,0 mm (1/2") de diámetro.

El número de orificios a efectuar para la recolección del polvo del material deberá asegurar que la cantidad de éste, retirado de cada profundidad sea por lo menos 20,0 g; siempre que se cambie de zona de extracción, debe precederse a limpiar todo el equipo, preparar el sistema de recolección de la muestra, y en determinadas situaciones, cambiar la broca por otra de menor diámetro. Si material en polvo obtenido de cada profundidad debe ser guardado en una bolsa de plástico u otro recipiente bien sellado e identificado.

F. ENVASE, IDENTIFICACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

Las muestras obtenidas, ya sean parciales o integrales, se deben envasar identificar, transportar y almacenar, tomando en cuenta lo siguiente:

F.1. ENVASE.

Las muestras se envasarán en los recipientes que se refieren en la Fracción D de este Manual, perfectamente limpios y secos; durante el envase se tendrán las siguientes precauciones:

- Tener especial cuidado en que las muestras no se contaminen con polvo u otras partículas extrañas.
- Cuidar que los recipientes o bolsas queden perfectamente tapados o cerrados, con el objeto de evitar pérdidas o alteración de su contenido.

F.2. IDENTIFICACIÓN.

Las muestras se identificarán por medio de etiquetas que se fijan a los envases, además de realizar estas anotaciones en una libreta de campo; se deberán de anotar los siguientes datos claramente escritos:

- Nombre, tipo y ubicación de la obra.
- Tipo y número de la muestra.
- Zona de muestreo, elemento de donde se toma la muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Procedimiento de extracción de la muestra.
- En su caso, mencionar el tipo de prueba a realizar de cada testigo.
- Observaciones generales.

F.3. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

Para realizar el transporte de las muestras correctamente envasadas, del sitio de su obtención al laboratorio donde se realizará su análisis, se acomodan de preferencia en una caja de madera, que tenga en su interior espuma de poliestireno, ó se acomodarán dentro del vehículo, de manera que no se golpeen ó dañen; una vez recibidas en el laboratorio, se registrarán asignando un número de ensaye o identificación a cada una para su estudio posterior.

Las muestras se almacenarán en el laboratorio dentro de una bodega techada y cerrada para evitar la acción directa de radiación solar; limpia y seca para evitar existan grandes variaciones térmicas ó humedad; a una altura mínima del suelo de 15,0 cm, sobre tarimas de madera o metálicas, en todo momento evitando que las muestras sufran caídas o se confundan con otras muestras.

G. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concret.....	AASHTO No. T24-02.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR" 3ª Ed. Agosto 2000.
Testing Concrete. Cored Specimens Taking, Examining and Testing in Compression.....	BS EN 12504-1:2000
Standard test method for Obtaining and Testing Drilled cores and Sawed Beams of Concret.....	ASTM C 42/C 42M-99.
Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.....	NMX-C-169-1997-ONNCCE.

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X2/07

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.**

TEMA: **CAR. Carreteras.**

PARTE: **2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.**

TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico.

CAPÍTULO: 0X2. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto Hidráulico.

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión en un concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07 Inspección Detallada; a través de la extracción de testigos de concreto hidráulico con taladros de diámetro adecuado.

B. DEFINICIÓN.

La resistencia a la compresión del concreto corresponde a la tensión máxima (de ruptura general) de compresión axial, que puede soportar un testigo cilíndrico de diámetro igual o superior a tres (3,0) veces el tamaño máximo nominal del agregado (T.M.A.). La relación entre la altura (h) y el diámetro (ϕ) del testigo deberá ser $h/\phi = 2,0$ y nunca será $h/\phi < 1,0$. Los testigos deberán de ser extraídos de lugares estratégicos de los elementos de la estructura, preparados, y probados en condiciones normales e idóneas de laboratorio.

La resistencia a la compresión del concreto puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la resistencia a la compresión en testigos de concreto hidráulico, se necesitará el siguiente equipo.

- Equipo que permita la extracción del testigo o núcleo de concreto. Extractora de núcleos, con broca de diamante y sistema de enfriamiento por agua.
- Disco de corte para uniformizar los extremos de los testigos de concreto hidráulico.

- Pacómetro u otro equipo capaz de ubicar la posición del acero de refuerzo en el elemento estructural.
- Prensa para ensayo de compresión axial que cumpla con los requisitos de la Norma ASTM E-4. Verificación de carga en equipos mecánicos de compresión axial.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. OBSERVACIONES SOBRE LOS TESTIGOS O NÚCLEOS A USAR.

E.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS LOTES A SER ENSAYADOS.

La identificación de los testigos es de carácter importante y se regirá por los siguientes puntos:

- Se deben elegir zonas representativas de los componentes y elementos estructurales, en columnas y muros no se recomienda mezclar testigos extraídos del primer tercio (hasta un metro de altura) con testigos de otros dos tercios.
- Testigos representativos de losas y vigas no pueden ser representativos del concreto de los pilotes, los lotes bajo análisis deben de ser compuestos de trozos equivalentes de elementos estructurales compatibles y similares.
- Se recomienda que el lote de concreto a ser evaluado cumpla con la premisa de ser homogéneo, tener la misma proporción en los materiales, ser mezclado con los mismos materiales, tener la misma consistencia en estado fresco y haber sido sometido a los mismos procedimientos de colocación, fraguado y curado.

E.2. CUIDADOS DURANTE LA EXTRACCIÓN DE LOS NÚCLEOS.

Los cuidados necesarios para la extracción de los testigos o núcleos serán los siguientes:

- Localizar previo a la extracción, la ubicación del acero de refuerzo, para evitar cortar ó extraer el acero de refuerzo dentro del elemento de concreto reforzado.
- Apuntalar los elementos estructurales antes de la extracción de los testigos, según sea la recomendación del Ingeniero Estructural.
- Llenar los agujeros dejados al extraer los testigos, con concreto, mortero autonivelante o mortero de resistencia compatible con la resistencia del concreto original. El material de relleno debe tener retracción compensada, su módulo de elasticidad debe ser igual o superior al del concreto original y debe tener excelente adherencia con el concreto original.
- No considerar para prueba, los testigos que presenten fallas o grietas, esto es, todos los testigos para poder evaluar su resistencia a la compresión deben de ser íntegros.

E.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA.

El tamaño de la muestra es la referencia del número de núcleos que se deberán de tomar para hacer representativo los resultados del ensayo de un elemento específico, y se basará en los siguientes puntos:

- Para cada lote bajo estudio se elegirá una muestra representativa.

- El número mínimo de núcleos para constituir una muestra representativa es del orden de tres para núcleos de diámetro igual o superior a 10,0 cm.
- Para núcleos de diámetro inferior a 10,0 cm, se deberá de obtener por lo menos una muestra de tres núcleos, de preferencia obtener cinco núcleos.
- En casos excepcionales de análisis de un pequeño lote, puede admitirse una muestra con apenas tres testigos.

E.4. DIMENSIONES DE LOS NÚCLEOS.

En cuanto a las dimensiones que deberán de tener los núcleos de concreto, éstas se basarán en lo siguiente:

- Siempre que sea posible los testigos deberán guardar la relación altura–diámetro igual a 2,0; pueden aceptarse testigos con relación de esbeltez $\geq 1,0$; pero no mayor de dos 2,1.
- No son admitidos testigos con alturas (longitud) inferior a su diámetro.

F. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- F.1.** Cortar con disco de corte los topes de los testigos de para obtener una superficie perfectamente plana y ortogonal a la generatriz del cilindro. Eso puede, excepcionalmente ser obtenido por un fuerte desbaste de lija de la superficie. Luego deberá revisar que su cara sea totalmente plana.
- F.2.** Los testigos representativos de lotes húmedos (estructuras bajo el agua, tanques, etc) deben ser probados en estado húmedo. Los provenientes de estructuras al aire pueden ser probados secos, en equilibrio con las condiciones del ambiente del laboratorio.
- F.3.** Se coloca el testigo en la prensa de carga, se determina la tensión directa del valor obtenido de la prensa, dividido entre el área del testigo. La resistencia a la compresión del concreto f'_c , depende de la dimensión del testigo y deberá de aplicarse una modificación en base a su relación de esbeltez, el factor a aplicar será el marcado en la Tabla 1 de este manual.

Tabla 1.- Factores de corrección por esbeltez.

Relación Altura/ Diámetro del espécimen.	Factor de corrección aplicado a la Tensión Directa.
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,90
1,00	0,89

F.4. CALCULOS Y RESULTADOS.

F.4.1. La resistencia característica estimada del concreto a la compresión deberá ser calculada por:

$$f_{ck,est} \geq \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n \bullet 0,90} \quad \text{ó} \quad f_{ck,est} \geq \frac{f_{c1}}{0,80}$$

Donde:

- $f_{ck,est}$ = Resistencia característica estimada del concreto a la edad del ensayo, en MPa con aproximación a dos décimas.
- f_{ci} = Resistencia a la compresión de cada testigo de la muestra, en MPa con aproximación a dos décimas.
- f_{cl} = Mínima resistencia a la compresión entre los testigos de la muestra, en MPa con aproximación a dos décimas.
- n = Número total de testigos de una muestra, o tamaño de la muestra.

F.4.2. Registre los datos y resultados en el formato correspondiente.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

- G.1.** Con bases en el diseño estructural: $f_{ck,est}$ debe ser mayor o igual a la resistencia a la compresión característica del concreto, especificada en el diseño estructural, o sea, $f_{ck,est} \geq f_{ck}$.
- G.2.** En base a la durabilidad: El valor de la resistencia mecánica, por sí sólo, no es indicativo de la durabilidad del concreto, ya que dependerá de varios factores entre los cuales se puede mencionar: la relación a/c, la dosificación, el tipo de cemento, el espesor de recubrimiento de la acero de refuerzo, etc. Sin embargo, en general se acepta que concretos de elevada resistencia (>45,0 MPa) son durables y que concretos por debajo de 20,0 MPa son de baja durabilidad.

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Standard test method for Obtaining and Testing Drilled cores and Sawed Beams of Concret.....	ASTM C 42/C 42M-99.
Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concret.....	AASHTO No. T24-02.
Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.....	NMX-C-169-1997-ONNCCE.
Ensaio de compressão o de corpos de prova cilíndricos de concreto. Método de ensaio. Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT) 1980.....	NBR 5739.

ANTEPROYECTO M-MMP-2-02-0X3/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X3. Determinación de la Profundidad de Carbonatación en Concreto Hidráulico.

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para determinar la profundidad de carbonatación ó el avance de la carbonatación, en un concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N·CSV·CAR·1-03-002/07, Inspección Detallada, por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido-base.

B. DEFINICIÓN.

La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12,0 - 14,0) del concreto hidráulico por efecto del Dióxido de carbono CO₂ que se difunde desde el ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el CO₂ reacciona con los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonates disminuyendo el pH por debajo de 10,0.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N·CSV·CAR·1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M·MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la profundidad de carbonatación en un concreto hidráulico, se necesitará lo siguiente:

- Vernier o pie de Rey, con aproximación al milímetro.
- Equipo necesario para lo toma de testigos tipo núcleo de concreto.
- Material para limpieza superficial de las muestras, brochas, trapos secos, etc.
- Solución indicadora ácido-base: fenolftaleína (1,0 g fenolftaleína más 49,0 g de alcohol más 50,0 g de agua); timolftaleína (1,0 g timolftaleína más 99,0 g de agua), en un atomizador de plástico.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.

- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

E.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS O ZONAS DE PRUEBA.

- E.1.1.** Después de haber extraído los testigos tipo núcleo, se hará un corte transversal al testigo, con referencia a la cara exterior del elemento por estudiar, un extremo del testigo, corresponderá a la superficie expuesta a la atmósfera, mientras que el otro extremo corresponderá a la parte interna del elemento.
- E.1.2.** En el caso de no poder extraer un testigo tipo núcleo, se podrá usar una porción de concreto para determinar la profundidad de carbonatación, mientras ésta porción de concreto sea resultado de la extracción del núcleo.
- E.1.3.** El tiempo de exposición de la superficie por evaluar no podrá ser mayor de 15,0 minutos, (fractura fresca), por lo que se deberá tener lista la solución indicadora ácido-base, antes de realizar la preparación de las probetas testigo.
- E.1.4.** En caso de no poder extraer testigos tipo núcleo ó porciones de concreto para el análisis, se deberán realizar perforaciones con un taladro hasta la profundidad deseada, limpiando la zona de polvo o material suelto exponiendo la superficie para el análisis posterior.

E.2. APLICACIÓN DEL INDICADOR ÁCIDO-BASE.

- E.2.1.** Una vez preparada y limpia la superficie de prueba, aplique con un atomizador el indicador de ácido-base ya sea fenolftaleína o timolftaleína, en una forma uniforme sobre la superficie por evaluar, sin realizar escurrimientos de la solución.
- E.2.2.** Después de la aplicación del ácido-base y antes de transcurridos 15,0 minutos de prueba, efectúa la medición de la profundidad de la zona incolora en el concreto desde la superficie, determinándose con precisión los valores máximos y mínimos del frente incoloro. Anote las mediciones en el formato correspondiente.
- E.2.3.** El tiempo de duración de la prueba en ningún caso deberá ser mayor de 20,0 minutos, no importando el tipo de testigo utilizado, es decir, núcleo, o porción de concreto.
- E.2.4.** Se deberá levantar un registro preciso de la ubicación de los testigos, tonalidad observada de la aplicación del ácido-base, profundidad de carbonatación medida e indicar explícitamente el tipo de indicador utilizado, anexar de ser posible un registro fotográfico.
- E.2.5.** Posteriormente a la realización de la prueba, en caso de aplicarse a un testigo tipo núcleo, envase e identifique dentro de un recipiente rígido y hermético, perfectamente limpio y seco, pues podrá ser usado para la aplicación de alguna prueba posterior.

E.3. CALCULOS Y RESULTADOS.

- E.3.1.** Determine la media aritmética de las mediciones de profundidad, el número de mediciones estará en función del tamaño de la probeta; el número mínimo de mediciones será de tres.
- E.3.2.** De manera visual y en función del indicador ácido-base utilizado, establezca el nivel de pH del frente incoloro de la muestra por medio de la Figura 1 de este manual.
- E.3.3.** Calculo de la velocidad de carbonatación. Uno de los modelos más sencillos que permite predecir la velocidad de carbonatación del concreto armado es el que relaciona la profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo de exposición.

Por lo que se calculará conforme la siguiente fórmula:

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \cdot \sqrt{t}$$

Donde:

X_{CO_2} = Profundidad de carbonatación, en milímetros, aproximación a una décima.

K_{CO_2} = Constante de carbonatación en mm/año^{1/2}, con aproximación a una décima.

t = Tiempo en años.

ESCALA DE pH EN ELEMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

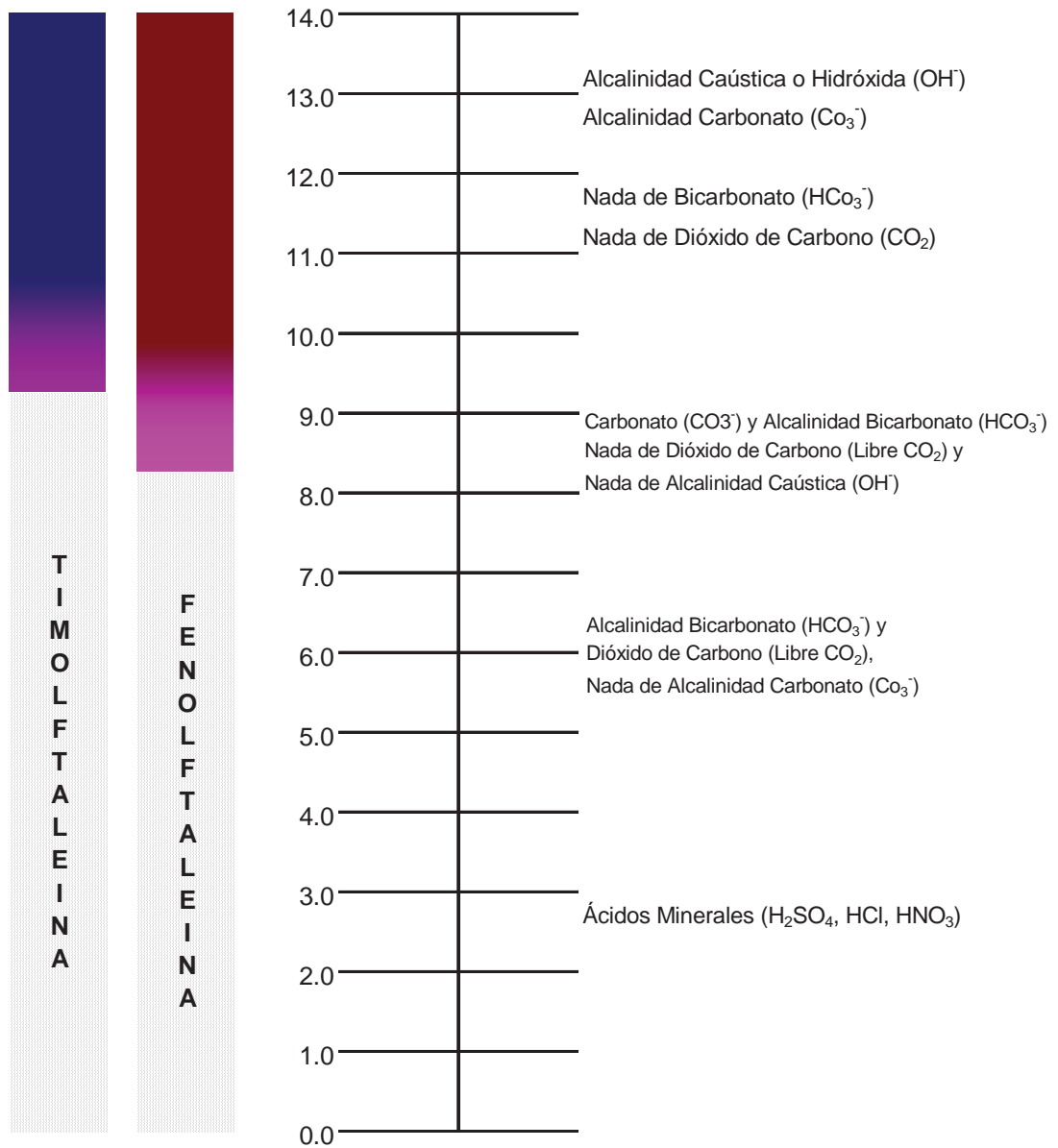


Figura 1. Escala de pH, constituyentes existentes y rango de los indicadores en concreto hidráulico.

E.3.4. Con los resultados de una determinación de profundidad de carbonatación es posible predecir la progresión de la misma y el tiempo en el cual la carbonatación alcanzará el refuerzo del concreto si se conoce la profundidad de éste; aplicando las fórmulas siguientes, derivadas de la fórmula de velocidad de carbonatación.

$$K_{CO_2} = \frac{X_{CO_2}}{\sqrt{t}}; \quad t = \left(\frac{e_c}{K_{CO_2}} \right)^2$$

Donde:

X_{CO_2} , K_{CO_2} , y t ; son las definiciones dadas en E.3.3.

e_c = Profundidad del acero de refuerzo, en milímetros, con aproximación a una décima.

Se calcula la constante K_{CO_2} de la primera determinación y el tiempo en que ocurrió la carbonatación. Se utiliza esa constante junto con la profundidad del acero de refuerzo e_c y se determina, en cuánto tiempo la carbonatación alcanzará la acero de refuerzo. La representación gráfica de estos cálculos se muestra en la Figura 2 siguiente:

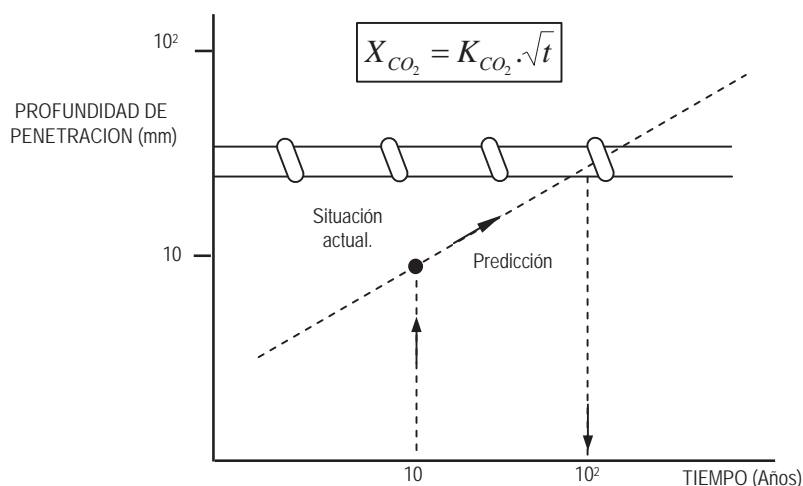


Figura 2. Determinación del tiempo necesario para que la Carbonatación alcance al acero de refuerzo.

Este modelo no debe ser aplicado directamente a estructuras con menos de 3 años de vida, en cuyo caso se recomiendan dos ó más medidas con un intervalo mínimo de 6 meses. Siempre es recomendable hacer más de una evaluación para aumentar la certeza de la información obtenida, para poder predecir el comportamiento de la carbonatación, con un desfase de por lo menos 6 meses.

F. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

La fenolftaleína es el indicador más comúnmente utilizado y su rango de cambio de coloración está entre pH 8,2 y pH 9,8. Varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo. La timolftaleína es otro indicador que podría utilizarse, ya que su rango de cambio de coloración está entre pH 9,3 y pH 10,5 con tonalidades de incolora a azul. (Véase Figura 1)

Adicionalmente, se ha indicado que valores de K_{CO_2} de 2,0 a 3,0 mm/año^{1/2}, (en función del recubrimiento) pueden ser considerados como indicativos de elevada resistencia a la carbonatación, mientras que valores de $K_{CO_2} > 6,0$ mm/año^{1/2}, indican que el concreto es de muy baja resistencia a la carbonatación.

G. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Determinación de la Profundidad de Carbonatación en Concretos Endurecidos y Puestos en Servicio Norma española.....	UNE 112-011-94.
Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth". Materials and Structures, vol. 21, No. 126, 1988.....	Rilem CPC-18.
Carbonation of Concrete and its Prediction". Cement and Concrete Research.1987.....	Ho, D.W.S. and Lewis, R.K.

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X4/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X4. <i>Determinación de la Resistividad Eléctrica en Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe los procedimientos para la determinación de la Resistividad Eléctrica del concreto hidráulico usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada, esta determinación puede ser realizada en campo o en laboratorio.

B. DEFINICIÓN.

La Resistividad Eléctrica es una propiedad eléctrica de los materiales que mide la capacidad del material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica, y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del concreto y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa. Es función de variables tales como: el tipo de cemento, las adiciones inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, aditivos, entre otras.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

La medida de la resistividad eléctrica puede efectuarse bien sea: en laboratorio sobre testigos de concreto extraídos de la estructura o, directamente sobre la estructura en el campo. Los materiales y equipos requeridos para esta prueba son los siguientes:

- Medidor de Resistividad Eléctrica. Método de Wenner. 4 Electrodo tipo terminal.
- Vernier o pie de Rey para medición de dimensiones, con precisión de dos décimas.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.

- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PREPARACIÓN DE LOS TESTIGOS TIPO NÚCLEO.

Los testigos de concreto a usarse en laboratorio deberán cumplir con lo siguiente:

- No deben hacerse mediciones sobre testigos que contengan acero de refuerzo ó donde la superficie del concreto presente carbonatación; ya que estos dos factores provoca errores en las lecturas de medición de la resistividad.
- Dado que la medición de la resistividad es función de la humedad de la muestra, deberá verificarse que en el proceso de extracción de los núcleos, se utilice la menor cantidad de agua posible, para no alterar las condiciones "in situ" del concreto, así como resguardarlos en un lugar seguro hasta que se efectúe el ensayo.
- Verificar que las caras laterales del espécimen sean paralelas entre sí y que no presenten oquedades o discontinuidades de consideración que impidan la correcta transmisión de la corriente eléctrica a través de ellas; si es necesario corrija esto por medio de desbaste del concreto.
- Se mide el diámetro ϕ y la longitud L del espécimen, con aproximación a 1,0 mm. Las medidas serán de cuando menos dos diámetros perpendiculares entre sí y dos longitudes opuestas. Posteriormente se calcula el área geométrica del espécimen A , de cada núcleo a ensayar.

F. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Esta prueba se puede realizar en laboratorio y en campo, por lo que se explicarán los dos procedimientos de prueba.

F.1. ENSAYO EN LABORATORIO.

- F.1.1.** Después de la preparación de las muestras, procedemos al montaje del espécimen, sobre una mesa plana horizontal, tal y como lo muestra la figura siguiente:

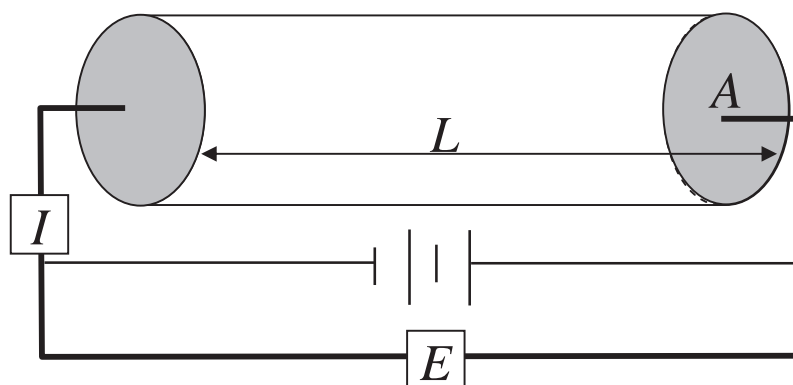


FIGURA 1.- Montaje del núcleo y sus aditamentos para prueba en laboratorio.

- F.1.2.** Colocar en las caras laterales del núcleo cilíndrico, una placa metálica de acero inoxidable, del mismo diámetro del núcleo, sostener con una prensa mecánica, de tornillo o de resorte. Se deberá colocar una esponja húmeda, entre el núcleo y la placa de acero inoxidable.
- F.1.3.** Realizar la conexión del equipo en los dos extremos de las placas de acero inoxidable, de tal manera que se asegure la correcta transmisión de la corriente a través de ellos evitando errores en la medición.

- F.1.4.** Opere el equipo de acuerdo al manual del proveedor del mismo, siga las instrucciones para la aplicación de corriente (I) y lectura de los datos ó registro del voltaje (E); realice esta operación por lo menos en tres ocasiones para comprobar los resultados.
- F.1.5.** La Resistencia Eléctrica (R_e) así como la Resistividad Eléctrica estarán dadas por las siguientes fórmulas:

$$R_e = \frac{E}{I} \quad \rho = R_e \left[\frac{A}{L} \right]$$

Donde:

R_e = Resistencia Eléctrica, en ohm, con aproximación de una décima.

E = Tensión, ó Diferencia de Potencial Eléctrico en Volt, con aproximación de una décima.

I = Corriente Aplicada, en ampere, con aproximación de una décima.

ρ = Resistividad Eléctrica, en ohm-cm ú ohm-m, con aproximación de una décima.

A = Área de la sección transversal del testigo, en cm^2 ó m^2 , aproximación a dos décimas.

L = Longitud del testigo, en cm ó m, con aproximación a dos décimas.

F.2. ENSAYO “IN SITU”, EN CAMPO.

Para realizar el ensayo de resistividad eléctrica “in situ”, se aplicará el Método de Wenner, a continuación descrito.

- F.2.1.** Después de la preparación de las muestras, procedemos al montaje del espécimen, sobre una mesa plana horizontal, tal y como lo muestra la Figura 2 siguiente:

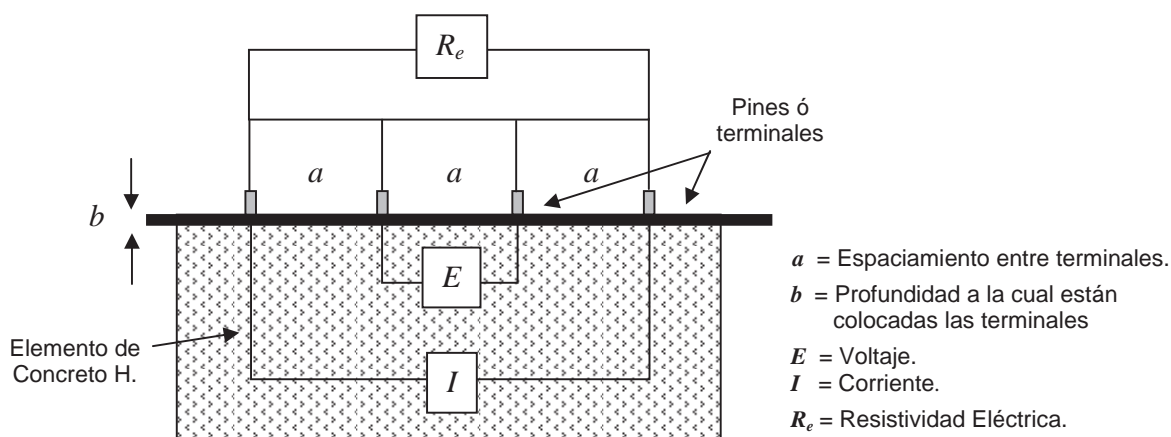


FIGURA 2.- Montaje del núcleo y sus aditamentos para prueba “in situ”, por el Método de Wenner.

- F.2.2.** Prehumedecer las puntas de las terminales para garantizar un buen contacto con el concreto hidráulico. Las cuatro terminales se colocan en línea sobre la estructura de concreto, respetando el espaciamiento “ a ” marcado en la Figura 2.
- F.2.3.** La profundidad “ b ” debe ser menor con respecto al espaciamiento “ a ”, ésta profundidad no excederá del 5,0% de la separación mínima entre los electrodos. Ejemplo, la dimensión de “ a ” puede ser del orden de 50,0 mm, mientras que la dimensión “ b ” no será mayor de 2,5 mm.

F.2.4. A través de los electrodos extremos en línea, se hace pasar una corriente (I) dada, posteriormente se mide el voltaje (E) entre los dos electrodos internos en línea, registre todos los datos en el formato correspondiente de trabajo, realice esta operación por lo menos en tres ocasiones para comprobar los resultados.

F.2.5. La Resistencia Eléctrica (R_e) así como la Resistividad Eléctrica estarán dadas por las siguientes fórmulas:

$$R_e = \frac{E}{I} \quad \rho = 2\pi a R_e$$

Donde:

R_e = Resistencia Eléctrica, en ohm, con aproximación de una décima.

E = Tensión, ó Diferencia de Potencial Eléctrico en volt, con aproximación de una décima.

I = Corriente Aplicada, en ampere, con aproximación de una décima.

ρ = Resistividad Eléctrica, en ohm-cm ú ohm-m, con aproximación de una décima.

a = Espacio entre terminales, en cm, aproximación a una décima.

G. PRECAUCIONES GENERALES DE PRUEBA.

- Es importante determinar previamente la profundidad de carbonatación del elemento por ensayar; ya que no se debe de determinar la resistividad eléctrica en elementos carbonatados porque los resultados varían de forma sustancial.
- Debe tenerse en cuenta que la resistividad es sólo uno de los parámetros que controla la velocidad de corrosión del acero de refuerzo en el concreto, por lo tanto no podrá considerarse como único criterio para definir ó prever un posible daño sobre la estructura.

H. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

No existe un acuerdo de carácter general entre los diferentes investigadores acerca del nivel límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión del acero de refuerzo puede ser considerado despreciable. Sin embargo, la práctica ha demostrado que se puede utilizar como criterio general:

$\rho > 200$ k Ω -cm	Poco riesgo de Corrosión.
$200 > \rho > 10$ k Ω -cm	Riesgo moderado de Corrosión.
$\rho < 10$ k Ω -cm	Alto Riesgo de Corrosión.

I. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
A Method for Measuring Earth Resistivity. Burea of Standards.	Wenner, F. J.12.1915
Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.....	ASTM G-57-95a. (Reapproved 2001)
Determinação da Resistividade Eléctrica Volumétrica. Associação Brasileira de Norma técnicas (ABNT).1985.....	NBR 9204.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B."DURAR".

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X5/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X5. <i>Determinación de la Velocidad de Propagación de Onda en Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe los procedimientos para la determinación de la Velocidad de Propagación de Onda a través de un concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada y tiene como objetivos principales los siguientes:

- Verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del concreto hidráulico.
- Detectar las fallas internas (presencia de vacíos) producidas durante la colocación del concreto; la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones en el concreto hidráulico.
- Monitorear las variaciones de las propiedades del concreto a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio ambiente que rodee a la estructura de concreto hidráulico.

B. DEFINICIÓN.

La Velocidad de Propagación de onda, también llamada de Pulso Ultrasónico, es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del concreto de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. Un impulso eléctrico generado por una unidad central se transmite a un emisor que excita un bloque de cristales. El emisor a través del bloque emite un pulso ultrasónico que viaja a través del concreto hasta que es detectado por el receptor. Aquí el pulso ultrasónico se convierte en un impulso eléctrico, el cual se registra en un osciloscopio.

El tiempo entre la descarga inicial y la recepción del pulso se mide electrónicamente. La longitud de la trayectoria entre los transmisores, dividido entre el tiempo de viaje, da la velocidad promedio de la propagación de la onda. Está relacionada con las propiedades elásticas y su densidad.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

- Pacómetro. Equipo acústico para la determinación de la ubicación del acero de refuerzo.
- Agente Acoplante (silicona, vaselina, petróleo, aceite, etc.)
- Equipo comercial de ultrasonido, que contenga las siguientes partes.
 - a. Circuito generador – receptor (aparato de pulso eléctrico de baja frecuencia ultrasónica).
 - b. Transductor – emisor (aparato que posibilita la transformación del pulso eléctrico en onda de choque en una banda de 24 kHz hasta 500 kHz).
 - c. Circuito medidor de tiempo (aparato que permite medir el tiempo recorrido desde la emisión de la onda hasta su recepción).
 - d. Cables coaxiales que deben permitir la perfecta conexión de los transductores al circuito generador - receptor.
 - e. Barra de referencia. Pieza que permite la calibración del equipo de ultrasonido, cuya superficie tiene un acabado pulido y el tiempo de recorrido grabado.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES O ZONAS DE ENSAYO DE CONCRETO.

Los especímenes o zonas de concreto a ser ensayados deben de cumplir con los siguientes aspectos:

- Tener la superficie plana, lisa, exenta de suciedad o grasa y no deben de estar carbonatadas.
- No deben hacerse mediciones sobre testigos que contengan acero de refuerzo, ó donde la superficie del concreto presente carbonatación; ya que estos dos factores provoca errores en las lecturas de medición de la resistividad.
- Aquellas superficies que no cumplan con una superficie lisa, deberán modificarse por medio de un proceso mecánico de desbaste o por la adición de una capa de pasta de cemento, yeso ó resina epóxica con un espesor mínimo con el fin de garantizar el acoplamiento con los transductores, pero sin que este afecte en la medición por un exceso de espesor.
- El espécimen ó zona de ensayo deberán ser homogéneos en composición y humedad relativa.
- Se recomienda que las estructuras donde el concreto es razonablemente uniforme, el ensayo se realice en varios puntos diferentes por medio de una malla de 1,0 m por 1,0 m. En el caso de concretos con muchas heterogeneidades ó en elementos pequeños, será necesario un espaciamiento menor de la malla.
- Deberá evitar zonas donde exista una gran concentración de acero de refuerzo, principalmente en el sentido longitudinal de la propagación de las ondas, puesto que la velocidad de propagación de onda en el acero es mayor que en el concreto hidráulico y se obtendrán valores erróneos en la medición.

F. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.**F.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO A USAR.**

F.1.1. Por medio del uso de la barra de referencia proporcionada por el fabricante del equipo, deberá calibrarse el equipo, tal como lo indique el manual de operación del mismo.

F.2. MONTAJE Y CONEXIONES.

F.2.1. Posicionar los transductores como se indica a continuación:

- Transmisión Directa, con los transductores en las caras opuestas del material.
- Transmisión Indirecta, con los transductores en la misma cara.
- Transmisión Semidirecta, con los transductores en las caras adyacentes.

F.2.2. Colocar y presionar las superficies de los transductores sobre la zona del ensayo, considerándose satisfactorios cuando sea obtenido un valor mínimo de lectura en el equipo de medición con una variación de $\pm 1\%$.

F.2.3. Posteriormente y conforme al manual de operación del equipo usado, realice por lo menos tres determinaciones de la velocidad de pulso ultrasónico para comprobar los valores obtenidos.

F.3. CALCULOS Y RESULTADOS.

F.3.1. La Velocidad de propagación de Onda, se calculará conforme la siguiente fórmula:

$$V = \left[\frac{L}{T} \right]$$

Donde:

V = Velocidad de propagación de onda, en m/s con aproximación a dos décimas.

L = Distancia entre los transductores, en metros, con aproximación a una décima.

T = Tiempo de recorrido desde la emisión de la onda hasta su recepción, en segundos, con aproximación a una décima.

F.3.2. Registre los datos y resultados en el formato de prueba correspondiente.

G. PRECAUCIONES GENERALES DE PRUEBA.

- Delimitar la zona de concreto, sin tener acero de refuerzo ya que la velocidad de pulso en el acero puede ser del doble de la del concreto; y por tanto los resultados serán afectados directamente.
- Para especímenes de laboratorio muy pequeños, deberá de usarse transductores con una alta frecuencia de resonancia para resultados más efectivos.
- El agente acoplante deberá ser aquel capaz de permitir la correcta transmisión de energía entre el transductor y el concreto, eliminando el aire entre las superficies de contacto.
- Deberá ser el mismo operador quien realice la prueba y las mediciones, así como también deberá ser el mismo equipo de medición, esto para evitar errores en las mediciones y resultados.
- No realizar la prueba en zonas de concreto deteriorado o agrietado.

H. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Es posible expresar la homogeneidad del concreto en forma de parámetros estadísticos, tales como la desviación estándar ó el coeficiente de variación de las medidas de velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en el concreto, obtenidas de los puntos de la malla. Tales parámetros sólo pueden ser usados para comparar variaciones en la composición de concretos similares, debiendo ser considerados los siguientes factores:

- Distancia entre las superficies de contacto de los transductores.
- Posición del acero de refuerzo, principalmente en el sentido de propagación de la onda.
- Densidad del concreto, que depende del trazo y de las condiciones de fabricación.
- Tipo y densidad y otras características de los agregados pétreos.
- Tipo de cemento y grado de hidratación.
- Dirección de ensayo de la pieza.
- Edad del concreto.

Existen varios criterios de evaluación, uno de ellos puede ser el siguiente:

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN	CALIDAD DEL CONCRETO
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Alta
> 4000 m/s	Durable

I. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Testing concrete in structures. Determination of ultrasonic pulse velocity.	BS EN 12504-4:2004
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.	ASTM C597-97
Determinação da velocidade da propagação endurecida de ondas ultra-sônicas do concreto.....	Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) 1990.....NBR 8802.
Determinación de la Velocidad de Pulso – Método de Ultrasonido.....	NOM-C275-1986

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X6/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X6. <i>Determinación de la Dureza Superficial por medio del Esclerómetro Schmidt.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para la determinación de la Dureza Superficial mediante el uso del Esclerómetro de reflexión, o comúnmente llamado Martillo de Schmidt, en el concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada.

B. DEFINICIÓN.

El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del concreto, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido.

El índice esclerométrico (IE) es el valor obtenido a través de un impacto del esclerómetro de reflexión sobre un área de ensayo, medido directamente por el aparato, como el número de rebote del martillo.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la dureza superficial, se necesitará el siguiente equipo.

- Esclerómetro de reflexión ó Martillo de Schmidt.
- Disco o piedra abrasiva de carburo para remover la capa superficial de muy poco espesor (2,0mm), que es la más dura y por lo tanto no sería representativa del resto del concreto.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. OBSERVACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO.

El método esclerométrico no debe ser considerado sustituto de otros métodos, más bien como una referencia preliminar, para que formemos una idea de la calidad del concreto en sitio; proporciona información en relación a la dureza de la superficie del concreto, con una validez de hasta 20,0 mm de profundidad.

El método esclerométrico proporciona buena información acerca de la medida de la dureza superficial del concreto, las correlaciones con las demás propiedades del concreto serán determinadas empíricamente o verificadas a través de ensayos específicos.

El método esclerométrico debe ser usado considerando las siguientes circunstancias:

- Cuando se necesite determinar la uniformidad de la dureza superficial del concreto.
- Cuando se necesite comparar concretos como una referencia. Es decir, casos en los que se desea comparar la calidad de varios elementos de concreto, casos donde se utilice como un recurso más del control de calidad de elementos prefabricadas de concreto.
- Cuando se necesite estimar de manera aproximada la resistencia a la compresión del concreto.
- El fabricante del equipo debe proporcionar, el gráfico de correlación de la resistencia a la compresión de los especímenes de prueba contra el número de rebote. (Índice Esclerométrico).

F. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

F.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO A USAR.

F.1.1. El esclerómetro deberá ser calibrado antes de su utilización ó cada 300 impactos realizados en una misma inspección; siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo para el uso del Yunque de Ensayo de Calibración.

F.2. PREPARACION DEL ÁREA DE ENSAYO.

F.2.1. La superficie de concreto debe estar seca, limpia y preferencialmente plana, evitándose superficies húmedas y carbonatadas; y deberán de considerar los siguientes aspectos:

- Localizadas en las caras verticales del elemento.
- Alejadas de las regiones afectadas por segregación, exudación, concentración excesiva de acero de refuerzos y juntas.
- Alejadas de por lo menos 60,0 mm de los cantos o aristas de los elementos.
- Tener una superficie entre 800,0 mm² (90,0 x 90,0 mm) y 4 000,00 mm² (200,0 X 200,0 mm).

F.2.2. Frecuentemente el número de impactos, está limitado por la separación de las barras de acero de refuerzo; sin embargo se tomarán las siguientes recomendaciones:

- Realizar un mínimo de nueve impactos en cada área de prueba.
- Evitar al máximo que los impactos sean sobre agregados pétreos, ó acero de refuerzo, ya que los resultados no serán representativos del concreto hidráulico.
- No se debe de repetir el impacto sobre el mismo punto.
- La separación mínima entre zonas de impacto o prueba, será de 30,0 mm.

- F.2.3.** La limitación principal de los resultados del esclerómetro, es que no se deberán de realizar impactos en zonas donde el índice esclerométrico sea menor o igual a 20,0.

F.3. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- F.3.1.** El esclerómetro deberá siempre usarse de manera perpendicular sobre el área o superficie de prueba.
- F.3.2.** La barra de percusión debe ser presionada contra el punto del área de prueba, previamente delimitada y, antes de que la barra desaparezca en el cuerpo del esclerómetro, el martillo debe ser liberado, esta liberación deberá ser efectuada a través de un aumento gradual de presión en el cuerpo del aparato.
- F.3.3.** Después de escuchar el sonido del impacto, presione el seguro, para garantizar una lectura confiable en áreas de poca luminosidad ó en posiciones de difícil acceso, anote la lectura que la aguja indicadora proporciona en la escala del esclerómetro; este es directamente el índice esclerométrico.
- F.3.4.** Como se dijo, es preferible el uso del esclerómetro en posición horizontal y sobre superficies verticales, pero en caso de que su aplicación requiera de una inclinación con respecto a la horizontal, use los coeficientes de corrección que el equipo ó el fabricante proporciona.

F.4. CALCULOS Y RESULTADOS.

- F.4.1.** Después de haber realizado la aplicación de los impactos, calcule el Índice Esclerométrico por medio de los gráficos que el fabricante proporciona.
- F.4.2.** Determine la media aritmética de los resultados de los puntos ensayados, y anote los datos y resultados en el formato de prueba correspondiente. De ser posible, tome fotografías de la zona de ensayo.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Como esta prueba es considerada de referencia o preliminar, no se tiene un criterio de evaluación, pero puede realizar una comparación con la resistencia a la compresión de proyecto del concreto usado para el colado del elemento, ó contra la resistencia obtenida en la prueba de compresión de los testigos tipo núcleo, extraídos del elemento de concreto.

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Determinación del número de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro.....	NMX-C-192-0NNCE-2006.
Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.....	ASTM-C-805-02.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Avaliação da dureza superficial pelo esclerómetro de reflexão. Concreto Endurecido Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT)1984.....	NBR 7584.
Testing Concrete. Non Destructive testing. Determination of rebound number.....	BS EN 12504-2:2001

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X7/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X7. Determinación de la Concentración de Cloruros en Concreto Hidráulico.

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para determinar la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa de concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada; a diferentes niveles de profundidad, resultados que permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo. Esta información, interrelacionada con otras variables, permite analizar el estado actual de la estructura y también permite estimar el tiempo que tardará el ión cloruro en alcanzar el refuerzo.

B. DEFINICIÓN.

Los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Por lo tanto corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completado la capa de valencia con ocho electrones. El cloruro más conocido es la sal marina (NaCl) que está presente en el agua marina con una concentración del aproximadamente 3,0 – 3,5 %. Por lo tanto los océanos representan una fuente prácticamente inagotable de cloruro. Los cloruros más comunes son:

- Cloruros Libres: Son los solubles en agua y éstos son los que representan un riesgo para el acero de refuerzo al alcanzar niveles críticos y causar su despasivación.
- Cloruro Enlazado: Este es el cloruro combinado con las diferentes fases o compuestos de la pasta de cemento, de los cuales el principal es el aluminato tricálcico.
- Cloruros Totales: Están representados por la sumatoria del cloruro enlazado y el cloruro libre.

Coefficiente de Difusión Aparente: (Dap). Este permite conocer la resistencia a la penetración del cloruro en el concreto, también se puede estimar el tiempo aproximado en el cual estos iones llegan al nivel de la acero de refuerzo en cantidad suficiente para inducir la corrosión.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Se clasificará de dos maneras de acuerdo a lo siguiente:

D.1. DE CARÁCTER GENERAL.

- Equipo de molienda para la preparación del polvo de concreto.
- Estufa u horno con rango de temperatura de 0 °C a 150° C
- Tamices No. 20 y 200 ASTM.
- Balanza analítica y de precisión.
- Plancha calefactora con agitador.
- Probeta graduada de 100,0 ml y embudo de filtración.
- Matraz aforado de 250,0 ml, vaso de 250,0 ml y pipetas volumétricas de 5,0, 10,0 y 20,0 ml.
- Papel filtro de porosidad media o rápida.
- Reactivos: ácido nítrico, nitrato de plata, y cloruro de sodio.
- Agua destilada.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

D.2. DE CARÁCTER PARTICULAR, ACORDE AL METODO DE TITULACIÓN.

- Volumetría: (titulación directa con nitrato de plata estándar e indicador cromato de potasio) y Volhard (adición de un exceso de nitrato de plata estándar y titulación por retroceso con tiocianato de potasio o amonio utilizando como indicador sulfato férrico amónico hasta coloración rojiza). Se requiere una bureta de 25,0 ml.
- Potenciometría: usar un titulador automático de cloruros ó un equipo acoplado a un electrodo de ión selectivo para cloruros.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.**E.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.**

- E.1.1.** En la extracción de los testigos, ya sean núcleos, porciones de concreto ó polvo, deberá tenerse el cuidado correspondiente para impedir la contaminación ó afectación del testigo, principalmente si el tipo de testigo es una porción de polvo del concreto a evaluar.
- E.1.2.** En el caso de realizar la prueba en testigos ó núcleos de concreto, estos se cortarán en rodajas de 5,0 a 10,0 mm, tal y como se indica en la Figura 1 de este manual. Las rodajas se deben triturar antes de someterlas al análisis correspondiente. La primera rodaja puede desbastarse milímetro a milímetro cuando se considere necesario.

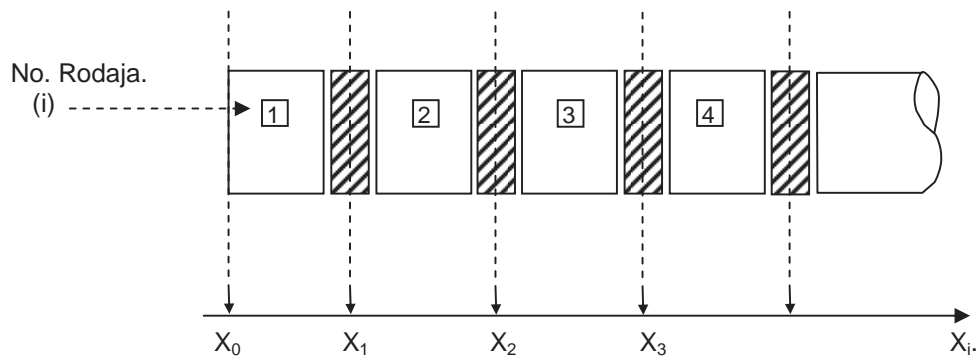


Figura 1. Forma de realizar el corte de un testigo o núcleo para el ensaye de cloruros.

E.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORUROS.

Esta determinación se hará en base a lo marcado en los dos procedimientos siguientes:

E.2.1. Cloruros Totales. Basado en la Norma ASTM C-1152.

Seleccione una muestra que tenga una masa de aproximadamente 10,0 gramos, con una aproximación de 0.01 gramos, verifique este peso por medio de una balanza analítica ó digital; posteriormente introduzca la muestra en un vaso de precipitado de 250,0 mL. Para la determinación de los cloruros totales, aplique el método de referencia dado en la Norma ASTM C 114-99. "Método de prueba Estándar para el Análisis Químico de Cemento Hidráulico", *parte 19. Cloruros (Método de la prueba de referencia)*.

E.2.2. Cloruros solubles en Agua. Basado en la norma ASTM D-1411-04

Seleccione una muestra que tenga un peso seco de aproximadamente 300,0 gramos, con una aproximación de 0.01 gramos, verifique este peso por medio de una balanza analítica ó digital; posteriormente introduzca la muestra en una botella de 1,0 L. adicione 479,0 mL de agua, 20,0 mL sulfato amonio férrico (100,0 g/L) y 1,0 mL de hidróxido de amonio; agite durante un lapso de 12 a 15 horas, pase la muestra por un papel filtro, desechando los primeros 50,0 mL y retenga el resto. Para la determinación de los cloruros, aplique el método de referencia dado en la Norma ASTM D 1411-04. "Método de prueba Estándar para Cloruros solubles en agua, presentes como adiciones en mezclas de Agregados Graduados en Caminos", *parte 7. Cloruros*.

E.3. CALCULOS Y RESULTADOS.

E.3.1. Cloruros Totales. Basado en la Norma ASTM C-1152.

Calcule el porcentaje de cloruros por masa de concreto, aplicando la fórmula del método de referencia dado en la Norma ASTM C 114-99. "Método de prueba Estándar para el Análisis Químico de Cemento Hidráulico", *parte 19. Cloruros (Método de la prueba de referencia)*.

El porcentaje de cloruros se calcula por medio de la fórmula:

$$Cl \% = \left[\frac{3.545[(V_1 - V_2)N - 0.10]}{W} \right]$$

Donde:

V_1 = mL de solución de 0.05 N AgNO₃ usada para la titulación de la muestra.

V_2 = mL de solución de 0.05 N AgNO₃ usada para la titulación en blanco.

N = Normalidad exacta de la solución de 0.05 N AgNO₃.

W = Peso de la muestra en gramos.

0.10 = Miliequivalentes adicionados de NaCl. (2.0 mL x 0.05 N)

Otros cálculos adicionales se pueden hacer en base a lo siguiente:

- Para calcular los kilogramos de cloruros por metro cúbico de concreto, multiplique el porcentaje de cloruros por $U/100$, donde U = densidad del mortero o concreto en kg/m^3 ; se recomienda que sea $2263,0 \text{ kg/m}^3$.
- Para calcular el porcentaje de cloruros por masa de concreto, multiplique el porcentaje de cloruros por $100/P$, donde P = porcentaje de cemento por masa en el mortero o concreto, conocido o determinado con el método de prueba C1084.
- Para calcular la concentración de hojuelas equivalentes de cloruro de calcio, multiplique el porcentaje de cloruros por 2.07.

E.3.2. Cloruros solubles en Agua. Basado en la norma ASTM D-1411-04

Calcule el porcentaje de cloruros por masa de concreto, aplicando la fórmula del método de referencia dado en la Norma ASTM D 1411-04. "Método de prueba Estándar para Cloruros solubles en agua, presentes como adiciones en mezclas de Agregados Graduados en Caminos", *parte 7. Cloruros*.

El porcentaje de cloruros totales se calcula por medio de la fórmula:

$$Cl \% = \left[\frac{[(aN - a'N')0.0355]}{bw} \right] 100$$

Donde:

- a = Mililitros de solución de AgNO_3 adicionada.
- a' = Mililitros de solución NH_4SCN requerida para la titulación.
- N = Normalidad de la solución de AgNO_3 .
- N' = Normalidad de la solución de NH_4SCN .
- b = Mililitros de la solución en parte alícuota usada, dividida entre 500.
- w = Peso de la muestra en gramos.

E.3.2. Expresión Gráfica de los resultados.

El contenido de cloruros se grafica con respecto a los datos de la profundidad de la muestra, con el propósito de evaluar el perfil de penetración de los cloruros hacia el interior del elemento de concreto, y posteriormente compara estos valores con los límites permisibles. La Figura 2, nos ejemplifica lo anteriormente comentado.

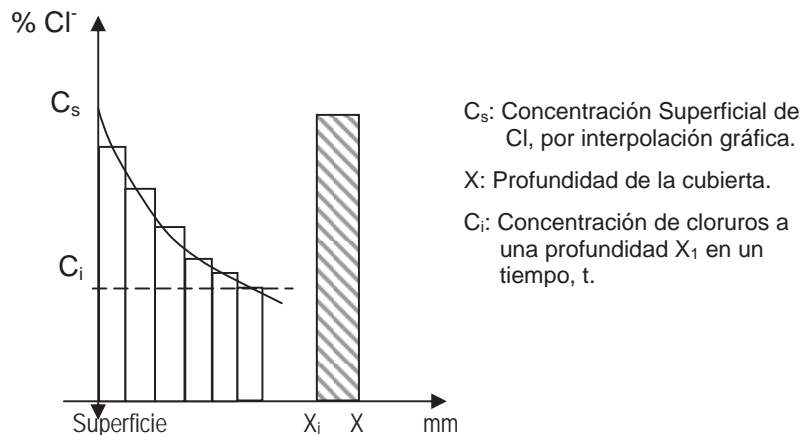


Figura 2. Perfil de Cloruros.

F. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Los valores del contenido en cloruro dan una idea del grado de contaminación y de la evolución posible del daño, pero no se pueden tomar como un límite absoluto sin la interpretación basada en la experiencia del evaluador correspondiente.

Los resultados de varios autores, por ejemplo en Europa y en Latinoamérica, recomiendan adoptar como valor límite permisible el de 0.4% de cloruros totales en relación a la masa de cemento para las estructuras de concreto armado; para concreto pretensado y postensado el límite debe ser de 0.20%. Ahora bien, aplicando la norma ACI 318 se tienen los siguientes límites, 0.15% en ambiente de Cloruro, 0.30% en ambiente normal y 1% en ambiente seco; esto con relación a la masa del cemento. Es importante resaltar que la concentración de cloruros, aunque supere el nivel límite, no determina por sí sola la posibilidad de riesgos de corrosión o su severidad.

Si el tipo de gráfica es una recta, nos indica que los cloruros ya estaban presentes en la mezcla del concreto de la estructura antes de iniciar la prueba (perfil de cloruro constante); de manera contrario, si la gráfica es una curva descendente nos indica que los cloruros han penetrado desde el exterior.

G. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR"
Determinación de Cloruros en Concretos Endurecidos y Puestos en Servicio.....	UNE 112-010-94
Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.....	ASTM C-1152
Standard Test Methods for water-soluble Chlorides present as Admixes in Graded Aggregate Road Mixes.....	ASMT D-1411-04
Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement.....	ASTM C-114

ANTEPROYECTO M-MMP.2.02.0X8/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	02. Materiales para Concreto Hidráulico.
CAPÍTULO:	0X8. <i>Determinación de la Porosidad en Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para la determinación de la absorción capilar y la porosidad de mortero y concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada; como una medida de su compacidad.

B. DEFINICIÓN.

Como porosidad del concreto se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de concretos y morteros a consecuencia de la evaporación del agua excedente del amasado y del aire atrapado en su manipulación. Los poros dependiendo de su tamaño y características se subdividen en:

- **Poros de gel:** Son de menor tamaño ($<15,0 - 25,0 \text{ \AA}$) y corresponden a espacios intersticiales del gel de cemento. Estos poros sólo intercambian agua con el ambiente cuando se secan a humedades $< 20,0 \%$.
- **Poros capilares:** Son de forma variable y tamaño del orden de $2,0 \text{ nm}$ a $1,0 \text{ \mu m}$. Cuando están interconectados y abiertos al exterior constituyen la causa principal de la permeabilidad de la pasta de cemento endurecida, así como su vulnerabilidad a la acción de agentes externos. Por ello, la eliminación de la capilaridad interconectada es una condición necesaria para su durabilidad.
- **Poros de aire:** Son generados por las burbujas de aire atrapadas en la masa del concreto, en el proceso de manipulación tecnológica. No suelen estar interconectados entre sí y su dimensión es variable, aunque generalmente son mayores de $0,05 \text{ mm}$. Aunque afectan la resistencia mecánica, en cuanto a la durabilidad pueden, según el caso, inducir efectos beneficiosos.

Como absorción capilar se considera la masa de agua por unidad de área que puede ser absorbida en los capilares cuando el concreto se encuentra en contacto con agua líquida. Representa la porosidad efectiva o accesible al agua y por tanto a los agresivos ambientales.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES

DESIGNACIÓN.

Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes..... N-CSV-CAR-1-03-001/07

Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....N·CSV·CAR·1·03·002/07

Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto..... M·MMP·2·02·0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la porosidad del concreto, se necesitará el siguiente equipo.

- Estufa u horno con rango de temperatura de 0 °C a 150 °C
- Cubeta de fondo plano y con tapa.
- Esponja.
- Resina epóxica o parafina.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

E.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR.

La propuesta de la metodología de ensayo se debe a Fagerlund y es base de la normativa sueca que describe la cinética de la absorción capilar de morteros y concretos a través de tres coeficientes:

- *m*. Resistencia a la penetración del agua.
- *k*. Coeficiente de absorción capilar.
- \mathcal{E}_e , Porosidad efectiva.

E.1.1. Se deberá de cubrir previamente con resina o parafina las áreas laterales curvas del espécimen y a lo largo del ensayo mantener cubierto el recipiente para evitar evaporación.

E.1.2. La prueba se realiza sobre especímenes de espesor $H \leq 50,0$ mm (recomendándose de 20,0 a 30,0 mm para concretos especiales), luego de un preacondicionamiento de secado a 50 °C por 48 horas (hasta peso constante) y posterior enfriamiento en desecador.

E.1.3. Luego de registrar su peso inicial, W_0 , la muestra es colocada sobre una esponja húmeda en el interior de una cubeta de fondo plano, teniendo cuidado de que el nivel del agua solo llegue a 3,0 mm por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo.

E.1.4. Posteriormente y contra medición de tiempo en un reloj, determinar el peso total W_t , de la probeta en los siguientes tiempos: 5, 10, 15, y 30 minutos, posteriormente, 1, 2, 3, 4, 6, 24 y 48 horas. Anote los resultados en el formato de prueba correspondiente.

E.2. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA (% DE ABSORCIÓN TOTAL).

Aunque las normas recomiendan el uso de especímenes de diámetro y espesor de 75,0 mm para esta prueba, pueden ser utilizados especímenes de otras dimensiones.

- E.2.1.** Los especímenes se someten a un precondicionamiento de secado a 105° C por 72 horas (o menos, hasta peso constante) y posterior enfriamiento en un desecador durante 24 horas, aunque es más conveniente usar un secado a 50 °C con el fin de no dañar el gel de cemento.
- E.2.2.** Pese la muestra o probeta para determinar su peso inicial W_o , posteriormente se sumerge por completo la muestra en agua cuyo nivel debe estar $25,0 \pm 5$ mm por encima del nivel superior de la probeta. Al cabo de 30 minutos se retira, se seca el agua exterior y se pesa nuevamente obteniendo su peso final saturado, W_f .
- E.2.3.** Anote los resultados en el formato de prueba correspondiente. Este ensayo difiere del anterior en que no se asegura un completo llenado de la red de capilares.

E.3. ENSAYO DE POROSIDAD. (POROSIDAD TOTAL).

Este ensayo puede efectuarse de manera independiente, es decir sobre especímenes separados ó en probetas utilizadas en los anteriores ensayos.

- E.3.1.** Los especímenes se someten a un precondicionamiento de secado a 105° C por 72 horas (o menos, hasta peso constante) y posterior enfriamiento en un desecador durante 24 horas.
- E.3.2.** Ya sea sobre especímenes separados o ya usados en otras pruebas de absorción, luego de precondicionado, se sumerge en agua totalmente durante 24 horas mínimo, se deberá de cuidar que siempre exista una lámina de agua de por lo menos 25,0 mm por encima de la probeta, impidiendo la evaporación del agua de la muestra.
- E.3.3.** Posterior a las 24 horas de saturación, registre el peso de la probeta fuera del agua W_{sat} y dentro de agua W_{sum} ; este último peso se determina con ayuda de una balanza hidrostática.
- E.3.4.** Después de tomar los pesos saturado y sumergido, el espécimen se seca a 105 °C hasta obtener peso constante y se registra su peso como peso seco $W_{105^\circ C}$. Anote los resultados en el formato de prueba correspondiente.
- E.3.5.** Este valor de la porosidad no contiene más que una mínima parte de los poros de aire. Por lo tanto, si se quiere obtener la porosidad total se debe saturar totalmente el espécimen, hervir este varias horas y luego proceder a enfriarlo lentamente antes de registrar su peso "saturado" W_{sat} , o bien hacer vacío en la cámara donde se tiene sumergida la probeta.

F. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

F.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR.

Los coeficientes se calculan en base a las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{t}{z^2} \qquad k = \frac{(W_t - W_o)}{\sqrt{t}} \qquad \mathcal{E}e = \frac{k\sqrt{m}}{1000}$$

Donde:

m = Coeficiente de Resistencia a la penetración del agua, determinado calculando el tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, cuando $z=H$; en s/m^2

t = Tiempo en segundos.

z = Profundidad de penetración del agua al tiempo t , en metros.

W_t = Peso Total de la muestra, en gramos con aproximación a dos décimas.

W_o = Peso inicial seco de la probeta después de sacarla del desecador, en gramos con aproximación a dos décimas.

k = Coeficiente de absorción capilar que puede ser evaluado como la pendiente de la región lineal de graficar (W_i vs. W_o) sobre el área expuesta del espécimen, en función de la raíz del tiempo, en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$

\mathcal{E}_e = Coeficiente de porosidad efectiva, en %.

Finalmente con la información anterior, la sorción capilar, S se calcula como:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}}$$

Donde:

S = Sorción capilar, en $\text{mm/h}^{1/2}$ ó $\text{m/s}^{1/2}$, con aproximación a una décima.

F.2. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA (% DE ABSORCIÓN TOTAL).

La absorción de agua total se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de agua absorbida} = \frac{(W_f - W_o)100}{W_o}$$

Donde:

W_f = Peso final de la probeta después de la saturación, en gramos con aproximación a dos décimas.

W_o = Peso inicial seco de la probeta después de sacarla del desecador, en gramos con aproximación a dos décimas.

F.3. ENSAYO DE POROSIDAD. (POROSIDAD TOTAL).

La porosidad total se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Porosidad Total} = \frac{(W_{sat} - W_{105^\circ C})}{W_{sat} - W_{sum}} \times 100$$

Donde:

W_{sat} = Peso saturado de la probeta después de 24 horas de saturación, en gramos con aproximación a dos décimas.

$W_{105^\circ C}$ = Peso seco de la probeta a una temperatura de 105°C , en gramos con aproximación a dos décimas.

W_{sum} = Peso sumergido de la probeta dentro de agua, con la ayuda de una balanza hidrostática, en gramos con aproximación a dos décimas.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Para un espesor de recubrimiento de 30,0 mm, en base a la característica de su medio ambiente, recomendamos los siguientes valores de sorción capilar:

- Ambientes severos, concretos con sorción capilar $S \leq 3,0 \text{ mm/h}^{1/2}$ ($5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$).

- Ambientes menos severos, puede tenerse hasta $6,0 \text{ mm/h}^{1/2}$ ($10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$).
- Si el espesor de recubrimiento se incrementa, la sorción capilar puede modificarse proporcionalmente.

En cuanto al porcentaje de Porosidad:

$\leq 10 \%$	Indica un concreto de buena calidad y compacidad.
10 % - 15 %	Indica un concreto de moderada calidad.
>15 %	Indica un concreto de durabilidad inadecuada.

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete.....	ASTM C642-90
Water Conductivity. EMPA. 1989.....	Schweizer Nom SIA162/1.
Fagerlund, G. On the capilarity of Concrete. 1986.....	Nordic Concrete Research No. 1
Methods of Testing Concrete: Method for Determination of Water Absorption. British Standards Instiution:.....	BS 1881. Pat 122.1983.

ANTEPROYECTO M-MMP.2.03.0X1/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	03. Acero y Productos de Acero.
CAPÍTULO:	0X1. <i>Determinación de la Localización, Profundidad y Diámetro del Acero de Refuerzo, en estructuras de Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para determinar la localización, profundidad y diámetro del acero de refuerzo embebido en el concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada.

B. DEFINICIÓN.

El recubrimiento, estructuralmente se refiere al espesor de concreto medido desde la superficie más externa del acero de refuerzo principal hasta la cara externa del elemento; este espesor de concreto llamado recubrimiento, es también definido como Capa de Protección del Acero de Refuerzo.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la localización, profundidad y diámetro del acero de refuerzo, se necesitará el siguiente equipo:

- Pacómetro. Equipo que permite realizar la ubicación del acero de refuerzo.
- Regla metálica, flexómetro ó cinta métrica y Vernier o Pie de Rey metálico.
- Marcadores de tinta indeleble.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

E.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

Conforme el manual de operación del fabricante de pacómetro, realice la calibración del equipo antes de iniciar cualquier ensayo de determinación de la ubicación del acero de refuerzo.

E.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRELIMINAR.

Antes de iniciar la actividad de campo se debe disponer de los planos definitivos de la estructura a estudiar, donde se indique con precisión la ubicación del acero de refuerzo, los diámetros de las barras y el espesor del recubrimiento. También es necesario conocer la posición y características de otros elementos metálicos embebidos en el concreto.

E.3. LOCALIZACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

- E.3.1.** Se procede a localizar el acero de refuerzo realizando un barrido rápido con el sensor del pacómetro en sentido perpendicular a la dirección tentativa del acero de refuerzo, de manera que el eje mayor del sensor sea paralela a la acero de refuerzo hasta observar un pivoteo de la aguja (pacómetro analógico), ó en su caso al escuchar el sonido agudo del pacómetro (acústico), que indica la ubicación del acero de refuerzo.
- E.3.2.** Luego se invierte lentamente el barrido en la misma dirección, hasta encontrar la máxima deflexión de la aguja, ó el sonido agudo del pacómetro que indicará la posición del acero.
- E.3.3.** Finalmente, para la ubicación definitiva de la acero de refuerzo se hará girar el sensor pivoteándolo con centro en alguno de los extremos, hasta encontrar la deflexión máxima de la aguja, ó el sonido agudo del pacómetro, que indicará la dirección correcta del acero de refuerzo en el eje del lado mayor del sensor; este eje deberá marcarse sobre la cara del elemento con un producto indeleble.

E.4. DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL ACERO DE REFUERZO.

- E.4.1.** En cada determinación del espesor del recubrimiento ó capa de protección del acero de refuerzo, previamente deberá realizar el ajuste del equipo y colocación en ceros del mismo, para efectuar la determinación.
- E.4.2.** Coloque el sensor del equipo usado sobre la barra elegida para la determinación del recubrimiento o capa de protección, en los tramos que no interfieran con otros aceros, para concentrar la respuesta magnética solo en la barra en la que se desea determinar su profundidad. El equipo indicará la profundidad a la cual se encuentra el acero de refuerzo.

E.4. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DEL ACERO DE REFUERZO.

- E.4.1.** En las zonas donde el acero se encuentre al desnudo, se determinará por medio de un vernier metálico análogo ó digital, el diámetro actual del acero de refuerzo, tomando un mínimo de tres lecturas en la zona de estudio, para tener un dato promedio del diámetro.
- E.4.2.** Si por alguna razón la corrosión es localizada, realice un croquis donde se informe la longitud del elemento afectado y los diámetros del acero de refuerzo en las siguientes zonas:
 - Zona no afectada por la corrosión.
 - Zona de inicio de corrosión.
 - Zona central de afectación de corrosión.

F. REGISTRO DE LOS RESULTADOS.

Cada determinación será registrada en formatos preparados previamente al trabajo de campo, donde se anoten todos los parámetros relacionados con la determinación.

El uso de cuadrículas, referenciadas con la posición del acero de refuerzo, permite el rápido y seguro almacenamiento de información cuando se trata de amplias superficies de trabajo; éste método resulta muy útil cuando se deben realizar mediciones electroquímicas y toma de testigos posteriores.

Una manera de realizar el registro de resultados antes comentado es basándose en lo siguiente:

- Realizar un croquis ó diagrama esquemático del elemento en cuestión, detallando la ubicación de la malla usada y de la ubicación del acero de refuerzo.
- Colocando en el diagrama esquemático anterior, la profundidad a la cual se ubica el acero de refuerzo, ó el espesor del recubrimiento, en cada uno de los sitios de la medición.
- Colocar a un lado del nodo del diagrama realizado, los datos del diámetro de proyecto separando con una diagonal el diámetro actual del acero de refuerzo; para conocer la variación y porcentaje de afectación que la corrosión ha causado en el acero de refuerzo.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

No existe una referencia acerca de la interpretación de los resultados, pero se realizará una comparación de los resultados obtenidos en base a la aplicación de la prueba, con los datos especificados en los planos estructurales ó en la documentación de proyecto; anotando las diferencias encontradas en cuanto a la localización, profundidad y reducción del diámetro del acero de refuerzo.

Los resultados de esta prueba serán cualitativos, ya que nos ofrecerá información básica acerca de la protección del acero de refuerzo del elemento evaluado; así como también informará sobre el buen ó mal procedimiento constructivo, y finalmente podremos generar un prediagnóstico del estado del acero de refuerzo y de la posibilidad de este de ser afectado por la corrosión.

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures.....	ACI 228.2R-98 (Reapproved 2004)
Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....	CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".
British Standards Institution:.....	BS 1881. Pat 122.1983.

ANTEPROYECTO M-MMP.2.03.0X2/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	03. Acero y productos de Acero.
CAPÍTULO:	0X2. <i>Determinación del Potencial de Corrosión del Acero de Refuerzo en Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para medir el potencial del acero de refuerzo embebido en el concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada; por medio del uso de electrodos de referencia.

B. DEFINICIÓN.

Con respecto a la medición de potenciales en el acero de refuerzo embebido en un concreto hidráulico reforzado, tenemos las siguientes definiciones:

- **Potencial Electroquímico:** Es el potencial eléctrico de un metal, relativo a un electrodo de referencia, medido bajo condiciones de circuito abierto.
- **Mapa de Potenciales:** son curvas de isopotencial que se dibujan sobre la superficie evaluada con la finalidad de establecer el área de cambio de potencial.

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07
Determinación de la Profundidad de Carbonatación en Concreto Hidráulico.....	M-MMP-2-02-0X3/07
Determinación de la Profundidad y Localización del Acero de Refuerzo.....	M-MMP-2-03-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

Para determinar la medición de potenciales, se necesitará el siguiente equipo:

- Pacómetro. Equipo que permite realizar la ubicación del acero de refuerzo.
- Cables y conectores.

- Brocha, cepillo y/o carda de alambre, martillo, cincel, taladro rotomartillo, brocas para concreto y otras herramientas para limpieza manual/mecánica de la superficie.
- Esponja plana, agua potable para humedecer la superficie, etc.
- Electrodo de referencia apropiado, ejemplo: Cu/CuSO_4 (cobre, sulfato de cobre).
- Voltímetro ó Multímetro de alta impedancia.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- E.1.** Determine previamente, la profundidad de carbonatación existente en el elemento de concreto hidráulico a evaluar, ya que de ésta característica dependerá el tiempo necesario de humedecimiento de la superficie por evaluar, para obtener resultados efectivos.
- E.2.** Seleccionada la superficie a evaluar debe tenerse libre acceso a una sección del acero de refuerzo existente en el concreto hidráulico; en caso de no existir, deberá perforarse la estructura hasta descubrir el acero de refuerzo para realizar la limpieza y conexión del equipo.
- E.3.** Limpiar la superficie a evaluar así como el acero de refuerzo expuesto, para la correcta conexión de los conectores del equipo, deberá garantizarse la correcta continuidad eléctrica del acero al momento de iniciar la toma de lecturas de potencial eléctrico.
- E.4.** Ubique la distribución del acero de refuerzo, y trace sobre la superficie del concreto una cuadrícula múltiple con un espaciado uniforme los nodos, la cual dependerá de la sección a evaluar, el espaciado seleccionado dependerá de la rigurosidad de la inspección y de la ubicación del refuerzo.
- E.5.** Efectuar la conexión del electrodo de referencia (ejemplo: Cu/CuSO_4), al polo negativo del voltímetro (puerto com). El acero de refuerzo se conecta al polo positivo del voltímetro, como se indica en la Figura 1 de este manual, así leerá en la pantalla su polaridad, y se podrá iniciar a realizar las mediciones de potenciales del elemento de concreto.

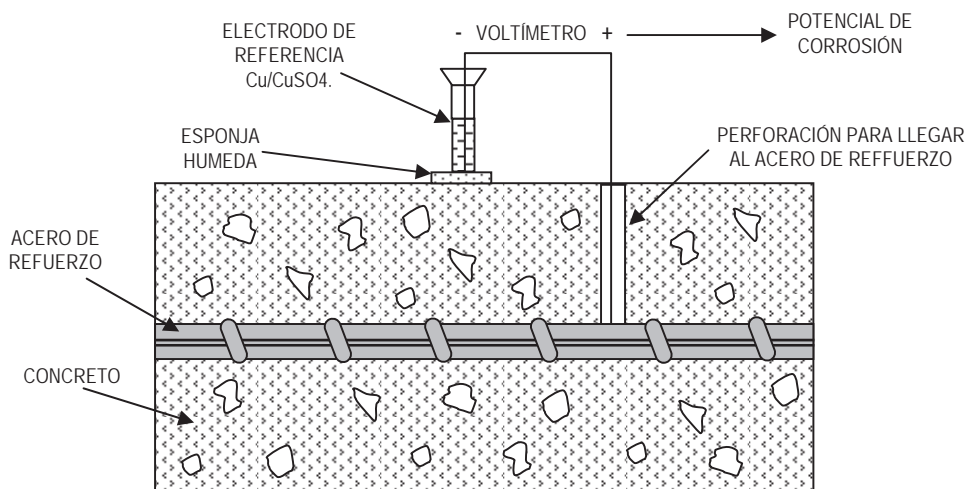


Figura 1. Forma de colocar el electrodo de referencia para la medición de potenciales.

- E.6.** Los nodos de la cuadrícula serán los puntos de referencia para la ubicación del electrodo para la medición. En estos puntos se colocará sobre la superficie del concreto una esponja plana delgada previamente humedecida para mejorar el contacto electrodo-concreto.
- E.7.** Colocar el electrodo sobre la esponja en el nodo de evaluación; conforme al manual de operación del equipo, efectúe la medición de potenciales, registrando las lecturas en el formato de prueba correspondiente.
- E.8.** Continúe con la medición de los potenciales de cada nodo de la cuadrícula efectuada, cuando la esponja lo necesite vuelva a humedecerla; registre todas las mediciones de potenciales efectuadas, para posteriormente realizar el mapa de potenciales correspondiente.

F. REGISTRO DE LOS RESULTADOS.

- F.1.** La diferencia entre dos lecturas de potencial tomadas en un nodo de la cuadrícula, con el mismo equipo, no excederá de 10,0 mV; mientras que la diferencia entre dos lecturas tomadas en un nodo de la cuadrícula, con dos equipos de medición diferentes, no excederá de 20,0 mV.
- F.2.** Elaborar un plano de la cuadrícula que coincide con la ubicación del acero de refuerzo del elemento, colocar los valores resultantes de las mediciones de potencial. Trazar las líneas de isopotenciales correspondientes hasta elaborar un mapa de potenciales como se indica en la figura 2 de este manual.

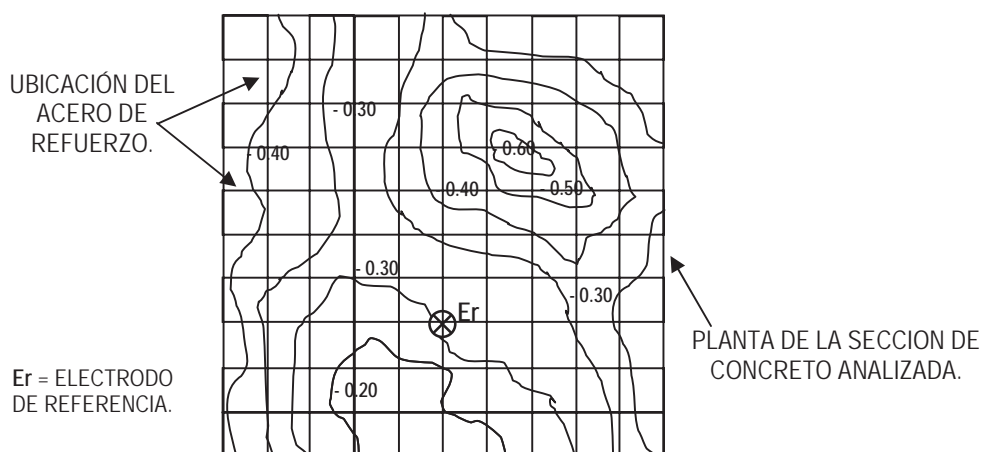


Figura 2. Mapa de potenciales ó líneas equipotenciales.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Las medidas de potencial informan sobre la probabilidad de corrosión de la acero de refuerzo de una estructura de concreto, pero es esencial que los resultados sean correctamente interpretados a la luz de la información disponible sobre las condiciones de humedad, contaminación, calidad del concreto, etc.

- G.1.** La Norma ASTM C-876-91 (Reapproved 1999); Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete; ofrece las condiciones y riesgos asociados a valores de potencial tomando en cuenta el uso de un electrodo de referencia del tipo Cu/CuSO₄ (cobre, sulfato de cobre), y son los siguientes:
- Si los potenciales sobre un área son más positivos que -0.20 V, existe una probabilidad mayor al 90 % de que no existe corrosión del acero de refuerzo en esa área al momento de la medición de potenciales.

- Si los potenciales sobre un área están dentro del rango de los -0,20 V a los -0,35 V, la actividad de corrosión del acero de refuerzo en esa área al momento de la medición de potenciales, es incierta.
 - Si los potenciales sobre un área son más negativos que -0,35 V, existe una probabilidad mayor al 90 % de que existe corrosión del acero de refuerzo en esa área al momento de la medición de potenciales.
- G.2.** El Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, del CYTED, Red Iberoamericana XV.B. DURAR, tomando en cuenta el uso de un electrodo de referencia del tipo Cu/CuSO₄ (cobre, sulfato de cobre), nos ofrece el criterio de evaluación mostrado en la Tabla 1.siguiente.

Tabla 1.- Criterio de Valoración de Potenciales del Acero en Concreto vs Cu/CuSO₄.

CONDICIÓN	POTENCIAL (E)	OBSERVACIONES	RIESGO DE DAÑO
Estado pasivo	+ 0,200 a - 0,200	Ausencia de Cl ⁻ pH > 12,5 H ₂ O (HR↑)	Despreciable
Corrosión Localizada	- 0,200 a - 0,600	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O (HR↑)	Alto
Corrosión Uniforme	-0,1 50 a - 0,600	Carbonatado O ₂ , H ₂ O, (HR↑)	Moderado Alto
	+ 0,200 a - 0,150	Carbonatado O ₂ , Seco, (HR↓)	Bajo Alto
	-0,400 a - 0,600	Cl ⁻ Elevado, H ₂ O ó Carbonatado H ₂ O, (HR↑)	
Corrosión Uniforme	< - 0,600	↑ Cl ⁻ , ↑ H ₂ O (sin O ₂)	Despreciable

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.**NORMA.****DESIGNACIÓN.**

Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 3ª Ed. Agosto 2000.....CYTED, Red Iberoamericana XV.B. "DURAR".

Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete. ASTMASTM C-876-91 (Reapproved 1999).

ANTEPROYECTO M-MMP.2.03.0X3/07

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.
TEMA:	CAR. Carreteras.
PARTE:	2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.
TÍTULO:	03. Acero y productos de Acero.
CAPÍTULO:	0X3. <i>Determinación de la Velocidad de Corrosión del Acero de Refuerzo en Concreto Hidráulico.</i>

A. CONTENIDO.

Este manual describe el procedimiento para determinar la velocidad de corrosión a la cual el acero de refuerzo embebido en el concreto hidráulico, usado para la construcción de elementos de infraestructura a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-002/07, Inspección Detallada; pierde sección transversal, por corrosión de la misma.

B. DEFINICIÓN.

Se llama velocidad o intensidad de corrosión (i_{corr}) a la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo. Las unidades básicas son $g/cm^2 \cdot día$, aunque la forma usual de definirla a partir de medidas de tipo electroquímico es en $\mu A/cm^2$ ó, transformando este dato a partir de la densidad del metal, en unidades de penetración (mm/año).

C. REFERENCIAS.

Este Manual se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN.
Inspección Preliminar en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-001/07
Inspección Detallada en Estructuras de Concreto Hidráulico Existentes.....	N-CSV-CAR-1-03-002/07
Toma de Testigos para pruebas de Durabilidad en Concreto.....	M-MMP-2-02-0X1/07
Determinación de la Profundidad de Carbonatación en Concreto Hidráulico.....	M-MMP-2-02-0X3/07
Determinación de la Profundidad y Localización del Acero de Refuerzo.....	M-MMP-2-03-0X1/07

D. MATERIALES Y EQUIPO.

De manera general utilizaremos el siguiente equipo:

- Potenciostato ó Galvanostato, para medir la Resistencia a la Polarización.
- Corrosímetro comercial para medidas in situ.
- Cables, conectores, esponja y agua.

- Electrodo de referencia con su solución a usar.
- Equipo general de protección de obra, señales, conos, bandereros, andamios, radios de comunicación portátil, etc.
- Equipo general de seguridad personal, guantes, casco, gafas protectoras, chaleco reflejante, chaleco con bolsas, arnés, botas de trabajo, etc.

E. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- E.1.** Determine previamente, la profundidad de carbonatación existente en el elemento de concreto hidráulico a evaluar, ya que de ésta característica dependerá el tiempo necesario de humedecimiento de la superficie por evaluar, para obtener resultados efectivos.
- E.2.** Seleccionada la superficie a evaluar debe tenerse libre acceso a una sección del acero de refuerzo existente en el concreto hidráulico; en caso de no existir, deberá perforarse la estructura hasta descubrir el acero de refuerzo para realizar la limpieza y conexión del equipo.
- E.3.** Ubique la distribución del acero de refuerzo, y trace sobre la superficie del concreto una cuadrícula múltiple con un espaciamiento uniforme (nodos), la cual dependerá de la sección a evaluar, el espaciamiento seleccionado dependerá de la rigurosidad de la inspección y de la ubicación del refuerzo.
- E.4.** Coloque el sensor de medición sobre la superficie del concreto por medio del uso de una esponja húmeda, u otro medio que asegure un buen contacto y por consiguiente lecturas adecuadas. Opere el equipo tal como lo indique su manual de operación, y obtenga las lecturas necesarias, anotando los datos en el formato correspondiente.
- E.5.** Debido a la variabilidad propia de las medidas de corrosión, se deben adoptar criterios estadísticos de muestreo para tener un valor medio, ó al menos detectar las zonas de mayor corrosión. Los criterios de muestreo se adoptan de forma similar a otros tipos de ensayo.
- E.6.** Como además la i_{corr} varía con el grado de humedad del concreto y la temperatura, es conveniente realizar, al menos tres mediciones a lo largo de un año, con el fin de caracterizar la influencia de las distintas variaciones estacionales. A efectos de predicción se utilizara el valor medio de los datos obtenidos, a no ser que se tengan datos suficientes para efectuar la simple integración a lo largo del tiempo.

F. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

F.1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA POLARIZACION.

Los potencióstatos ó galvanostatos son los instrumentos capaces de medir la Resistencia a la Polarización (R_p), que se relaciona con la i_{corr} a través de la fórmula de Stern y Geary.

$$R_p = \frac{B}{i_{corr}}$$

Donde:

R_p = Resistencia a la polarización, en mV, con aproximación a una décima.

B = Constante de uso (26,0 – 52,0 mV).

i_{corr} = Velocidad o intensidad de corrosión, en $\mu A/cm^2$ con aproximación a dos décimas.

Para ensayos de campo usar el valor de 26,0 mV, el cual corresponde a acero de refuerzo corroyéndose.

La Rp resulta de aplicar una pequeña perturbación eléctrica al acero de refuerzo y medir el cambio de potencial ó intensidad que se produce, estas perturbaciones no deben causar un cambio mayor de $\pm 20,0$ mV.

$$R_p = (\Delta E / \Delta i)_{\Delta E \rightarrow 0}$$

Los valores obtenidos en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ se pueden transformar en pérdida de espesor entre el tiempo mediante la Ley de Faraday

$$\frac{\mu\text{m}}{\text{año}} = \frac{M}{\delta n \cdot F} \cdot i_{\text{corr}} = 11.6 \cdot i_{\text{corr}}$$

Donde:

M = Masa atómica del metal.

n = Número de electrones transferidos.

F = Constante de Faraday (96500,0 coulombios).

δ = Densidad del metal.

La medida se puede efectuar en probetas de pequeño tamaño y área de acero conocida. Su aplicación a pie de obra exige conocer la longitud de barra sobre la que actúa la corriente. Para ello existen dos posibilidades:

F.1.1. Calcular la Rp "aparente" como se ve en la Figura 1, de este Manual y aplicar las ecuaciones matemáticas desarrolladas por S. Feliú.

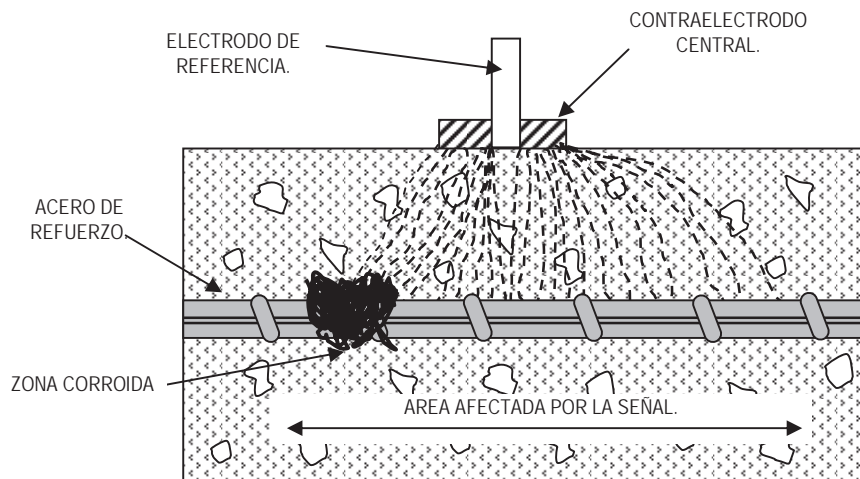


Figura 1. Muestra de un Campo Eléctrico no Confinado.

Existen corrosímetros comerciales para medidas in situ, sus resultados deben de ser calibrados con ensayos en laboratorio si no se tiene la garantía de su correcto funcionamiento. Estos corrosímetros pueden medir simultáneamente el potencial de corrosión (E_{corr}), la resistividad y la i_{corr} , y constan de los siguientes elementos básicos:

- Potenciostato/ Galvanostato.
- Equipo de cómputo o adquisición de datos.

- Sensor que contiene los electrodos.
- Esponjas, cables, agua y electrodos de repuesto.

F.1.2. Usar un sensor que contenga un electrodo de “guarda” monitorizado. Este procedimiento confina el campo eléctrico en una superficie determinada. Figura 2, de este Manual.

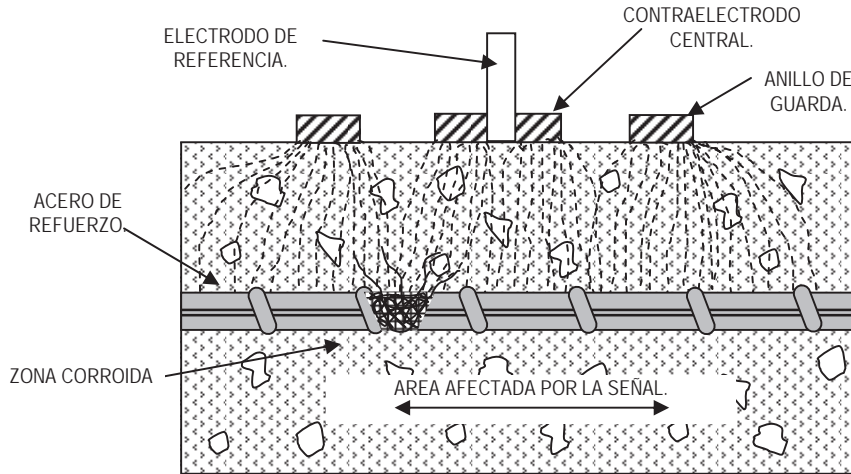


Figura 2. Muestra de un Campo Eléctrico Confinado por medio de un electrodo de guarda.

G. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

El límite entre corrosión activa y pasividad se sitúa entre 0,1 - 0,2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ Figura 3 de este Manual; que en corrosión generalizada suponen 1,0 -2,0 mm/año. Este límite se aplica cuando el proceso da lugar a la formación de herrumbre (óxidos expansivos que fisuran el recubrimiento). En el caso de que el óxido sea invisible al ojo humano, velocidades incluso de 0,5 -1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ no dan lugar a fisuración del recubrimiento, al no tener estos óxidos carácter expansivo.

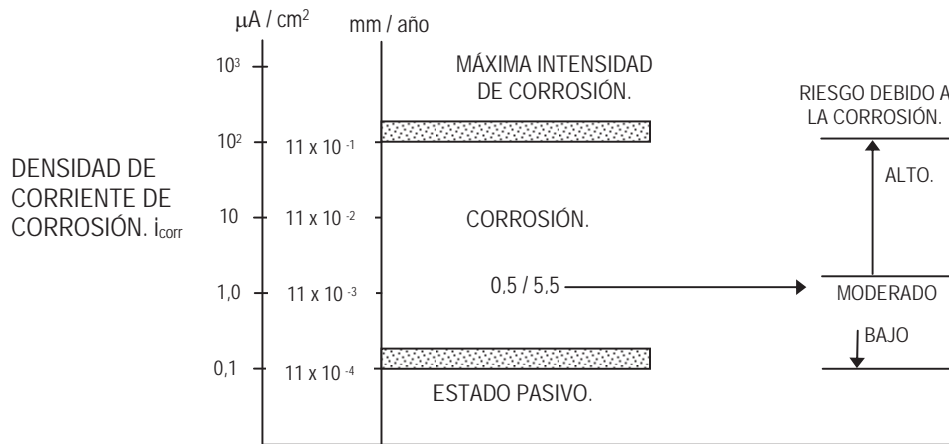


Figura 3. Criterio de evaluación de los resultados de velocidad de corrosión del acero de refuerzo.

Una clasificación de los valores de la Densidad de Corriente de Corrosión (i_{corr}), en términos de vida útil sería la siguiente:

i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nivel de Corrosión.
< 0,1	Despreciable.
0,1 - 0,5	Moderado.
0,5 - 1,0	Elevado.
> 1,0	Muy Elevado.

Los valores máximos que se han detectado en ensayos de laboratorio son del orden de 100,0 – 200,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. A pie de obra valores por encima de 1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ se detectan muy ocasionalmente y resultan valores de corrosión muy elevados en términos de vida útil.

Acero de refuerzo que se corroe a 0,1 - 0,2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ produciendo óxidos expansivos provocarán en un período de 10 a 20 años la fisuración del recubrimiento del elemento de concreto. Valores de 1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, la producirán en un periodo de 1 a 2 años. Todos estos valores se basan en considerar corrosión generalizada.

Cuando la corrosión es localizada se calcula la penetración local máxima del ataque, multiplicando por 10,0 el valor medio de las mediciones realizadas. Así, para un valor de i_{corr} de 0,3 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (3 $\mu\text{m}/\text{año}$ de penetración homogénea) se puede calcular que en caso de ataque localizado, la máxima profundidad de picaduras será de 30 $\mu\text{m}/\text{año}$.

Los valores de velocidad de corrosión se pueden utilizar también para estimar la pérdida de capacidad portante estructural.

H. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS.

NORMA.	DESIGNACIÓN.
Electrochemical Methods for On-Site Determinations of Corrosión Rates of Rebars.....	Feliú, S., González, J.A. and Andrade, C.
Techniques to Asses the Corrosión Activity of Steel Reinforced Concrete Structures. Neal S. Berque, Edward Escalante, Charles K. Nmai and David Whiting, Eds., ASTM. (1996).	ASTM STP1276.
Corrosion Rate Monitoring in the Laboratory and On-Site Construction and Building Materials, Vol. 10 No. 5.....	Andrade, C. and Alonso, C.
Progress on Design and Residual Life Calculation with regard to Rebar Corrosion of Reinforced Concrete.....	Andrade, C. and Alonso, C.
Corrosion Detecting Probes for use with a Corrosion Rate Meter for Electrochemically Determining the Corrosion Rate of Reinforced Concrete Structures". U.S. Patent No. 5.259.944 (1993).....	Feliú, S., González, J.A., Feliú, S. Jr., Escudero, M.L., Maribona, Y., Austin, V., Andrade, C, Bolaño, J.A., Jiménez, F.
Comparison of Rates of General Corrosion and Maximum Pitting Penetration on Concrete Embedded Steel Reinforcement". Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 2 (1995). pp. 257-264.....	González, J.A., Andrade, C, Alonso, C. and Feliú, S.
Medicion de potenciales de media celda del acero de refuerzo Desnudo en concreto, Instituto Mexicano del Transporte IMT.....	No. ET-009

Algunas de las normas (manuales) anteriores, presentan en su clave de designación una letra "X", la cual se colocó porque en el Índice general de la normativa actual podría haber problema con la numerología de designación, por nuestra parte la dejamos como una variable para en su caso la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, adjudique el número correcto en ese espacio y podamos tener una clave de designación correcta y conforme al Índice General de la Normativa.

Concluimos con la norma de la página anterior el Anteproyecto de Normativa de la SCT, para la posterior evaluación de la durabilidad de las estructuras existentes de concreto reforzado, esperando puedan ser evaluadas por la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, y editadas a la brevedad para su aplicación; es necesario que la difusión de esta normas se haga por medio de cursos de capacitación a todos los centros SCT, principalmente al personal de Servicios Técnicos como a Conservación; es sabido que el IMT ha realizado varios cursos de nivel nacional e internacional para la difusión de las investigaciones en materia de corrosión de estructuras de concreto, de los cuales yo personalmente he asistido a tres de esos cursos, para el desarrollo de este trabajo de tesis.

6. CONCLUSIONES.

Después de haber finalizado el anteproyecto de normativa, para la evaluación de la durabilidad de las estructuras de existentes de concreto reforzado, nos hemos dado cuenta de las necesidades y beneficios que la aplicación de esta normativa traerá consigo, es por esto que realizamos las siguientes conclusiones al presente trabajo de tesis.

1. A fin de evitar que en el corto y mediano plazo se presenten fallas graves en las estructuras, provocadas por los efectos de la corrosión, es necesario comenzar con la evaluación por durabilidad de los puentes federales de nuestro país. Esta evaluación se deberá realizar por un equipo multidisciplinario de corrosión, estructuras y técnicas de construcción; pudiendo ser personal de la SCT, ó de empresas particulares externas. Apoyándose en las herramientas tecnológicas de vanguardia como son los sistemas satelitales de posición geográfica y equipos de pruebas de corrosión que nos permitirán buscar la manera de conservar la infraestructura del país.
2. Se generaron en este anteproyecto de tesis, dos normas de inspección de estructuras de existentes de concreto reforzado, ocho manuales de procedimientos de prueba a concreto hidráulico y tres manuales de procedimientos de prueba a acero de refuerzo; facilitando la inspección y evaluación por medio de una metodología al personal de la SCT, así como a las empresas que se dedican a los estudios y proyectos de rehabilitación de estructuras de concreto. Todas las normas fueron diseñadas con el formato y redacción que marca la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.
3. El presente anteproyecto de normativa, permitirá la regulación de los métodos de prueba aplicados en las investigaciones del país, ampliando el conocimiento tanto científico como experimental de acuerdo a los resultados que se erogan de las inspecciones de las estructuras de concreto existentes. Siendo un ejemplo para otros países; es importante señalar que la Normativa de la SCT, es una de las más importantes en el Continente Americano, después de la AASHTO y ASTM, conforme a Infraestructura del Transporte.
4. La información que se obtenga por medio de la aplicación de la normativa para la evaluación de durabilidad, beneficiará de manera sustancial la efectividad del programa SIPUMEX, proyecto único en el mundo en cuanto a su extensión territorial y capacidad de coordinación. En la actualidad otros países como España, Venezuela, Brasil y Argentina están interesados en el sistema alimentado por el inventario de puentes mexicanos, para aplicarlo en su propia infraestructura del transporte.
5. El anteproyecto de normas presentado será la base de la normativa que la Coordinación de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, revisará, editará y publicará; esperando esto sea en un lapso no mayor a un año. Regulando las licitaciones y el otorgamiento de contratos a empresas que puedan cumplir con el objetivo de ofrecer el proyecto de conservación, rehabilitación ó reconstrucción de la estructura de concreto más adecuado desde el punto de vista de Durabilidad.
6. El necesario que las autoridades que distribuyen la inversión del país, estén consientes del deterioro por corrosión que las estructuras existentes de concreto reforzado presentan, además de que estos deterioros son de gran magnitud debido a su impacto económico, por lo cual es importante conocer las causas de su origen y desarrollo, conservando y

haciendo efectivas las reparaciones en la estructuras a fin de asegurar y/o prolongar la vida útil de las obras civiles, aplicando el concepto de atacar el problema de raíz, disminuye las malas prácticas de la ingeniería y aumenta el nivel de servicio (seguridad, estética y funcionalidad) de la Infraestructura del transporte del país.

7. Los Ingenieros Civiles que participen o supervisen las evaluaciones de estructuras existentes de concreto reforzado, deben tener estudios mínimos ó básicos en el área de la química y resistencia de los materiales así como de las técnicas necesarias de electricidad para realizar las evaluaciones; por lo que será necesario implementar programas educativos desde el nivel Licenciatura, que expongan el problema de carbonatación en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo como base para elaborar un diseño estructural y no posteriormente ver como realizar reparaciones por estos daños.
8. Por las razones anteriores, el diseño del concreto para uso estructural, debe ser apegado a los requerimientos específicos de servicio y durabilidad para cada estructura de acuerdo al sitio en que sea construida; es decir, no solamente para resistir cargas verticales vivas, muertas ó accidentales, sino para resistir el ataque de los agentes químicos y del medio ambiente que predominaran en la zona de destino de la estructura.
9. Esperamos que este trabajo de tesis sea el impulsor de la creación de normativa sobre los métodos adecuados para reparación de estructuras dañadas por corrosión. Es necesario el desarrollo de investigación sobre técnicas y materiales adecuados y efectivos para realizar las reparaciones en las estructuras de concreto, en las diferentes zonas geográficas del país.
10. Modificar los Reglamento de Construcciones aplicables a los estados de la república con un carácter normativo donde se estipule el uso de un diseño por durabilidad en las estructuras de concreto, además de ser más rígido en los aspectos constructivos actuales como lo son; el uso de aceros limpios, recubrimientos para el acero de refuerzo, el diseño de concretos durables, los materiales y las zonas geográficas, entre otras cosas.

7. REFERENCIAS GENERALES Y BIBLIOGRAFIA.

1. El Uso De Nuevas Tecnologías en el Mantenimiento/Conservación en la Infraestructura de Puentes en México que presentan daños por corrosión. Andrés Antonio Torres Acosta, Miguel Martínez Madrid, Angélica del Valle Moreno y José Trinidad Pérez Quiróz. Instituto Mexicano del Transporte Querétaro, México.
2. Corrosión en Estructuras de Concreto armado: Teoría, inspección, diagnóstico, Vida Útil y reparaciones. Pedro castro Borges. IMCYC (1998)
3. Publicación Técnica No. 204. IMT. Cambios en Rigidez y Resistencia a la Flexión en Vigas de Concreto Dañadas por Corrosión del Refuerzo. Dr. Andrés Torres A. (et,al)
4. Publicación Técnica No. 122. IMT. Estudios de Corrosión en Puentes de Concreto Pre-esforzado. Francisco Javier Carrión Viramontes, Jaime Hernández Rivera, Miguel Antonio Acosta Esqueda.
5. B. Tang, y W. Podolny, "A Successful Beginning for Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composite Materials in Bridge Application, Proceedings, International Conference on Corrosion and rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, Orlando, Florida, USA, 7-11 de diciembre, 1998.
6. Programa Nacional de Conservación de Carreteras, Secretaría de Infraestructura. Dirección General de Conservación de Carreteras. SCT, Octubre 2005, Diciembre 2006, Junio 2007. www.sct.gob.mx, <http://dgcc.sct.gob.mx/index.php?id=704>
7. Reparaciones inadecuadas aceleran la corrosión de la acero de refuerzo, estudio de caso. Orlando Pérez, Oladis T. de Rincón, José Bravo (et all). Artículo No. 4 de las Memorias del Tercer Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto Metal. Veracruz, Ver. Octubre 2000. SCT, IMT.
8. Publicación Técnica No. 181. IMT. Diseño de estructuras de Concreto con criterios de Durabilidad. Andrés Torres Acosta, Miguel Martínez Madrid, Sanfandila, Querétaro, 2001.
9. DURAR, Red (1997), "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado", CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Subprograma XV Corrosión/Impacto Ambiental sobre Materiales (Maracaibo, Venezuela: CYTED, 1997).
10. Publicación Técnica No. 182. IMT. El fenómeno de la corrosión en Estructuras de concreto reforzado. Angélica del Valle Moreno, Tezozómoc Pérez López, Miguel Martinez Madrid. Sanfandila, Querétaro, 2001.
11. Publicación Técnica No. 210. IMT. El uso de una pintura de rica en Zinc como sistema de protección catódica en Concreto. Andrés A. Torres Acosta, Angélica del Valle Moreno, José Trinidad Pérez Quiróz, Miguel Martínez Madrid, Sergio Camacho Hurtado. Sanfandila, Querétaro, 2002.

12. Infraestructura de concreto Armado; deterioro y opciones de preservación. Cordinador: Pedro Castro Borges y Autores varios. IMCYC 2001.
13. Rehabilitar. Manual de rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección. Paulo Helene, Fernanda Pereira, Proyecto de difusión Tecnológica. CYTED. São Paulo, Brasil 2003.
14. Comité Euro-International du Beton. CEB-FIP Model Code 1990. "Design Code. Lausanne, CEB, Thomas Telford, Bulletin D'Information. 1993. pp 213-214.
15. Comité International du Batiment. Buidiling Pathology. "A State of the Art Report" CIB Report W-86, Publication 155, 1993.
16. Internacional Organization for Standardization ISO 1920. "Concrete Tests. Dimensions, Tolerances and Applicability of Test Specimens.
17. European Comité fos Standardization Cocrete, Performance, Production, Placing and Compliance criteria. ENV 206. s.l. CEN, 1991.
18. Comité Latino-americano de Estructuras. Asociación voluntaria que reúne especialistas de distintos países latinoamericanos con vistas de uniformización de normas de proyecto de estructuras de concreto.
19. American Concrete Institute. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete". Reported by ACI Committee 318. In: ACI Manual of Concrete Practice. Vol. 3. Detroit. 1996.
20. International Organization for Standardization. ISO 9000 / 9001 / 9002 / 9003 / 9004. "Quality Management and Quality Assurance Standards". Guidelines for selection and Use. Bern. 1887.
21. International Organization for Standardization. ISO 14000.
22. COST 509 Workshop. "Corrosión and Protection of Metals in Contact with Concrete". Comisión of the European Communities. European Co-operation in the field of scientific and technical research. Seville, Spain. 1995.
23. COMETT Project 7352/Cb. Concrete Repair. The Investigation: Inspection and Assessment". Madrid, Spain. 1994.
24. American Concrete Institute. ACI 546. In: ACI Manual of Concrete Practice. Vol. 1. Detroit. 1996.
25. Grupo Español del Hormigón. "Durabilidad de Estruturas de Hormigón". GEHO, Guía de Diseño CEB (Boletín, 12) Madrid, España. 1993.

26. RILEM124SRC. "REPAIR Strategies for Concrete structures Damaged by Steel Corrosion / Stratégies de reparation des dommages dûs à la corrosion des armatures du béton". France 1994.
27. Reunion Interationale de Laboratoires D'Essais et Materiaux. "Durability design of Concrete Structures". Report of RILEM Technical Committee 130-CSI. Espoo, RILEM, E & FN Spon, 1996.
28. SHRP Conctract C-103. "Concrete Bridge, Protection, Repair and rehabilitation relative to reinforced Corrosion". A methods Application Manual. Publication SHRP S-360.

BIBLIOGRAFÍA USADA, Y SITIOS WEB CONSULTADOS.

1. Catálogo de equipo para la aplicación de pruebas no destructivas. NDT-2007 SYSTEMS de la empresa GERMANN INSTRUMENTS. www.ndt-titans.com.
2. ASTM. American Standard Testing Materials. www.astm.org.
3. AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. www.transportation.org
4. ACI. American Concrete Institute. www.aci-int.org/general/home.asp
5. NACE. National Association of Corrosion Engineers. www.nace.org/nace/index.asp.
6. PCA. Portland Cement Asosociation. www.cement.org
7. Memorias del segundo curso internacional sobre corrosión en puentes y estructuras concreto-metal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. Campeche, Campeche. 6 al 11 de Septiembre de 1999.
8. Memorias del tercer curso Internacional sobre corrosión en puentes y estructuras concreto-metal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. Veracruz, Veracruz. 16 al 20 de Octubre de 2000.
9. Curso Internacional sobre Inspección, Durabilidad y Monitoreo de la Integridad Estructural de Estructuras de Concreto. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila Querétaro. 25 al 29 de Septiembre de 2006.
10. Memorias Raymundo Rivera. Simposio Internacional Durabilidad del Concreto, Facultad de Ingeniería civil de la UANL, Monterrey N.L. Mayo 2005.
11. Durabilidad de estructuras de concreto en México. Previsiones y recomendaciones, Manuel Mena Ferrer. IMCYC. 2005.
12. Infraestructura de concreto armado, deterioro y opciones de preservación. Coordinador Pedro Castro Borges. Varios autores. IMCYC. 2001.
13. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

8. ANEXOS.

1. Resumen Nacional del Programa Nacional de Conservación de Carreteras. Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Conservación de Carreteras. SCT. México.
2. SIPUMEX. Resultados de evaluación del puente Bejucalillos, en el estado de Michoacán.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida. Extracto de páginas importantes aplicadas al anteproyecto de normativa aquí expuesto.

GLOSARIO. [9]

Acero: Aleación hierro - carbono, con un contenido máximo de carbono del 2%.

Adherencia: Fuerza de unión entre el concreto y el acero.

Aditivo: Sustancia que se incorpora al concreto, antes o durante el amasado y/o durante un amasado suplementario en una proporción no superior al 5% en peso del cemento, con una finalidad concreta.

Agente Agresivo: Componente del medio al que es atribuible la acción corrosiva sobre el acero.

Agua Salobre: Agua con un moderado contenido de sales disueltas, inferior al agua de mar.

Agrietamiento: Roturas en el concreto siguiendo una trayectoria única o ramificada.

Aireación Diferencial: Diferente concentración de oxígeno en zonas distintas de un mismo material que puede ocasionar corrosión localizada del metal.

Ánodo: Zona del metal donde tiene lugar la reacción de oxidación. Lugar donde se produce la corrosión del acero.

Ánodo de Sacrificio: Metal activo empleado como ánodo en sistemas de protección catódica.

Amasado: Operación que se realiza para lograr una mezcla homogénea de los materiales que constituyen el concreto.

Áridos (agregado pétreo inerte): Materiales generalmente inertes, naturales o no, y de forma estable, apropiados para la confección de morteros y concretos.

Acero de refuerzo: Conjunto de barras o cables de acero que se colocan dentro de la masa del concreto y hacen que el mismo sea apto para resistir esfuerzos de flexión, cortante, tracción, etc., o para mejorar su resistencia a la compresión.

Barras Corrugadas; Barras de acero que presentan relieves en su superficie a fin de mejorar la adherencia del concreto.

Caída Ohmica: Diferencia de potencial entre dos puntos de una resistencia por la que pasa una corriente. Se conoce también como caída IR.

Cangrejas, Oquedades ó Nidos de Abeja: Espacios vacíos de corta extensión en el concreto.

Capa Pasivante: Película, de unas decenas de ángstrom, de óxidos, oxígeno adsorbido o muchas veces, de naturaleza desconocida, que al formarse sobre el metal reducen la velocidad de corrosión.

Carbonatación del Concreto: Disminución del pH producido por la reacción de los componentes ácidos del medio (en la atmósfera, dióxido de azufre y dióxido de carbono, principalmente) con la fase líquida intersticial del concreto.

Cátodo: Zona del metal donde tiene lugar la reacción de reducción.

Cemento: Conglomerante hidráulico: material de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molido y convenientemente amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis y de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Cenizas Volantes: Residuos sólidos recogidos por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales térmicas alimentadas con carbonos pulverizados.

Colada o Vaciado del Concreto: Operación de vaciar o verter el concreto en el proceso de construcción.

Control de Corrosión: Mantenimiento de la velocidad de corrosión y de la forma de ataque en el sistema concreto / armadura en un nivel y morfología tolerable y a un costo aceptable.

Corriente de Polarización: Corriente que induce a un cambio de potencial del electrodo.

Corriente Impresa: Corriente continua suministrada por una fuente externa al sistema electroquímico para la protección catódica de una instalación.

Corrosión: Oxidación destructiva de un metal / aleación por el medio que lo rodea.

Corrosión Atmosférica: Corrosión de un metal/aleación por especies químicas presentes en la atmósfera, generalmente al aire libre.

Corrosión en Espacios confinados: Ataque localizado debido a la formación de pilas de concentración en hendiduras o áreas de difícil acceso entre el acero y el concreto.

Corrosión Galvánica: Corrosión del acero debida al contacto eléctrico con otro material de actividad diferente y expuesta en el mismo medio.

Corrosión Uniforme: Corrosión uniformemente distribuida sobre la superficie del metal, que se desarrolla a una velocidad similar en todos los puntos de dicha superficie.

Corrosión por Corrientes Vagabundas: Corrosión debida a corrientes erráticas que se escapan de instalaciones eléctricas. Estas son corrientes que penetran en el metal y lo corroen en el punto de salida hacia el medio.

Corrosión por Picadura: Ataque muy localizado que produce una penetración apreciable en el metal.

Corrosividad: Agresividad o potencial corrosivo de un medio.

Curado: Proceso a través del cual ocurren las reacciones químicas necesarias para la formación de la matriz del aglomerante en el concreto. Tratamiento que se da a un concreto, mortero, etc., una vez colocado, consiste en mantener húmeda la superficie para evitar la rápida evaporación del agua.

Degradación del Concreto: Pérdida o reducción de las propiedades físico – químicas del concreto.

Delaminación: Desprendimiento de fragmentos del concreto a causa de las tensiones generadas por la corrosión del acero o por dilataciones y contracciones diferenciales.

Densidad de Corriente: Intensidad de corriente por unidad de superficie del electrodo.

Depósito: Sustancia extraña que, procedente del entorno, se deposita sobre la superficie de un material.

Diagramas de Pourbaix: Diagrama con el pH y los potenciales de equilibrio como coordenadas que muestran las fases de equilibrio cuando un metal reacciona con una solución acuosa de un determinado electrolito.

Ductilidad: capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable de su capacidad resistente.

Durabilidad: Término referido a una estructura, indica la vida en servicio remanente de la misma.

Eflorescencia: Sal soluble en agua exudada y depositada en el exterior del concreto.

Electrodo: Metal en contacto con un medio electrolítico.

Electrodo de Cobre/Sulfato de Cobre: Electrodo formado por cobre en contacto con una solución de sulfato de cobre (generalmente saturada). Muy utilizado como electrodo de referencia en ensayos de campo en estudios de corrosión.

Electrodo de Referencia: Semipila prácticamente no polarizable (potencial constante). Sirve para medir y controlar el potencial del electrodo sometido a estudio.

Electrodo de Trabajo: Probeta de ensayo o electrodo sometido a estudio en una celda electroquímica.

Electrolito o Conductor iónico: Medio que conduce la corriente a través de la movilidad de los iones contenidos en él.

Escorias: Subproductos resultantes de la combinación de las gangas de los minerales metálicos, o del refinado de los metales, con los fundentes y materiales de afinado empleados en los distintos procesos metalúrgicos.

Esfuerzo de Tracción: Conjunto de fuerzas normales, iguales y opuestas, que tienden a producir el alargamiento de la pieza o elemento en el que actúan.

Espesor de Recubrimiento: Mínima distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo de la pieza.

Estrizo: Barra de acero situada en un plano perpendicular al de la directriz, que une transversalmente las armaduras longitudinales de un elemento de concreto armado y que, además de dar rigidez a la armadura sirve para absorber esfuerzos cortantes.

Estructura: Elemento o conjunto de elementos que forman la parte resistente y sustentante de una construcción.

Factor de Picadura: Relación entre la penetración de la picadura más profunda y la penetración media calculada a partir de la pérdida de peso del material.

Fatiga: Fenómeno que ocasiona la fractura debido a la aplicación de esfuerzos fluctuantes, de valores inferiores al de la resistencia a la tracción del material.

Ficha de Antecedentes: Soporte de información que permite el almacenamiento de datos o historia patológica de la estructura.

Fragilización por Hidrógeno: Pérdida de ductilidad causada por la entrada de hidrógeno en el acero.

Galvanización en Caliente: Recubrimiento del acero por inmersión en un baño de zinc fundido.

Gel de Exudación: Fenómeno según el cual se produce una acumulación progresiva en la superficie de una masa de concreto fresco de parte del agua de mezcla, fenómeno este que acompaña la compactación y sedimentación del concreto.

Grietas o Fisuras: Hendidura, raja o abertura que se forma en el concreto.

Herrumbre: Producto de corrosión del hierro y aleaciones de base hierro, de color pardo rojizo, compuesto principalmente por óxido férrico hidratado.

Hidróxido: Radical químico OH, de naturaleza básica.

Hidrófobo: Propiedad de repeler el agua.

Concreto: Material que se obtiene mediante la mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava, y agua.

Concreto Armado: Unión de dos materiales, concreto y acero, trabajando en forma combinada, en la cual el concreto resiste los esfuerzos de compresión y las barras corrugadas de acero los de tracción.

Concreto Postensado: El acero se tensa y se ancla contra el concreto después de que este ha adquirido la resistencia adecuada.

Concreto Pretensado: El acero se tensa apoyándose en algunos soportes o en los moldes, antes de colar el concreto. Después que el concreto ha adquirido suficiente resistencia los tendones se sueltan de sus anclajes temporales y de esta forma transmiten su esfuerzo al concreto, generalmente por adherencia cerca de sus extremos.

Humedad Crítica: Valor de la humedad relativa por encima de la cual se hace patente la corrosión atmosférica del acero la cual, por encima de este umbral, aumenta de manera acentuada con el grado de humedad.

Humedad Relativa: La relación, expresada como porcentaje, entre la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera a una temperatura dada y la cantidad requerida para la saturación a la temperatura indicada.

Impregnación del Concreto: Incorporación de las moléculas de un líquido a los poros e intersticios del concreto endurecido.

Indicadores de Color: Sustancia química que se adiciona a un medio para indicar, por un cambio de color, si se ha alcanzado o no un nivel específico de pH. Se utiliza, por ejemplo, para determinar carbonatación en concreto.

Inhibidor de Corrosión: Sustancia o mezclas de sustancias que adicionadas en mínimas concentraciones en el medio son capaces de reducir de manera eficaz la velocidad de corrosión del acero.

Inmunidad: Estado en el que se elimina la corrosión por imposición a la superficie metálica de potenciales más negativos que el potencial de equilibrio de la semirreacción anódica de oxidación.

Ion: Átomo o grupo de átomos con carga eléctrica.

Juntas de Dilatación: Espacio que se deja entre dos elementos estructurales contiguos a los fines de permitir el movimiento libre de cada uno de ellos.

Lixiviación del Concreto: Proceso de extracción de componentes solubles, por percolación del agua, a través del concreto.

Material Puzolánico: Producto natural o artificial capaz de combinarse con la cal grasa, hidráulica o de hidrólisis de cementos (portlandita) a la temperatura ambiente y en presencia de agua, para formar compuestos hidráulicos semejantes a los originados en la hidratación de los constituyentes del clinker Portland.

Medio Ambiente: Entorno o condiciones físicas y químicas de un material o sistema.

Medio Industrial: Entorno en el cual existe alta contaminación con SO_2 , material en forma de partículas y otros contaminantes.

Medio Marino: Entorno en el cual los principales factores corrosivos son las partículas de NaCl que el viento dispersa.

Medio Rural: Entorno que no posee contaminantes químicos fuertes pero puede contener polvos orgánicos e inorgánicos. Sus principales constituyentes son la humedad y gases como CO_2 y O_2 .

Medio Urbano: Entorno que se caracteriza por la presencia de SO_2 , polvo, gran cantidad de CO_2 y otros contaminantes.

Membrana Orgánica: Estructura de forma laminar elaborada de componentes orgánicos que puede utilizarse para recubrir el concreto.

Metal Activo: Se refiere a la dirección negativa del potencial del electrodo. Metal que se está corroyendo o tiene tendencia a corroerse.

Metal Noble: Un metal que normalmente se encuentra en la naturaleza en su forma elemental. También se denominan así a aquellos metales o aleaciones que presentan muy baja tendencia a reaccionar en un medio específico.

Mortero: Mezclas de un aglomerante, arena y agua, que se emplean en construcción por su capacidad de fraguar.

Mortero de Cemento: Mortero en el que se emplea cemento como aglomerante. Se diferencia del concreto en el tamaño de los áridos o agregados inertes, mucho más finos en el mortero al tratarse de arena.

Muestra: Conjunto de probetas extraídas de (o de mediciones efectuadas en) los componentes o elementos seleccionados como representativos de un lote.

Nivel Freático: Altura de agua subterránea contenida en el suelo.

Oxidación: Pérdida de electrones de un metal /aleación en una reacción. En un sistema electroquímico tienen lugar en el ánodo.

Pasivación: Reducción de la velocidad de oxidación de un metal, por la formación de productos de reacción sobre su superficie.

Pasivante: Agente que produce la pasivación. Varía el potencial del metal hacia valores más positivos (nobles).

Percolación: Acción de pasar un fluido a través de un material.

pH: Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. En sentido estricto, es el Logaritmo del inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución. El valor 7 de pH corresponde a solución neutra, los valores inferiores a medios ácidos y los superiores a medios alcalinos.

Pila de Concentración: Pila de corrosión cuya diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo se debe a diferencias en la concentración de uno o más constituyentes electroquímicamente reactivos, como el oxígeno disuelto en el electrolito.

Pintura: Mezcla líquida que aplicada sobre una superficie tiene la propiedad de formar una capa continua y de transformarse en película sólida.

Polarización: Variación del valor del potencial de un electrodo debido al paso de corriente, a consecuencia de efectos tales como transferencia de carga, transporte, reacción química, etc. El potencial de un ánodo

se desplaza hacia valores mas positivos (más noble) y el de un cátodo hacia más negativo (más activo). Si esta variación es muy pequeña se dice que el electrodo no es polarizable.

Porosidad: Cociente entre el volumen de los poros y el volumen aparente del concreto. Porcentaje de huecos formados por canales visibles o invisibles en el concreto.

Poros Capilares: Intersticios entre los granos o partículas constituyentes de medio sólido discontinuo, como el concreto.

Potencial del electrodo: Diferencia de potencial de un metal medida con relación a un electrodo de referencia, sin caída ohmica.

Potencial de Equilibrio: Potencial de un electrodo en una disolución en estado de equilibrio.

Potencial de Corrosión: Es el potencial de un metal que se corroe en un medio dado (concreto), sin flujo de corriente externa.

Protección Catódica: Reducción o eliminación del fenómeno de corrosión de una superficie metálica, por medio de una polarización catódica que desplace su potencial hasta valores menos oxidantes, mediante el uso de ánodos de sacrificio o de corriente impresa.

Protección por Sacrificio: Disminución de la corrosión de un metal por acoplamiento con otro metal mas anódico.

Puzolana Natural: Principalmente rocas tobáceas, volcánicas, vítreas, de naturaleza traquitita alcalina o pumítica. También las harinas fósiles de naturaleza silícica, como la diatomita.

Red de Grietas: Conjunto de grietas en forma de mallas poligonales a veces limitadas a la superficie del cuerpo.

Repasivación; Fenómeno constante en la recuperación al estado pasivo en toda la superficie de un metal que lo habían perdido localmente, corroyéndose por picaduras.

Resistencia Mecánica de un Concreto: Tensión a la cual se produce la rotura del concreto.

Sales de Deshielo: Sales usadas con el fin de bajar o descender el punto de congelación del hielo.

Semipila: Sistema formado por un metal en contacto con un electrolito. Entre el metal y la disolución se establece una diferencia de potencial, y la unión de dos semipilas da lugar a una pila.

Serie Electromotriz: Relación de especies químicas ordenadas según el valor de potenciales estándar.

Serie Galvánica: Relación de metales y aleaciones ordenados según el valor de los potenciales de corrosión en un medio determinado.

Solicitación: Conjunto de esfuerzos que actúan sobre un elemento.

Tablero de Puente: Estructura plana de un puente sobre la cual se ha colocado el pavimento transitable y que descansa sobre la estructura aérea de las vigas, arcos, etc., dispuestos en toda su longitud.

Testigos o Núcleos: Porción finita de concreto representativa de la calidad o condiciones medias de la estructura en que se toma.

Trituración o Molturación: Desmenuzar el concreto o mortero sin reducirlo enteramente a polvo.

Velocidad de Corrosión: Valor medido del efecto de la corrosión por unidad de tiempo y de superficie. Generalmente se expresa como perdida de peso por unidad de superficie y tiempo o penetración por unidad de tiempo.

ANEXO 1. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS DESDE EL 2005 HASTA JUNIO 2007.



SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
IRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRERTERAS
Programa Nacional de Conservación de Carreteras
Resumen Nacional

OCTUBRE 2005

PROGRAMA	META	TOTAL ASIGNACION (\$)	AVANCE FISICO	
			AVANCE	a / o
TOTAL		5,836,900,000.00		78.3
I MEJORAR EL ESTADO FISICO DE LA RED E INCREMENTAR LA SEGURIDAD		4,454,139,777.00		79.0
RECONSTRUCCION		477,302,630.00		69.6
Reconstrucción de Tramos de la Red Federal (km)	123.4	298,267,961.00	82.0	68.6
Reconstrucción de Puentes	63.0	211,014,669.00	47.9	70.9
CONSERVACION PERIODICA	8,064.5	3,090,663,742.00	6,800.1	78.0
RPC Recuperación de Pavimento y Carpeta (km)	436.7	403,890,459.00	387.4	87.9
REC Renivelaciones y Carpeta (km)	1,597.8	930,906,801.73	913.6	62.3
CAR Carpeta (km)	881.4	459,947,888.90	753.9	83.1
RES Renivelaciones y Riego de Sello (km)	1,938.6	576,749,279.04	1,749.4	89.0
RSE Riego de Sello (km)	2,830.1	381,607,965.33	2,518.2	87.1
MIC Carpeta Delgada (km)	90.1	39,854,761.00	90.1	100.0
RPS Recuperación de Pavimento y Riego de Sello (km)	31.6	24,489,779.00	26.6	72.4
FRC Fresado y Carpeta (km)	174.4	170,228,531.00	146.5	85.9
RPM Recuperación de Pavimento y Microcarpeta (km)	9.0	11,492,521.00	9.0	100.0
AA Ampliación de Acotamientos (km)	46.6	52,956,894.00	11.6	29.6
ELR Elevación de la Rasante (km)	2.4	4,083,560.00	2.1	91.0
SGC Sellado de Grietas de Concreto (km)	10.0	3,689,002.00	10.0	100.0
PMA Protección Marginal (km)	8.0	20,000,000.00	3.0	50.0
CUN Reconstrucción de Cunetas (km)	10.0	3,200,000.00	-	0.0
ET Estabilidad de Taludes (Lote)	1.0	6,469,500.00	1.0	100.0
CDV Cercado del Derecho de Vía (Lote)	1.0	2,200,000.00	0.6	50.0
MANTENIMIENTO INTEGRAL DE LA RED FEDERAL CARRETERA (km)	432.9	219,000,000.00	361.4	82.9
ATENCIÓN A PUNTOS DE CONFLICTO	179.0	229,630,903.00	112.0	55.4
SEÑALAMIENTO	43,105.5	271,755,702.00	32,510.0	80.7
OTROS SUBPROGRAMAS		165,786,800.00		
Estudios y Proyectos		100,200,000.00		
Ingeniería y Supervisión		65,586,800.00		
II MANTENER EL ESTADO FISICO DE LA RED		1,320,960,223.00		86.9
CONSERVACIÓN RUTINARIA TRAMOS (Longitud Lineal 41,333.36 km)	43,105.5	1,227,547,239.00	37,813.6	87.4
CONSERVACIÓN RUTINARIA DE PUENTES	7,004.0	93,412,984.00	5,630.1	80.6
EMERGENCIAS		61,800,000.00		



SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS
Programa Nacional de Conservación de Carreteras
Resumen Nacional

DICIEMBRE 2006

PROGRAMA	META	TOTAL ASIGNACION \$	AVANCE FISICO	
			AVANCE	%
TOTAL		6,429,442,630.24		97.8
I MEJORAR EL ESTADO FÍSICO DE LA RED E INCREMENTAR LA SEGURIDAD		3,184,718,727.24		96.9
RECONSTRUCCION		498,078,978.00		94.2
Reconstrucción de Tramos de la Red Federal (km)	94.9	267,620,794.00	76.2	89.2
Reconstrucción de Puentes	74.0	230,558,184.00	74.0	100.0
CONSERVACION PERIÓDICA	2,591.4	1,725,304,601.99	2,540.2	97.0
RPC Recuperación de Pavimento y Carpeta (km)	345.6	456,051,155.00	321.6	93.7
REC Renivelaciones y Carpeta (km)	586.3	627,403,805.00	682.8	99.4
CAR Carpeta (km)	115.6	133,918,057.00	106.9	92.1
RES Renivelaciones y Riego de Sello (km)	494.3	241,385,032.00	491.9	99.0
RSE Riego de Sello (km)	827.9	146,142,850.99	816.7	98.6
MIC Carpeta Delgada (km)	57.2	36,312,745.00	57.2	100.0
FRC Fresado y Carpeta (km)	78.3	75,381,822.00	78.3	100.0
FRS Fresado y Riego de Sello (km)	20.0	8,903,832.00	20.0	100.0
AA Ampliación de Acotamientos (km)	37.0	70,838,345.00	35.6	93.9
PMA Protección Marginal (km)	2.3	13,600,000.00	2.3	100.0
ART Arrope de Taludes	26.0	9,369,358.00	26.0	100.0
RLC Reparación de Losas de Concreto Hidráulico	1.0	8,000,000.00	1.0	99.0
MANTENIMIENTO INTEGRAL DE LA RED FEDERAL CARRETERA (km)	432.9	268,652,210.00	432.9	100.0
ATENCIÓN A PUNTOS DE CONFLICTO	115.0	192,902,303.00	102.4	93.8
SEÑALAMIENTO	43,345.2	265,018,647.00	43,244.4	99.8
OTROS SUBPROGRAMAS		234,761,987.25		
Estudios y Proyectos		99,852,898.00		
Ingeniería y Supervisión		55,026,877.00		
Adquisiciones		79,882,212.25		
II MANTENER EL ESTADO FISICO DE LA RED		1,593,740,383.00		99.6
CONSERVACIÓN RUTINARIA TRAMOS (Longitud Lineal 40,952.70 km)	43,345.2	1,489,404,362.00	43,154.3	99.6
CONSERVACIÓN RUTINARIA DE PUENTES	7,031.0	104,336,021.00	7,007.0	99.8
EMERGENCIAS		1,650,983,520.00		

**SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS
Programa Nacional de Conservación de Carreteras
Resumen Nacional**

JUNIO 2007

PROGRAMA	META	ASIGNACION	AV. FISICO %	AV. FIN. %
TOTAL		6,703,383,300.00	44.6	45.1
I MEJORAR EL ESTADO FÍSICO DE LA RED E INCREMENTAR LA SEGURIDAD		5,098,734,200.00	42.9	44.5
RECONSTRUCCIÓN		389,394,000.00	33.0	32.3
Reconstrucción de Tramos de la Red Federal (km)	36.0	92,960,000.00	28.8	34.8
Reconstrucción de Puentes	68.0	296,434,000.00	34.3	31.5
CONSERVACIÓN PERIÓDICA	7,770.5	3,935,174,200.00	45.2	48.8
CAR Carpeta (km)	643.2	379,680,769.00	46.3	51.4
RPC Recuperación de Pavimento y Carpeta (km)	742.5	859,780,545.00	36.2	39.7
REC Renivelaciones y Carpeta (km)	1,701.0	1,294,629,753.00	47.5	51.6
REM Renivelaciones y Microcarpeta (km)	16.0	7,874,000.00	96.0	95.5
RES Renivelaciones y Riego de Sello (km)	2,219.8	801,887,645.00	46.5	49.0
RSE Riego de Sello (km)	1,789.5	314,998,408.00	47.5	48.0
FRC Fresado y Carpeta (km)	139.2	119,435,181.00	73.1	75.2
MIC Carpeta Delgada (km)	75.3	31,350,899.00	27.3	41.2
AMA Ampliación de Acotamientos (km)	23.6	51,927,000.00	67.2	69.3
MIR Promai (km)	410.4	42,760,000.00	29.3	42.6
RLC Reparación de Losas de Concreto Hidráulico (Km)	10.0	25,000,000.00	4.2	20.0
CMP Colocación de Malla de Protección (km)	7.9	1,350,000.00	100.0	84.4
ET Estabilidad de Taludes (lote)	2.0	4,500,000.00	18.9	29.8
ATENCIÓN A PUNTOS DE CONFLICTO	112.0	248,251,911.00	31.5	29.1
SEÑALAMIENTO	44,756.9	362,689,589.00	35.8	36.1
OTROS SUBPROGRAMAS		163,224,500.00		10.4
Estudios y Proyectos		101,455,000.00		0.6
Ingeniería y Supervisión		60,000,000.00		27.2
Adquisiciones		1,769,500.00		0.0
II MANTENER EL ESTADO FÍSICO DE LA RED		1,604,649,100.00	49.7	47.0
CONSERVACIÓN RUTINARIA TRAMOS (Longitud Lineal 40,757.12 km)	44,756.9	1,509,168,100.00	50.0	47.1
CONSERVACIÓN RUTINARIA DE PUENTES	7,207.0	95,481,000.00	45.7	45.4

Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejuquillos.

Estado.....: Michoacán
Carretera.....: Zitácuaro - Cd. Altamirano (Ruta 51)
Kilometraje.....: 75.400
Tramo.....: Zitácuaro - Entr. El Timón
Año de construcción.....: 1961
Año de la última reconstrucción.....: 0

Paso Superior / Inferior.....: S
Dir. de km. de la car.princip.....: S
Requisitos de inspección.....: 0 Nada
Número de secciones de inspección.....: 1
Colección de datos: Fecha.....: 1994.02.08
Iniciales.....: MSG

Posición geográfica:
Latitud: 019 gra 05.85 min Longitud: 100 gra 39.54 min Altitud: 730 m

Geometría: Número de claros.....: 3
Longitud de claro mín. (m): 15.7
Longitud de claro máx. (m): 16.3
Longitud total..... (m): 48.0
Ancho total..... (m): 9.1
Ancho del camellón..... (m): 0.0
Ancho de la banq. iz. (m): 0.5
Ancho de la banq. de. (m): 0.5
Ancho de la calzada..... (m): 6.0
Ancho entre bordillos..... (m): 7.5
Ancho del acceso..... (m): 6.0
Área (m²): 436
Puente en curva..... (S/N): N
Esviajamiento..... (gra): 0

Superestructura, tipo principal:
Diseño tipo.....: S
Diseño de la sección transversal.....: 12 Losa/Viga, 2 vigas
Diseño de la elevación.....: 10 Simpl. apoyado, secc. const.
Material.....: 20 Concreto reforzado, in situ

Superestructura, tipo secundario:
Diseño tipo.....: 91 No aplicable
Diseño de la sección transversal.....: 91 No aplicable
Diseño de la elevación.....: 91 No aplicable
Material.....: 91 No aplicable

Puente: 15-010-00.0-0-08.0 Bejucalillos

Subestructura:

Estribos:	Tipo	:	10	Estribo con aleros integrados
	Material	:	10	Mampostería
	Tipo de cimentación	:	10	Cimentación directa
Pilas:	Tipo	:	10	Pila sólida
	Material	:	10	Mampostería
	Tipo de cimentación	:	10	Cimentación directa

Detalles:

Tipo de parapeto	:	30	Viga concreto, pilastre, concr.
Parapeto inclinado	:	0	
Tipo de superficie de desgaste	:	10	Asfalto
Tipo de juntas de expansión	:	12	Angulos/placas vert. de acero
Tipo de apoyos fijos sobre soportes	:	10	Junta de construcción
Tipo de apoyos móviles sobre soport.	:	10	Junta de construcción
Tipo de apoyos fijos en trabes	:	91	No aplicable
Tipo de apoyos móviles en trabes	:	91	No aplicable

Carga de diseño: HS-15
Cl. de distrib. de carga: 3 No distribución

Obstáculo que cruza:

Tipo de paso: 30 Río ó arroyo
Ident. de la carretera: Km.
Nombre de la carretera:

España libre

Sobre el puente (m): I: IM: DM: D:
Bajo el puente (m): I: 6.00 IM: 6.00 DM: 6.00 D: 6.00

Propietario: 101 DGCC/SCT (RED SECUNDARIA)
Cooperador: 15 MICHOACAN
Resp. de la inspec.: 15 MICHOACAN
Proyectista: 0 DESCONOCIDO

Observaciones:

Red Secundaria.
Río Bejucalillo.
Sentido de la corriente, de derecha a izquierda.

DECC/SCT	SIPUMEX	Fecha	Hoja
Reporte de Inspección principal		105.09.1	3
Puente: 15-018-00.0-0-08.C Bejucafillos			
Resumen cronológico:	Fecha	Actividades	
	1984.02.08	Inspección principal	
	1995.18.30	Inspección principal	
	1996.10.30	Inspección principal	
	2000.09.26	Inspección principal	
	2004.05.17	Inspección principal	
	2005.05.03	Inspección principal	
Ultima Inspección principal:			
Fecha:	2005.05.03	Iniciales:	AVF
Tempo:	SC#FA#1	Temperatura:	30
Tránsito:	TPDA		1390
	Carrus %		94
	Autobuses %		1
	Camiones %		5
Año de la próxima Inspección principal:	2007		

Puente: IS-D1A-00 A-D-08 0 Bejucahillos

Nú. Componente Descripción del daño Tipo de daño	Fo- tos	Cat ifi	Man ten	Ins Esp	Obras de reparación			
					T p	Canti	Año	Costo
1 SUPERFICIE DE FUENTE Irregular y accesos bajos. Daño en concreto / corr. acero	1	3	-		A	450	2007	67,500
2 JUNTAS DE EXPANSIÓN Instalar juntas selladas. Daño en concreto / corr. acero	1	3	-		B	36	2007	36,000
3 BANQUETA/CAMELLÓN	1	2	-					
4 PARAPETO/PASAMANOS	1	2	-					
5 CONOS/TALUDES Rellenar.	0	2	-					
6 ALEROS	0	1	-					
7 ESTRIBOS	1	2	-					
8 PILAS Reparación de concreto en pi- las 2 y 3. Desprendimiento de mampostería. Daño en concreto / corr. acero	1	4	-		A	3	2007	1,500
9 APOYOS Limpieza. Otro	1	2	-					
10 LOSA	1	2	+					
11 LARGUEROS/TRABES	1	2	+					
12 CAUCE Protección del cauce. Erosión / socavación	1	3	-		C D	90 120	2007 2007	45,000 60,000
14 PUENTE EN GENERAL	1	4	-					

DGCU/SGT	SIPUNEX Reporte de inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 5
Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucalesillos			



Componente: 1 Superficie de puente

Calif./Mantenim.....: 3 / *

Daño/Observaciones: Irregular y accesos bajos.

Tipo de daño.....: Daño en concreto / corr. acero

Obras.....: A Cambio de pavimento de asfalto

Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucalillos



Componente..... 2 Juntas de expansión

Calif./Mantenimiento..... 3 /

Daño/Observaciones.: Instalar juntas selladas.

Tipo de daño..... Daño en concreto / corr. acero
Obras..... B Cambio de junta de acero

DGCC/SCF	SIPOMEX Reporte de inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 7
Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucalillos			



Componente..... 3 Banqueta/Camellón

Calif./Mantenim..... 2 / -

Daño/Observaciones: +

Tipo de daño.....
Obras.....

DGDC/SCT	SIPUMEX Reporte de Inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 8
Puente: 15-118-00 0-0-08 0 Bejucalillos			



Componente.....: 4 Parapeto/Pasamanos

Calif./Mantenim.....: 2 / -

Daño/Observaciones..:

Tipo de daño.....:
Obras.....:

OGCC/SCT	SIPUMEX Reporte de inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 9
Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucalillos			



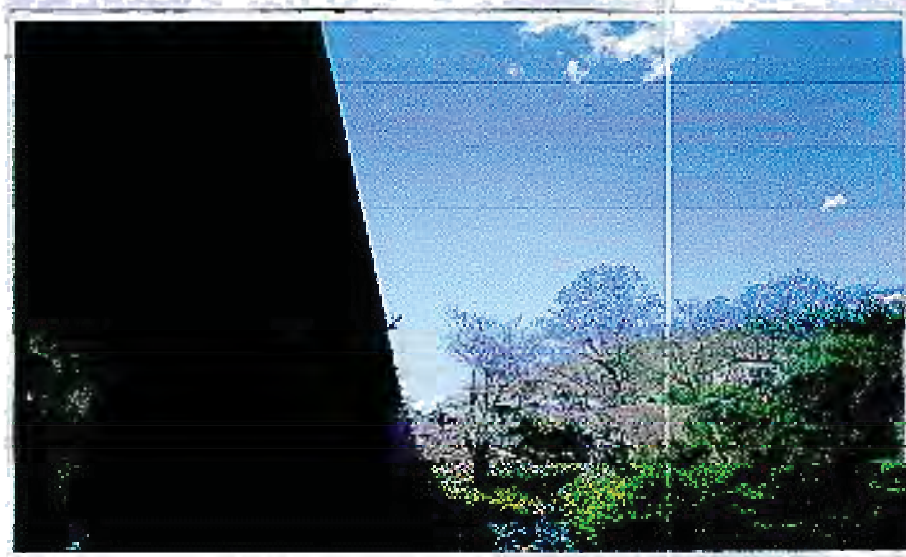
Componente.....: 7 Estribos

Catíf./Mantenim...: 2 / *

Daño/Observaciones.:

Tipo de daño.....:
Obras.....:

DGOC/SCT	SIPIMEX Reporte de Inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 10
Puente: 15-Q18-00.0-0-08.0 Bejucalillos			



Componente.....: 8 Pilas

Calif./Mantenim.....: 4 / ≠

Baño/Observaciones.: Reparación de concreto en pilas 2 y 3. Desprendimiento de mampostería.

Tipo de daño.....: Daño en concreto / corr. acero

Obras.....: A Reparación de concreto

DGCC/SCT

SIPUMEX
Reporte de inspección principal

Fecha
105.09.1

Hoja
11

Puente: 15-018-00.C-0-08.0 Bejucalesillos



Componente.....: 9 Apoyos

Calif./Mantenim.....: 2 / -

Daño/Observaciones.: Limpieza.

Tipo de daño.....: Otro

Obras.....

BGCC/SCI

SIPUMEX
Reporte de inspección principal

Fecha
105.06.1

Hoja
12

Puente: 15-018-00.0-0-08.0 BejucaTillos



Componente.....: 10 Lcsa

Calif./Mantenim.....: 2 x +

Daño/Observaciones.:

Tipo de daño.....:

Otras.....:

DGCC/SCT

SIPUNEX
Reporte de Inspección principal

Fecha
105.09.1

Hoja
13

Puente: 15-018-QQ.C-0-08.0 Bejucafillos



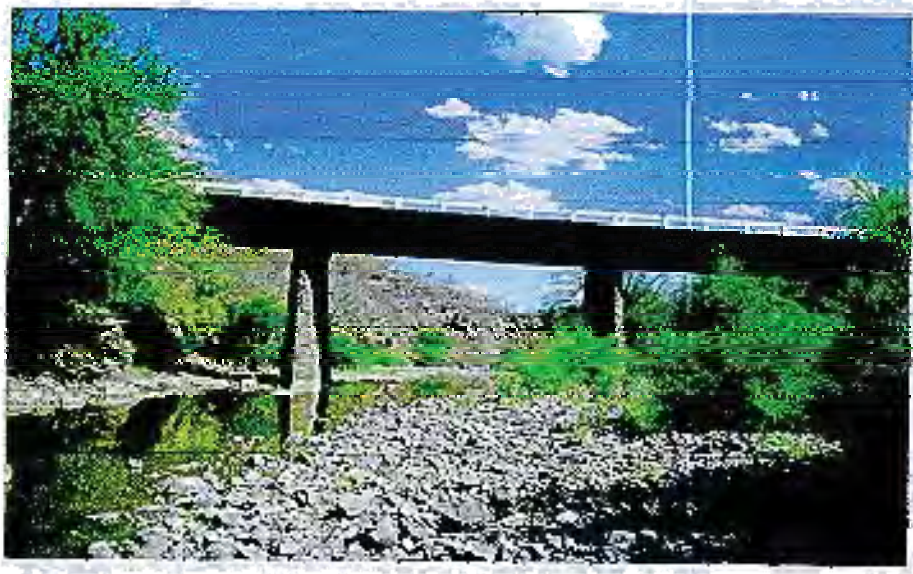
Componente.....: 11 Largueros/Trabes

Calif./Mantenim.....: 2 / +

Daño/Observaciones..:

Tipo de daño.....
Obras.....

DECC/SEF	SIPUMEX	Fecha	Hoja
	Reporte de inspección principal	106.09.1	14
Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucalillos			



Componente.....: 12 Cauce
 Calif./Mantenim.....: 3 / -
 Daño/Observaciones.: Protección del cauce.

Tipo de daño.....: Erosión / socavación
 Obras.....: C Protección del cauce
 D Gabiones

DGEC/SCT	SIPIMEX Reporte de inspección principal	Fecha 105.09.1	Hoja 15
Puente: 15-018-00.0-0-08.0 Bejucafitos			



Componente.....: 14 Puente en general

Calif./Mantenim....: 4 / 5

Daño/Observaciones:

Tipo de daño.....:

Obras.....:

En el Plan Nacional de Desarrollo se indica que es necesario adecuar el marco regulador de la Actividad Económica Nacional. Siendo responsabilidad del Gobierno Federal procurar las medidas que sean necesarias para garantizar que los instrumentos de medición que se comercialicen en el territorio nacional sean seguros y exactos a fin de que no representen peligro para los usuarios y consumidores y que presten un servicio adecuado respecto a sus cualidades metrológicas, para uso en transacciones comerciales y para realizar determinaciones para protección de la salud, el medio ambiente y demás actividades donde se requiera de la medición. **La Ley Federal sobre Metrología y Normalización** establece que las Normas Oficiales Mexicanas se constituyen como el instrumento idóneo para la prosecución de estos objetivos, por estos motivos se expidió la

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-SCFI-1993, "SISTEMA GENERAL DE UNIDADES DE MEDIDA." (Esta Norma cancela la NOM-Z-1-1979)

Esta norma tiene como propósito, establecer un lenguaje común que responda a las exigencias actuales de las actividades científicas, tecnológicas, educativas, industriales y comerciales, al alcance de todos los sectores del país.

La elaboración de esta norma se basó en las resoluciones y acuerdos que sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI) se han tenido en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), hasta su 19a. Convención realizada en 1991.

El SI es el primer sistema de unidades de medición compatible, esencialmente completo y armonizado internacionalmente, está fundamentado en 7 unidades de base, cuya materialización y reproducción objetiva de los patrones correspondientes, facilita a todas las naciones que la adopten, la estructuración de sus sistemas metrológicos a los más altos niveles de exactitud. Además, al compararlo con otros sistemas de unidades, se manifiestan otras ventajas entre las que se encuentran la facilidad de su aprendizaje y la simplificación en la formación de las unidades derivadas.

Esta Norma establece las definiciones, símbolos y reglas de escritura de las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) y otras unidades fuera de este Sistema que acepte la CGPM, que en conjunto, constituyen el Sistema General de Unidades de Medida, utilizado en los diferentes campos de la ciencia, la tecnología, la industria, la educación y el comercio.

DEFINICIONES FUNDAMENTALES

Para los efectos de esta norma, se aplican las definiciones contenidas en la norma NMX-Z-55 Metrología - Vocabulario de términos fundamentales generales, además de las siguientes:

Sistema Internacional de Unidades (SI)

Sistema coherente de unidades adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), este sistema está compuesto por:

- unidades SI base.
- unidades SI suplementarias.
- unidades SI derivadas.

Unidades SI base

Unidades de medida de las magnitudes de base del Sistema Internacional de Unidades.

Magnitud

Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que es susceptible a ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Sistema coherente de unidades (de medida)

Sistema de unidades compuesto por un conjunto de unidades de base y de unidades derivadas compatibles.

Magnitudes de base

Son magnitudes que dentro de un "sistema de magnitudes" se aceptan por convención, como independientes unas de otras.

Unidades suplementarias

Son unidades que se definen geoméricamente y pueden tener el carácter de unidad de base o de unidad derivada.

Unidades derivadas

Son unidades que se forman combinando entre sí las unidades de base, o bien, combinando las unidades de base, con las unidades suplementarias según expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes de acuerdo a leyes simples de la física.

TABLAS DE UNIDADES

Unidades SI base

Actualmente las unidades base del SI son 7, correspondiendo a las siguientes magnitudes, longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, intensidad luminosa y cantidad de sustancia. Los nombres de las unidades son respectivamente: metro, kilogramo, segundo, Ampere, Kelvin, candela y mol. Las magnitudes, unidades, símbolos y definiciones se describen en la siguiente tabla.

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición
Longitud	metro	m	Es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo [17a. CGPM (1983) Resolución 1].
masa	kilogramo	kg	Es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo [1ª y 3ª CGPM (1989 y 1901)].
tiempo	segundos	s	Es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 [13a. CGPM (1987), Resolución 1]
Corriente eléctrica	Ampere	A	Es la intensidad de una corriente eléctrica constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos de longitud infinita, cuya área de sección circular es despreciable, colocados a un metro de distancia entre si, en el vacío, producirá entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud [9ª CGPM, (1948), Resolución 2]
Temperatura termodinámica	Kelvin	K	Es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua [13ª CGPM (1967) Resolución 4]
cantidad de sustancia	mol	mol	Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en 0,012 kg de carbono 12 [14ª CGPM (1971), Resolución 3]
intensidad luminosa	candela	cd	Es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 watt por esterradián [16ª CGPM (1979), Resolución 6]

4.2 Unidades SI suplementarias

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición
ángulo plano	radián	rad	Es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia de este círculo un arco de longitud igual a la del radio (ISO-R-31/1)
ángulo sólido	esterradián	sr	Es el ángulo sólido que tiene su vértice en el centro de una esfera, y, que intercepta sobre la superficie de esta esfera una área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera (ISO-R-31/1)

Unidades SI derivadas

Estas unidades se obtienen a partir de las unidades de base y de las unidades suplementarias, se expresan utilizando los símbolos matemáticos de multiplicación y división. Se pueden distinguir tres clases de unidades la primera, la forman aquellas unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades de base; la segunda la forman las unidades SI derivadas que reciben un nombre especial y símbolo particular, y la tercera la forman las unidades SI derivadas expresadas con nombres especiales. Todas estas se muestran como aparecen en las tablas 3,4 y 5 de la norma NOM-008

Unidades SI derivadas sin nombre especial

Magnitud	Unidades SI	
	Nombre	Símbolo
superficie	metro cuadrado	m ²
volumen	metro cúbico	m ³
velocidad	metro por segundo	m/s
aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²
número de ondas	metro a la menos uno	m ⁻¹
masa volúmica, densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
densidad de corriente	Ampere por metro cuadrado	A/m ²
intensidad de campo eléctrico	Ampere por metro	A/m
concentración (de cantidad de substancia)	mol por metro cúbico	mol/m ³
luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m ²

Unidades SI derivadas que tienen nombre y símbolo especial

Magnitud	Nombre de la unidad SI derivada	Símbolo	Expresión en unidades SI de base	Expresión en otras unidades SI
Frecuencia	hertz	Hz	s ⁻¹	
Fuerza	newton	N	m.kg.s ⁻²	
Presión, tensión mecánica	pascal	Pa	m ⁻¹ .kg.s ⁻²	N/m ²
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	m ² .kg.s ⁻²	N.m
Potencia, flujo energético	watt	W	m ² .kg.s ⁻³	J/s
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	s.A	
Diferencia de potencial, tensión eléctrica, potencial eléctrico, fuerza electromotriz	Volt	V	m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻¹	W/A
Capacidad eléctrica	farad	F	m ⁻² .kg ⁻¹ .s ⁴ .A ²	C/V
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻²	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	m ⁻² .kg ⁻¹ .s ³ .A ²	A/V
Flujo magnético ¹	weber	Wb	m ² .kg.s ⁻² .A ⁻¹	V.s
Inducción magnética ²	tesla	T	kg.s ⁻² .A ⁻¹	Wb/m ²
Inductancia	henry	H	m ² .kg.s ⁻² .A ⁻²	Wb/A
Flujo luminoso	lumen	lm	cd.sr	
Luminosidad ³	lux	lx	m ⁻² .cd.sr	Lm/m ²
Actividad nuclear	becquerel	Bq	s ⁻¹	
Dosis absorbida	gray	Gy	m ² .s ⁻²	
Temperatura Celsius	Grado Celsius	°C		K
Equivalente de dosis	sievert	Sv	m ² .s ⁻²	J/kg

¹ también llamado flujo de inducción magnética.

² también llamada densidad de flujo magnético.

³ también llamada iluminancia

Unidades SI derivadas expresadas por medio de nombres especiales

Magnitud Unidad SI	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI de base
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa.s	$m^{-1} kg s^{-1}$
momento de una fuerza	newton metro	N.m	$M^2.kg.s^{-2}$
tensión superficial	newton por metro	N/m	$kg.s^{-2}$
densidad de flujo de calor, irradiancia	watt por metro cuadrado	w/m ²	$kg.s^{-3}$
capacidad calorífica, entropía	joule por Kelvin	J/K	$m^2.kg.^{-2}.k^{-1}$
capacidad calorífica específica, entropía específica	joule por kilogramo Kelvin	J/(kg.K)	$m^2.s^{-2}.k^{-1}$
energía específica	joule por kilogramo	J/kg	$m^2.s^{-2}$
conductividad térmica	watt por metro Kelvin	W/(m.K)	$m.kg.s^{-3}.k^{-1}$
densidad energética	joule por metro cúbico	J/m ³	$m^{-1}.kg.s^{-2}$
fuerza del campo eléctrico	Volt por metro	V/m	$m.kg.s^{-3}.A^{-1}$
densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C/m ³	$m^{-3}.s.A$
densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C/m ²	$m^{-2}.s.A$
permitividad	farad por metro	F/m	$m^{-3}.kg^{-1}.s^4.A^2$
permeabilidad	henry por metro	H/m	$m.kg.s^{-2}.A^{-2}$
energía molar	joule por mol	J/mol	$m^2.kg.s^{-2}.mol^{-1}$
entropía molar, capacidad calorífica molar	joule por mol Kelvin	J/(mol.K)	$m^2.kg.s^{-2}.k^{-1}.mol^{-1}$
exposición (rayos x y gama)	coulomb por kilogramo	C/kg	$Kg^{-1}.s.A$
rapidez de dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	$m^2.s^{-3}$

Existe gran cantidad de unidades derivadas que se emplean en las áreas científicas, para una mayor facilidad de consulta, se han agrupado en 10 tablas (NOM-008) de acuerdo a la relación siguiente:

- Tabla 6 Principales magnitudes y unidades de espacio y tiempo.
- Tabla 7 Principales magnitudes y unidades de fenómenos periódicos y conexos.
- Tabla 8 Principales magnitudes y unidades de mecánica.
- Tabla 9 Principales magnitudes y unidades de calor.
- Tabla 10 Principales magnitudes y unidades de electricidad y magnetismo.
- Tabla 11 Principales magnitudes y unidades de luz y radiaciones electromagnéticas.
- Tabla 12 Principales magnitudes y unidades de acústica.
- Tabla 13 Principales magnitudes y unidades de físico-química y física molecular.
- Tabla 14 Principales magnitudes y unidades de física atómica y física nuclear.
- Tabla 15 Principales magnitudes y unidades de reacciones nucleares y radiaciones ionizantes.

NOTA: Algunas de las principales magnitudes se muestran en las siguientes tablas. Para mayor información, consúltese la norma NOM-008.

Tabla 6 Principales magnitudes y unidades de espacio y tiempo

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Ángulo plano	$\alpha, \beta, \gamma, \nu, \phi$, etc.	El ángulo comprendido entre dos semirectas que parten del mismo punto, se define como la relación de longitud del arco interceptado por estas rectas sobre el círculo (con centro en aquél punto), a la del radio del círculo.	radián	rad
Ángulo sólido	Ω	El ángulo sólido de un cono se define como la relación del área cortada sobre una superficie esférica (con su centro en el vértice del cono) al cuadrado de la longitud de la esfera.	esterradián	sr
Longitud	$l, (L)$			
Ancho	b			
Altura	h			
Espesor				
Radio	r		metro	m
Diámetro	d, δ			
Longitud de trayectoria	s			
Área o superficie	$A, (S)$		Metro cuadrado	m^2
Volumen	V		Metro cúbico	m^3
Tiempo, intervalo de tiempo, duración	t		segundo	s
Velocidad angular	ω	$\omega = \frac{d\phi}{dt}$	Radián por segundo	Rad/s

Tabla 6 Principales magnitudes y unidades de espacio y tiempo. (Continuación).

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Aceleración angular	α	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	Radían por segundo al cuadrado	Rad/s ²
velocidad	U, V, W, C	$v = \frac{ds}{dt}$	metro por segundo	m/s
Aceleración, aceleración de caída libre. aceleración debida a la gravedad	a g	$a = \frac{dv}{dt}$ Nota: la aceleración normal de caída libre es: $g_n = 9,806 65 \text{ m/s}^2$ (Conferencia General de pesas y medidas 1901)	metro por segundo al cuadrado	m/s ²

Tabla 8 Magnitudes y unidades de mecánica

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Masa	m		Kilogramo	kg
Densidad (masa volúmica)	ρ	Masa dividida por el volumen	Kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Densidad relativa	d	Relación de la densidad de una substancia de referencia bajo condiciones que deben ser especificadas para ambas substancias.		
Volumen específico	v	Volumen dividido por la masa.	Metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Densidad lineal	ρ_l	Masa dividida por la longitud.	Kilogramo por metro	kg/m
Densidad superficial	$\rho_A, (\rho_s)$	Masa dividida por el área	Kilogramo por metro cuadrado	kg/m ²
Cantidad de movimiento, momentum	P	Producto de la masa y la velocidad.	Kilogramo por metro por segundo	kg.m/s ²
Momento de momentum, momentum angular	L	El momento de momentum de una partícula con respecto a un punto es igual al producto vectorial del radio vector dirigido del punto hacia la partícula, y el momentum de la partícula.	Kilogramo por metro cuadrado por segundo	kg.m ² /s
Momento de inercia (momento dinámico de inercia)	I, J	El momento dinámico de inercia de un cuerpo con respecto a un eje, se define como la suma (la integral) de los productos de sus masas elementales, por los cuadrados de las distancias de dichas masas al eje.	Kilogramo metro cuadrado	kg.m ²
Trabajo Energía Energía potencial Energía cinética	W, (A) E, (W) E _p , V, Φ E _k , K, T	Fuerza multiplicada por el desplazamiento en la dirección de la fuerza.	Joule	J

Tabla 8 Magnitudes y unidades de mecánica. (continuación)

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
fuerza	F	La fuerza resultante aplicada sobre un cuerpo es igual a la razón de cambio del momentum del cuerpo.	Newton	N
peso	G, (P,W)	El peso de un cuerpo en un determinado sistema de referencia se define como la fuerza que, aplicada al cuerpo, le proporciona una aceleración local de caída libre en ese sistema de referencia.		
Constante gravitacional	G, (f)	La fuerza gravitacional entre dos partículas es $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ Donde r es la distancia entre las partículas, m1 y m2 son las masas y la constante de gravitación universal es: $G=(6,672 0 \pm 0,004 1) \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$	Newton metro cuadrado por kilogramo cuadrado	N.m ² /kg ²
Momento de una fuerza	M	El momento de una fuerza referido a un punto es igual al producto vectorial del radio vector, dirigido desde dicho punto a cualquier otro punto situado sobre la línea de acción de la fuerza, por la fuerza.	Newton metro	N.m
Momento torsional, momento de un par.	T			
Presión.	P			
Esfuerzo normal	σ		pascal	Pa
Esfuerzo de corte	τ			
Viscosidad dinámica	$\eta, (\mu)$	$\tau_{xy} = \eta \frac{dv_x}{dz}$ Donde es el esfuerzo cortante de un fluido en movimiento con un gradiente de velocidad dv_x/dz perpendicular al plano de corte.	Pascal segundo	Pa.s
Viscosidad cinemática	ν	$\nu = \eta/\rho$ Donde ρ es la densidad	Metro cuadrado por segundo	m ² /s
Tensión superficial	γ, σ	Se define como la fuerza perpendicular a un elemento de línea en una superficie, dividida por la longitud de dicho elemento de línea.	Newton por metro	N/m

Tabla 8 Magnitudes y unidades de mecánica. (continuación)

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Módulo de elasticidad	E	$E = \sigma / \epsilon$	Pascal	Pa
Módulo de rigidez, módulo de corte	G	$G = \tau / \gamma$		
Módulo de compresión.	K	$K = -\sigma / \nu$		
Compresibilidad	κ	$\kappa = -\frac{1}{\nu} \frac{d\nu}{d\rho}$	Pascal recíproco	Pa^{-1}
Momento segundo de área	I_a	El momento segundo axial de área de un área plana, referido a un eje en el mismo plano, es la suma (integral) de los productos de sus elementos de área y de los cuadrados de sus distancias medidas desde el eje.		
Momento segundo polar de área	I_p	El momento segundo polar de área de un área plana con respecto a un punto localizado en el mismo plano, se define como la integral de los productos de sus elementos de área y de los cuadrados de las distancias del punto a dichos elementos.	Metro a la cuarta potencia	m^4
Módulo de sección	Z, w	El módulo de sección de un área plana o sección con respecto a un eje situado en el mismo plano, se define como el momento segundo axial de área dividido por la distancia desde el eje hasta el punto más lejano de la superficie plana.	Metro cúbico	m^3
Potencia	P	Razón de transferencia de energía	Watt	W
Gasto masa, flujo masa	q_m	Cociente de la masa que atraviesa una superficie por el tiempo	Kilogramo por segundo	kg/s
Gasto volumen, flujo volumen	q_v	Razón a la cual el volumen cruza una superficie.	Metro cúbico segundo	m^3/s

Tabla 10 Magnitudes y unidades de electricidad y magnetismo

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Corriente eléctrica.	I		Ampere	A
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	Q	Integral de la corriente eléctrica con respecto al tiempo.	coulomb	C
Densidad de carga, Densidad volumétrica de carga.	$\rho, (\eta)$	Carga dividida por el volumen.	Coulomb por metro cúbico	C/m ³
Densidad superficial de carga.	σ	Carga dividida por el área superficial.	Coulomb por metro cuadrado	C/m ²
Intensidad de campo eléctrico.	E, (K)	Fuerza ejercida por un campo eléctrico sobre una carga eléctrica puntual, dividida por el valor de la carga.	Volt por metro	V/m
Potencial eléctrico.	V	Para campos electrostáticos, una magnitud escalar, en el cual el gradiente tiene signo contrario y es igual al valor de la intensidad de campo eléctrico.		
Diferencial de potencial, tensión eléctrica.	U, (V)	La tensión entre dos puntos 1 y 2 es la integral de línea desde el punto hasta el punto 2 de la integral de campo eléctrico. $\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \mathbf{E}_s \cdot d\mathbf{s}$	Volt	V
Fuerza electrotriz	E	La fuerza electromotriz de una fuente es la energía suministrada por la fuente dividida por la carga eléctrica que pasa a través de la fuente.		
Densidad de flujo eléctrico, desplazamiento.	D	La densidad de flujo eléctrico es una magnitud vectorial, cuya divergencia es igual a la densidad de carga.	Coulomb por metro cuadrado	C/m ²

Tabla 10 Magnitudes y unidades de electricidad y magnetismo (continuación)

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Definición de la magnitud	Unidad SI	Símbolo de la unidad SI
Flujo eléctrico, (flujo de desplazamiento)	ψ	El flujo eléctrico a través de un elemento de superficie es el producto escalar del elemento de superficie y la densidad de flujo eléctrico.	Coulomb	C
Capacitancia	C	Carga dividida por la diferencia de potencial eléctrico.	Farad	F
Densidad de corriente	J, (S)	Es la magnitud vectorial cuya integral evaluada para una superficie específica, es igual a la corriente total que circula a través de dicha superficie.	Ampere por metro cuadrado	A/m ²
Densidad lineal de corriente.	A	Corriente dividida por el espesor de la placa conductora.	Ampere por metro	A/m
Intensidad de campo magnético.	H	La intensidad de campo magnético es una magnitud vectorial axial cuya rotacional es igual a la densidad de corriente, incluyendo a la corriente de desplazamiento.	Ampere por metro	A/m
Diferencia de potencial magnético.	U_m	La diferencia de potencial magnético entre el punto 1 y el punto 2 es igual a la integral de línea, desde el punto 1 hasta el punto 2 de la intensidad de campo eléctrico.		
Fuerza electromotriz.	F, F _m	$F = \oint H_s ds$	Ampere	A
Corriente totalizada.	θ	Corriente eléctrica neta de conducción neta a través de un bucle cerrado.		
Densidad de flujo magnético, inducción magnética.	B	La densidad de flujo magnético es una magnitud vectorial axial tal que la fuerza ejercida sobre un elemento de corriente, es igual al producto vectorial de este elemento y la densidad de flujo magnético.	Tesla	T

NOMBRES Y SIMBOLOS DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS

Número atómico	Nombre	Símbolo	Número atómico	Nombre	Símbolo
1	Hidrógeno	H	52	teluro, telurio	Te
2	Helio	He	53	yodo	I
3	Litio	Li	54	xenón	Xe
4	Berilio	Be	55	cesio	Cs
5	Boro	B	56	bario	Ba
6	Carbono	C	57	lantano	La
7	Nitrógeno	N	58	cerio	Ce
8	Oxígeno	O	59	praseodimio	Pr
9	flúor	F	60	neodimio	Nd
10	neón	Ne	61	prometio	Pm
11	sodio	Na	62	samario	Sm
12	magnesio	Mg	63	europio	Eu
13	aluminio	Al	64	gadolinio	Gd
14	silicio	Si	65	terbio	Tb
15	fósforo	P	66	disprosio	Dy
16	azufre	S	67	holmio	Ho
17	cloro	Cl	68	erbio	Er
18	argón	Ar	69	tulio	Tm
19	potasio	K	70	iterbio	Yb
20	calcio	Ca	71	lutecio	Lu
21	escandio	Sc	72	hafnio	Hf
22	titanio	Ti	73	tántalo, tantalio	Ta
23	vanadio	V	74	volframio, wolframio	W
24	cromo	Cr	75	renio	Re
25	manganeso	Mn	76	osmio	Os
26	hierro	Fe	77	iridio	Ir
27	cobalto	Co	78	platino	Pt
28	níquel	Ni	79	oro	Au
29	cobre	Cu	80	mercurio	Hg
30	zinc, cinc	Zn	81	talio	Tl
31	galio	Ga	82	plomo	Pb
32	germanio	Ge	83	bismuto	Bi
33	arsénico	As	84	polonio	Po
34	selenio	Se	85	ástato	At
35	bromo	Br	86	radón	Rn
36	criptón	Lr	87	francio	Fr
37	rubidio	Rb	88	radio	Ra
38	estroncio	Sr	89	actinio	Ac
39	litio	Y	90	torio	Th
40	circonio	Zr	91	protactinio	Pa
41	niobio	Nb	92	uranio	U
42	molibdeno	Mo	93	neptunio	Np
43	tecnecio	Tc	94	plutonio	Pu
44	rutenio	Ru	95	americio	Am
45	rodio	Rh	96	curio	Cm
46	paladio	Pd	97	berquelio	Bk
47	plata	Ag	98	californio	Cf
48	cadmio	Cd	99	einstenio	Es
49	indio	In	100	fermio	Fm
50	estaño	Sn	101	mendelevio	Md
51	antimonio	Sb	102	nobelio	No
			103	lawrencio	Lr

SIMBOLO DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS Y DE LOS NUCLIDOS

Los símbolos de los elementos químicos deben escribirse en caracteres rectos. El símbolo no va seguido de punto.

Ejemplos: H He C Ca

Los subíndices o superíndices que afectan al símbolo de los nuclidos o moléculas, deben tener los siguientes significados y posiciones:

El número másico de un nuclido se coloca como superíndice izquierdo; por ejemplo:



El número de átomos de un nuclido en una molécula se coloca en la posición del subíndice derecho; por ejemplo:



El número atómico puede colocarse en la posición de subíndice izquierdo; por ejemplo:



Cuando sea necesario, un estado de ionización o un estado excitado puede indicarse mediante un superíndice derecho.

Ejemplos:

Estado de ionización: Na^+ , PO_4^{3-}

Estado electrónico excitado: He^* , NO^*

Estado nuclear excitado: $^{110}\text{Ag}^*$ o bien $^{110}\text{Ag}^m$

pH

El pH se define operacionalmente. Para una disolución X, se mide la fuerza electromotriz E_x de la pila galvánica.

electrodo de referencia|disolución concentrada de KCl|disolución X|H₂|Pt

y, análogamente, se mide la fuerza electromotriz de una pila galvánica que difiere de la anterior únicamente en la sustitución de la disolución X de pH desconocido, designado por pH(X), por una disolución patrón S, cuyo pH es pH(S). En estas condiciones,

$$\text{pH}(X) = \text{pH}(S) + (E_s - E_x) F / (RT \ln 10).$$

El pH así definido carece de dimensiones.

El Manual de la IUPAC sobre los símbolos y la terminología para las magnitudes y unidades de química física (1979) da los valores de pH (S) para varias disoluciones patrón.

El pH no tiene un significado fundamental; su definición es una definición práctica. Sin embargo, en el intervalo restringido de disoluciones acuosas diluidas que tienen concentraciones en cantidad de sustancia inferiores a 0,1 mol/dm³ y no son ni fuertemente ácidas ni fuertemente alcalinas (2 < pH < 12), la definición es tal que

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{c}(\text{H}^+)]_1 / (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}) \pm 0,02$$

donde $c(\text{H}^+)$ indica la concentración en cantidad de sustancia del ion hidrógeno H^+ e γ_1 indica el coeficiente de actividad de un electrólito monovalente típico en la disolución.

UNIDADES QUE NO PERTENECEN AL SI

Existen algunas unidades que no pertenecen al SI, por ser de uso común, la CGPM las ha clasificado en tres categorías:

Categoría I. Unidades que se conservan para usarse con el SI;

Son unidades de amplio uso, por lo que se considera apropiado conservarlas; sin embargo, se recomienda no combinarlas con las unidades del SI para no perder las ventajas de la coherencia, la relación de estas unidades se establecen en la tabla siguiente (tabla 16 de la norma NOM-008).

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
tiempo	minuto hora día	min h d	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3 600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
ángulo	grado minuto segundo	° ' "	1° = ($\pi/180$) rad 1' = ($\pi/10\,800$) rad 1" = ($\pi/648\,000$) rad
volumen	litro	L, l	1L = 10^{-3} m ³
masa	tonelada	t	1t = 10^3 kg
trabajo, energía	electrovolt	eV	1eV = $1,602\,19 \times 10^{-19}$ J
masa	unidad de masa atómica	u	1 u = $1,660\,57 \times 10^{-27}$ kg

Categoría II. Unidades que pueden usarse temporalmente

Son unidades cuyo empleo debe evitarse, se mantienen temporalmente en virtud de su gran uso actual, pero se recomienda no emplearlas conjuntamente con las unidades SI, la relación de estas unidades se establece en la siguiente tabla (Tabla 17 de la norma NOM-008).

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
superficie	Área Hectárea barn	a ha b	1a = 10^{-3} m ² 1ha = 10^4 m ² 1b = 10^{-28} m ²
longitud	angstrom	Å	1Å = 1×10^{-10} m
longitud	milla náutica		1 milla náutica = 1852 m
presión	bar	bar	1 bar = 10^5 Pa
velocidad	nudo		1nudo = (1852/3 600) m/s
dosis de radiación	röntgen	R	1R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg
dosis absorbida	rad	rad (rd)	1 rad = 10^{-2} Gy
radiactividad	curie	Ci	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
aceleración	gal	Gal	1 Gal = 10^{-3} m/s ²
equivalente de dosis	rem	rem	1 rem = 10^{-3} Sv

El rad es una unidad especial empleada para expresar dosis absorbida de radiaciones ionizantes. Cuando haya riesgo de confusión con el símbolo del radián, se puede emplear rd como símbolo del rad.

Categoría III. Unidades que no deben utilizarse

Existen otras unidades que no pertenecen al SI, actualmente tienen cierto uso, algunas de ellas derivadas del sistema CGS, dichas unidades no corresponden a ninguna de las categorías antes mencionadas en la norma NOM-008 por lo que no deben utilizarse en virtud de que hacen perder la coherencia del SI, se recomienda utilizar en su lugar, las unidades respectivas del SI. En la Tabla 18 de la NOM-008 se dan algunos ejemplos de estas unidades.

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
longitud	fermi	fm	10^{-15}
volumen	stere	st	1 m^3
masa	quilate métrico	CM	$2 \times 10^{-4} \text{ kg}$
fuerza	kilogramo-fuerza	kgf	9,806 65 N
presión	torr		133,322 Pa
energía	caloría	cal	4,186 8 J
fuerza	dina	dyn	10^{-5} N
energía	erg	erg	10^{-7} J
viscosidad dinámica	poise	P	0,1 Pa.s
viscosidad cinemática	stokes	St	$10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
luminosidad	phot	ph	10^4 lx
inducción	gauss	Gs, G	10^{-4} T
flujo magnético	maxwell	Mx	10^{-8} Wb

PREFIJOS

La Tabla 19 de la norma contiene la relación de los nombres y los símbolos de los prefijos para formar los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades, cubriendo un intervalo que va desde 10^{-24} a 10^{24} .

Nombre	Símbolo	Valor
yotta	Y	$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
zetta	Z	$10^{31} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
exa	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera	T	$10^{13} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
kilo	k	$10^3 = 1\ 000$
hecto	h	$10^2 = 100$
deca	da	$10^1 = 10$
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
atto	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
zepto	z	$10^{-21} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
yocto	y	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

7 REGLAS GENERALES PARA LA ESCRITURA DE LOS SIMBOLOS DE LAS UNIDADES DEL SI

- 1 Los símbolos de las unidades deben ser expresados en caracteres romanos, en general, minúsculas, con excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales se utilizan caracteres romanos en mayúsculas

Ejemplo: m, cd, K, A

- 2 No se debe colocar punto después del símbolo de la unidad

- 3 Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse

Ejemplos: 8 kg, 50 kg, 9 m, 5 m

- 4 El signo de multiplicación para indicar el producto de dos ó más unidades debe ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación de los símbolos de las unidades que intervengan en el producto, no se preste a confusión

Ejemplos: N.m o Nm, también m.N pero no: mN que se confunde con milinewton, submúltiplo de la unidad de fuerza, con la unidad de momento de una fuerza o de un par (newton metro)

- 5 Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas

Ejemplos: m/s o ms^{-1}

- 6 No debe utilizarse más de una línea inclinada a menos que se agreguen paréntesis. En los casos complicados, deben utilizarse potencias negativas o paréntesis
Ejemplo: m/s^2 o $m \cdot s^{-2}$, pero no: $m/s/s$
 $m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$ o $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$, pero no: $m \cdot kg/s^3/A$
- 7 Los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman anteponiendo al nombre de éstas, los prefijos correspondientes con excepción de los nombres de los múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa en los cuales los prefijos se anteponen a la palabra "gramo" Ejemplos: dag, Mg (decagramo; megagramo) ks, dm (kilosegundo; decímetro)
- 8 Los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad
Ejemplos: mN (milinewton) y no: m N
- 9 Si un símbolo que contiene a un prefijo está afectado de un exponente, indica que el múltiplo de la unidad está elevado a la potencia expresada por el exponente
Ejemplos: $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$
 $1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$
- 10 Los prefijos compuestos deben evitarse
Ejemplo: 1 nm (un nanómetro)
pero no: 1 mμm (un milimicrómetro)

8 REGLAS PARA LA ESCRITURA DE LOS NUMEROS Y SU SIGNO DECIMAL

Números

Los números deben ser generalmente impresos en tipo romano. Para facilitar la lectura de números con varios dígitos, estos deben ser separados en grupos apropiados preferentemente de tres, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda, los grupos deben ser separados por un pequeño espacio, nunca con una coma, un punto, o por otro medio.

Signo

El signo decimal debe ser una coma sobre la línea decimal (,). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero.