



Certificación ISO 9001:2000 ‡

PLAN NACIONAL DE EVALUACIÓN DE PUENTES FEDERALES, LIBRES DE PEAJE DAÑADOS POR CORROSIÓN (2000-2005). UNA CUANTIFICACIÓN DE RESULTADOS, PROYECTOS Y COLABORACIONES

**Andrés Torres Acosta
Angélica del Valle Moreno
Miguel Martínez Madrid
José Trinidad Pérez Quiroz
Miguel Backhoff Polhs**

**Publicación Técnica 327
Sanfandila, Qro. 2010**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Plan Nacional de Evaluación de
Puentes Federales, Libres de Peaje,
Dañados por Corrosión (2000-2005).
Una Cuantificación de Resultados,
Proyectos y Colaboraciones**

**Publicación Técnica 327
Sanfandila, Qro. 2010**

Este documento fue elaborado por el Dr. Andrés A. Torres Acosta, la Dra. Angélica del Valle Moreno, el Dr. Miguel Martínez Madrid y el M.C. José Trinidad Pérez Quiroz, de la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural y el Geógrafo Miguel A. Backhoff Polhs de la Coordinación de Ingeniería Portuaria, ambas Coordinaciones del Instituto Mexicano del Transporte. Se agradecen los comentarios y sugerencias del Dr. Roberto Aguerrebere Salido, Director General del Instituto Mexicano del Transporte.

Índice

Resumen	III
Abstract	V
Resumen Ejecutivo	VII
Introducción	1
Capitulo 1. Antecedentes	7
Capitulo 2. Objetivos	9
Capitulo 3. Desarrollo	11
3.1 Inventario existente de puentes	12
3.2 Inventario Electrónico Generado	12
3.2.1 Punto de Partida: Análisis del SIPUMEX	12
3.2.2 Desarrollo de la base de datos con los resúmenes de SIPUMEX	12
3.2.3 Análisis estadístico de la información del inventario SIPUMEX	13
3.2.3.1 Curvas S de las calificaciones SIPUMEX por estado	14
3.2.3.2 Histograma de Calificaciones Generales	16
3.2.3.3 Calificación promedio por estado	16
3.2.3.4 Año promedio de construcción por estado	17
3.2.3.5 Longitud total y número de claros promedio por estado	19
3.3 Análisis espacial para la discriminación de los puentes potencialmente dañados por corrosión	22
3.4 Evaluación de campo realizada por residentes de puentes de la DGCC	33
3.5 Discriminación preliminar de la corrosión	35
3.6 Programa de evaluación detallada en los puentes que muestran daños por corrosión de la DGCC	37
3.7 Programa rehabilitación de puentes dañados por corrosión de la DGCC	46
3.8 Programa de monitoreo permanente de los puentes de la DGCC	48
Capitulo 4. Productos generados del proyecto	51

4.1. Programa de normalización para el diseño y conservación de puentes con criterios de durabilidad	51
4.2 Proyectos de investigación derivados del Plan	52
4.2.1 Plan Nacional de Evaluación de Puentes dañados por Corrosión	54
4.2.2 Proyecto iberoamericano DURACON	54
4.2.3 Colaboración interamericana de materiales, CIAM 2002	57
4.2.4 Sistemas para incrementar la vida útil de estructuras de concreto nuevas y en uso	57
4.2.5 Integridad estructural de elementos de concreto dañados por corrosión	58
4.3 Producción científica producto del Plan	60
4.4 Convenios colaboración nacionales e internacionales producto del plan	80
4.5 Proyectos de investigación con colaboración de instituciones de Iberoamerica	81
4.5.1 Proyecto iberoamericano DURACON (11 países)	81
4.5.2 Alteración de la rigidez de la frecuencia vibratoria de una viga hiperestática por el efecto de la corrosión del acero de refuerzo (España)	82
4.5.3 Eficacia de ánodos de sacrificio de zinc discretos (Venezuela)	83
4.5.4 Agrietamiento de vigas de concreto por corrosión del refuerzo y el efecto de la reparación localizada (Venezuela)	83
4.5.5 Evaluación por corrosión de la planta hidroeléctrica Toro I (Costa Rica)	84
4.5.6 Eficiencia de sensores base aleaciones de alúmina para ser embebidos en concreto (Argentina)	85
Capitulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	87
Bibliografía	89

Resumen

Este trabajo presenta un método innovador y original para determinar el grado de corrosión en los puentes construidos en la Red de Carreteras Federales en México (MFRN por sus siglas en inglés), en función de los factores ambientales. Estos factores incluyen el clima imperante en el que se encuentra el puente, posición geográfica exacta del puente (por ejemplo, la línea costera, la distancia del río) y su distancia de los corredores industriales. Esta información fue obtenida y analizada utilizando la última generación de sistemas de posicionamiento global (GPS), incorporando los datos estructurales actuales producto de la última evaluación disponibles por medio del programa nacional de administración de puentes (SIPUMEX). El trabajo también incluye información sobre todos los proyectos de colaboración, publicaciones, y capacitación técnica entre el IMT y otras instituciones nacionales e internacionales como una extensión de este proyecto de investigación sobre la degradación y corrosión en puentes.

Abstract

This work presents an innovative and original method to determine the degree of corrosion in bridges built in the Mexican Federal Road Network (MFRN), as a function of environmental factors. These factors include prevailing climate where the bridge is located, accurate bridge geographic positioning (e.g. coastal line, river distance) and its distance from industrial corridors. This information was obtained and analyzed using the last generation of Global Positioning Systems (GPS), incorporating the current structural data produced during the last bridge evaluation available by the national bridge administration management program (SIPUMEX). This work also includes information regarding all the collaboration projects, publications, and technical training between IMT and other national and international institutions as an extension of this bridge corrosion degradation research project.

Resumen Ejecutivo

Este trabajo contiene información relevante y probatoria del proyecto de I+D (investigación+desarrollo) sobre el deterioro por corrosión de puentes de la red federal carretera de México. Este proyecto, también conocido como el Plan Nacional de Evaluación de Puentes Dañados por Corrosión (Plan), es sin duda el más importante en el área de puentes, que se ha desarrollado en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) desde su fundación hace ya más de 20 años, siendo adoptado éste por la Subsecretaría de Infraestructura de la misma Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), desde septiembre de año 2000 y desde entonces a la fecha, ha sido motivo de permanente enriquecimiento científico y tecnológico y fuente constante generadora de tecnología mexicana que permite la preservación de los puentes carreteros mexicanos, extendiendo su vida útil y haciendo su operación más segura y confiable.

Como se detalla en el contenido del proyecto, el Plan consta de cuatro etapas fundamentales: 1) Inspección y discriminación preliminar; 2) Inspección detallada; 3) Rehabilitación y protección y 4) Normalización y diseño.

Para la realización de las etapas iniciales, se organizaron Cursos Regionales de capacitación para los 31 centros SCT del país. Para la primera etapa, se capacitaron más de 180 ingenieros y ayudantes. Para una capacitación más detallada para la segunda se impartieron cinco cursos regionales de especialización de monitoreo de puentes por durabilidad a los residentes de puentes de los 31 estados que conforman la división política de México. Esto con el fin de poder realizar, conjuntamente con el personal del IMT, los estudios inherentes a la determinación de la patología del daño causado por la corrosión del acero en puentes.

Siguiendo con las fases del Plan, en la tercera etapa se continuó con la capacitación del personal de la SCT con los terceros cursos regionales sobre rehabilitación de estructuras dañadas por corrosión. En dicho curso los encargados de la inspección y proyectos de los puentes federales, identificaron los métodos más utilizados en la actualidad para la rehabilitación, reparación, restitución o refuerzo de estructuras de concreto, especialmente puentes y muelles dañados por corrosión. Por último en la cuarta etapa de este proyecto nacional se continúa en la preparación de la normativa para el diseño de nuevas estructuras de concreto con criterios de durabilidad, así como los procedimientos y anteproyectos de norma para la evaluación de estructuras de concreto existentes y su rehabilitación.

Este proyecto continúa y seguirá hasta que todos los puentes estén evaluados y reparados acorde a la patología encontrada del daño, así como los procedimientos de diseño de nuevos puentes ubicados en zonas agresivas por corrosión. Como parte de su importancia en el país, se han integrado a este proyecto las Administraciones Portuarias Integrales (API) dándole así mayor relevancia al proyecto inicial que se dirigió para atender a los puentes carreteros.

Con la aportación de este Plan se cree que se ahorrarán millones de pesos, ya que los encargados de seleccionar las intervenciones de mantenimiento de los puentes carreteros y muelles federales de México están tomando conciencia para considerar los mejores métodos de rehabilitación acordes con la patología encontrada en las evaluaciones efectuadas.

Este proyecto nacional de evaluación de puentes carreteros incluye a más de 7,000 puentes de la red federal de carreteras. Desde 2000 se han cumplido cada una de las nueve metas que se detallan en el capítulo 2.

Introducción

La contribución entre el concreto y el acero de refuerzo (o pre-esfuerzo) se basa en que el concreto provee al refuerzo una protección física y química en contra de la corrosión. La protección química se debe a la alcalinidad del concreto, la cual produce una capa de óxido (del orden de un par de nanómetros) en la superficie del acero impidiendo que el éste continúe corroyéndose. A este fenómeno se le denomina pasivación (Fontana 1986), ya que la capa de óxido evita la propagación de la corrosión del acero. Esta alcalinidad del concreto, se debe, principalmente, al hidróxido de calcio (CH) que se forma durante la hidratación de los silicatos (C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF) del cemento y a los álcalis (sodio y potasio) que pueden estar incorporados como sulfatos en el clinker (Mindess, 1981). Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores entre 12,6 y 14 (Andrade et al. 1990), es decir, en el extremo más alcalino de la escala de pH. El concreto también funciona como una capa física protectora en contra de los agentes ambientales (oxígeno, agua, cloruros, dióxido de carbono) que puedan despasivar al acero e iniciar su corrosión.

Sin embargo, en un ambiente agresivo, agentes químicos como los cloruros o sulfatos del agua de mar o el CO_2 del ambiente urbano, se acumulan en la superficie del concreto y lentamente se transportan a través del recubrimiento hasta llegar a la varilla. Cuando la concentración de estos agentes químicos en la superficie del acero de las armaduras alcanza valores que exceden un nivel umbral, la protección de la armadura corre el peligro de desaparecer y la corrosión puede desencadenarse.

Cuando el acero embebido en concreto se corroe, se consume una capa de la superficie del acero y se forma una capa de productos de corrosión (óxido, Fe_3O_4 , o hidróxido de hierro, $Fe(OH)_2$) en el perímetro de la barra. El volumen ocupado por dicho óxido (o hidróxido) es mayor que el que ocupaba el acero original creando presiones contra el concreto que rodea al acero, propiciando la formación de grietas y desprendimientos del concreto (Torres Acosta y Martínez Madrid 2003). Estas grietas y/o desprendimientos del recubrimiento además de ser antiestéticas, pueden disminuir el anclaje del acero y, potencialmente, la resistencia del elemento estructural (Torres Acosta y Martínez Madrid, 2003, Torres Acosta et al. 2003).

Durabilidad de estructuras de concreto

En los últimos veinte años el término “durabilidad” se ha escuchado con más frecuencia en la ingeniería civil. Países industrializados como EUA, algunos en Europa (España, Francia, Reino Unido) y Japón, la han tomado como tema de gran importancia, invirtiendo sumas millonarias en estudios de investigación.

En Latinoamérica un esfuerzo similar se realizó en 1997 al presentarse el reporte de la Red Temática Iberoamericana DURAR (1997), en el cual se expusieron algunos conceptos básicos sobre vida útil, evaluación, mantenimiento, reparación y/o rehabilitación de obras de concreto armado dañadas principalmente por

corrosión de la armadura. La vida útil de una estructura se definió por DURAR como “el periodo de tiempo durante el cual la estructura conserva todas las características de funcionalidad, seguridad, resistencia y aspecto externo, con un nivel de seguridad suficiente” (*DURAR, 1997*).

Actualmente, se han propuesto varios modelos que contemplan el concepto de durabilidad, que relacionan la degradación por corrosión del acero de refuerzo (o pre-esfuerzo) en concreto, en función del tiempo. Estos se evaluarán brevemente a continuación.

El modelo de Tuutti (1982), en el cual se basan la mayoría de los ya existentes, diferencia dos etapas: T_1 y T_2 . Los modelos de Bažant (1979a, 1979b), Browne (1980) y Beeby (1983) son similares al propuesto por Tuutti. Los modelos de Bažant y Browne especifican que T_2 termina al encontrarse daños visibles en la estructura o elemento estructural. En cambio, el modelo de Beeby (1983) especifica que T_2 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 (*Torres Acosta y Martínez Madrid 2003*).

El presente documento tomará como base el modelo de durabilidad considerado por Tuutti (1982)

$$T_{VU} = T_1 + T_2 \quad (1)$$

donde T_1 y T_2 son denominados periodos de iniciación y de propagación respectivamente. Se define a T_1 como el lapso de tiempo que tarda el ion cloruro en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación. En tanto T_2 se refiere al periodo entre la pérdida de protección de la película pasiva y la manifestación externa de los daños por corrosión (manchas de óxido, agrietamientos o desprendimientos de la cobertura del concreto). T_{VU} se define como el periodo de vida útil de la estructura. La etapa T_2 (será ampliamente estudiada en la segunda parte de este documento); finalizará en la formación de pequeñas grietas (con anchos menores a 0,1 mm) o manchas de óxido.

Si en la estructura se observan otro tipo de degradaciones como grietas más anchas de 0,1 mm, delaminaciones, barras de refuerzo expuestas 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 1 presenta, de manera gráfica, las etapas T_1 y T_2 , así como el periodo de la vida residual con relación a la pérdida de la capacidad de carga o resistencia del elemento estructural (*Torres Acosta 2001, Torres Acosta y Martínez Madrid, 2001, Torres Acosta y Martínez Madrid 2003, Torres Acosta et al. 2003*).

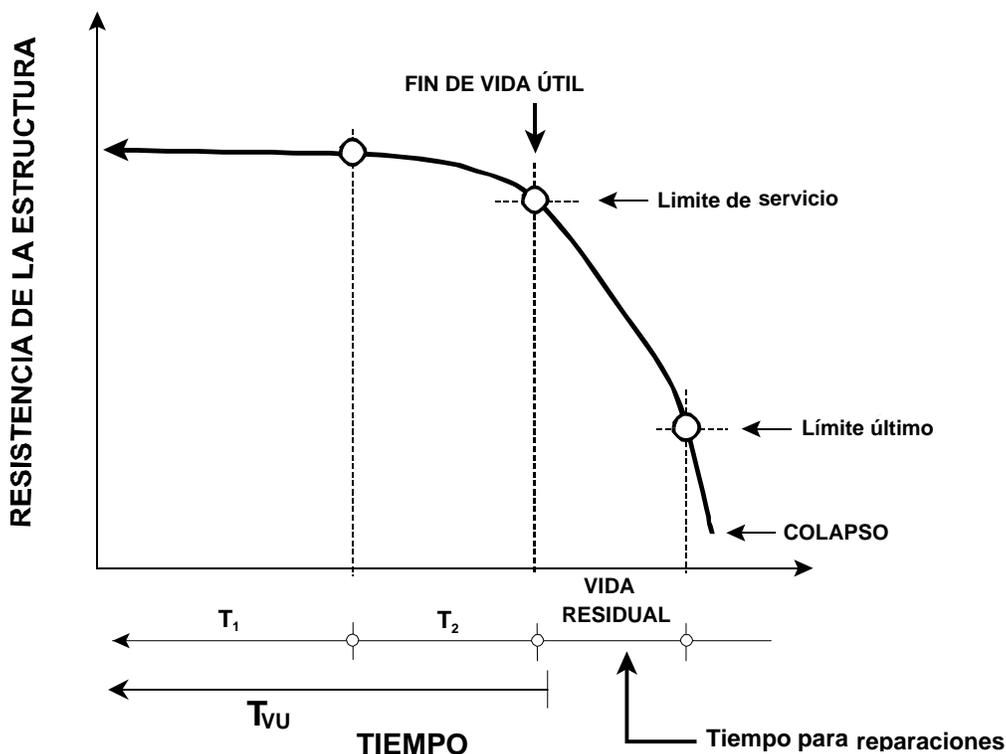


Figura 1.
Modelo propuesto de durabilidad por corrosión en ambiente marino

En términos generales, se sabe que la degradación de la infraestructura de concreto por corrosión del acero de refuerzo (o de pre-esfuerzo) se debe, principalmente, a la penetración de cloruros en ambiente marino o a la penetración de CO_2 en ambiente urbano. En el caso de la infraestructura expuesta a un ambiente marino se ha observado en estudios de campo, en diversas partes del mundo, que la corrosión se debe principalmente a la penetración en el concreto del ion cloruro y consecuentemente la activación del acero de refuerzo. Los productos de corrosión se expanden (ya que poseen una densidad menor que el metal de procedencia) produciendo agrietamientos y/o desprendimientos del recubrimiento de concreto de las propias barras de acero. Esta degradación no es únicamente del concreto, sino también del anclaje de la barra de acero en el concreto, disminuyendo la capacidad de carga de este material, el cual trabaja como un material compuesto.

Sin embargo, no existe un estudio del estado de degradación por corrosión en nuestro país, ni una norma mexicana que estipule el tipo de concreto (mezcla de diseño) para la fabricación de infraestructura marina o terrestre resistente a la corrosión. Para ello es necesario determinar, con base en estudios costeros y regionales el efecto del medio ambiente en concreto reforzado, su degradación, avance y cinética de daño en base a mezclas de concreto locales.

El sistema carretero nacional cuenta con un sistema de administración de conservación y mantenimiento de su infraestructura que permite conocer, de manera genérica, el estado actual estructural que guarda cada obra, para así programar reparaciones, dependiendo del nivel de daño cuantificado y calificado. Dentro de ese sistema no existe un rubro específico que permita establecer la degradación que por corrosión se está llevando a cabo en aquellos puentes y estructuras de concreto; por consiguiente, es factible incorporar indistintamente agrietamientos estructurales causados por asentamientos de la estructura y los causados por corrosión.

En adición a lo anterior, las condiciones climáticas en las costas y en el interior del país son diametralmente opuestas entre sí, en cuanto a su severidad como agentes corrosivos. Así, se tiene que las costas de Baja California no son tan agresivas como aquellas de Sinaloa o peor aún que las del Golfo de México. Inclusive en éste último, lo que sucede en el norte de Tamaulipas es menos dañino que los ambientes en Campeche y Veracruz. En realidad no existe una tendencia predecible o una uniformidad de severidad del ambiente en las diversas regiones del país ni tampoco un conocimiento actual cuantificado y regional de la agresividad de los distintos ambientes costeros en el interior del territorio que permitan normalizar el tipo de concreto, y los refuerzos por emplear en la construcción de obras de infraestructura en cada zona, para que resistan adecuadamente a los problemas generados por la corrosión.

Si se toma en cuenta que las obras de infraestructura que se construyen en México, deben obedecer a una normatividad de tipo estructural, estática y dinámica, empleando agregados locales para cada obra, y que no existe un conocimiento preciso en cada localidad, de la agresividad del medio ambiente ni de sus componentes, no es factible que se diseñen y construyan estructuras bajo el concepto de durabilidad o “durables” de concreto reforzado que resistan al deterioro ambiental de la zona. Esto es, el desconocimiento del medio ambiente que rodeará a una estructura, su reacción con los agregados locales y la agresividad resultante, no favorece la construcción de obras de infraestructura que resistan los embates degradantes del medio ambiente y, por tanto, la vida útil de la misma se puede ver mermada.

Por tal motivo, es de fundamental importancia que el país cuente con información valiosa, fidedigna y certera de la agresividad del medio ambiente, en combinación con agregados típicos de la región para determinados tipos de concreto, tanto regional como nacional, para así poder sugerir y normar los estándares de diseño y construcción que se deban seguir en aquellos lugares donde se pretenda levantar obras de infraestructura.

El conocimiento actual del estado que guarda la infraestructura territorial en puentes y pasos a desnivel deteriorada por corrosión del sistema nacional de carreteras en el país requiere ser enriquecido. De hecho, se conoce parcialmente la agresividad de las distintas zonas climáticas y, por ende, su interacción con concretos reforzados, pre-esforzados o metálicos.

A fin de evitar que en el mediano plazo se presenten por corrosión fallas catastróficas en las estructuras, es necesario realizar la evaluación del deterioro ambiental en el 100% de los puentes federales. Esta evaluación, sirve como punto de partida para el monitoreo y control, con el fin de lograr su prevención en caso de que la degradación sea nula o mínima y la corrección en el caso si ésta es severa.

Como consecuencia del conocimiento que resulta de esta evaluación, es factible formular códigos, normas o requerimientos mínimos que apoyen el diseño de dichas estructuras bajo el concepto de durabilidad, y así se minimicen los costos de mantenimiento.

La Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural (CIVIE) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) proporciona a DGCC y DGST los lineamientos para el diagnóstico de la infraestructura de todos los puentes federales y pasos a desnivel que se encuentran en servicio actualmente, así como, en caso de encontrarse efectos de la corrosión, planteará la metodología para su control, prevención o corrección. Con ayuda de los residentes de puentes de la SCT se evalúan todos los dañados y se establecen las bases para que los puentes administrados por DGCC sean permanentemente valorados, por medio de su propio sistema de administración de puentes.

1 Antecedentes

El 30 de ago de 2000, el entonces Director General del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Ing. Alfonso Rico Rodríguez, envió una iniciativa (oficio 733.-750) al Ing. Manuel Rodríguez Morales, entonces Subsecretario de Infraestructura, para solicitar se aprobara el proyecto de investigación denominado “Plan Nacional de Evaluación de Puentes Dañados por Corrosión”. En la iniciativa se planteaba principalmente el capacitar al personal de los Centros SCT en cada estado para que se realizara una evaluación preliminar del estado que guarda la durabilidad de la infraestructura de puentes federales libres de peaje. Además, se solicitó equipar a dichos Centros del equipo mínimo indispensable para realizar las inspecciones detalladas para realizarse en la segunda etapa de este proyecto.

El subsecretario aprobó dicha propuesta en oficio 3.-2018 del 29 de septiembre de 2000, solicitando que se iniciara con el Curso General de Inspección y Discriminación Preliminar e indicando que dicho curso el IMT se coordinara con la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la SCT para impartirlo. En relación con la adquisición de los equipos para dotar a los Centros SCT, el subsecretario puntualizó que no sería sino hasta el ejercicio 2001 que podría dotarse de ellos a la SCT para así continuar con el Curso de Especialización en Monitoreo y Diagnóstico de la Corrosión en Puentes.

El Ing. Rico envió un comunicado (oficio 733.-912 del 6 de noviembre de 2000) al Ing. Juan M. Orozco y Orozco, Director General de la DGST de la SCT, donde explicaba el programa de actividades del Plan dividido en cuatro etapas. Asimismo, se incluyó en este comunicado el temario del curso propuesto para la primera etapa.

El 6 de diciembre de 2000 se realizó una reunión en las instalaciones de la DGST entre los representantes de los departamentos de la SCT (DGST, DGCC e IMT), acordando entre otros puntos definir la metodología por seguir para iniciar el Plan. En esta reunión se propuso: (1) Se iniciase el Curso general de inspección y discriminación preliminar a partir de marzo de 2001; (2) el curso se impartiera en las cabeceras de las regiones en que están divididas las oficinas de la DGST, (3) los cursos se dieran en un lapso de dos días y (4) el personal del IMT contase con la información del sistema de administración de puentes de la DGCC denominado SIPUMEX. El 8 de enero de 2001, el Ing. Orozco y Orozco envió escrito (oficio 118.304/04) indicando lo acordado en esta reunión de diciembre.

Con fecha 21 de febrero de 2001, se recibió un memo del Ing. Ismael Sánchez Mora, Director de Coordinación y Evaluación de la DGST, donde se programaron los cursos para impartir en la primera etapa del Plan. En éste se desglosaba el lugar, la fecha y el puente seleccionado para realizar las prácticas. El 12 de marzo se recibió otro comunicado, enviado por el Ing. Gabriel Gutiérrez Rocha, con el tríptico del mismo curso.

En 19 de marzo de 2001 el Ing. Ignacio Hernández Quinto, Director de Apoyo Técnico de la DGST, envió oficio 118.302/109 al Dr. Octavio Rascón Chávez,

entonces Director General del IMT, adjuntando las copias de los resúmenes del SIPUMEX, cuya administración está a cargo de la DGCC. A partir de esta fecha se inició la captura de esta información en formato electrónico. Dicha captura fue realizada por personal del Área de materiales de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte, IMT. La tarea de captura de información finalizó a mediados de enero de 2002.

2 Objetivos

En este trabajo se plantea el propósito de proporcionar los lineamientos para la selección ponderada de puentes (discriminación) que cuenten con una alta probabilidad de deterioro por corrosión, que se encuentran en servicio en la red federal de carreteras libres (RFCL) mediante el uso de la herramienta de cómputo del IMT denominada Sistema de Información Geoestadística del Transporte (SIGET). Para lograr esto, se plantearon los siguientes objetivos y metas:

Objetivo General. Clasificar a la infraestructura de puentes de la red de carreteras federales en México en función del estado de degradación por corrosión, estableciendo los niveles de prioridad para su atención.

Meta 1. Generar un inventario, en formato electrónico, de la infraestructura de puentes de la red federal definiendo nombre, número de identificación, entidad estatal, carretera, kilometraje, tramo, año de construcción, año último de inspección, longitud, número de claros, obstáculo que cruza, coordenadas georreferenciadas (latitud y longitud) y finalmente, incorporar la calificación del sistema actual de gestión de puentes llamado SIPUMEX (Sistema de Puentes Mexicanos).

Meta 2. Utilizar el Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (SIGET), desarrollado por el mismo IMT, en conjunto con el inventario generado en la meta anterior, para el análisis espacial, agrupación y representación cartográfica de los puentes que puedan ser propensos a la corrosión, en función de su posición geográfica y de las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos.

Meta 3. Capacitar al personal de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la SCT (DGCC) para que inspeccionen la infraestructura de puentes teniendo los conocimientos básicos de decisión para el correcto diagnóstico de la patología del deterioro que se observe en los puentes a su cargo.

Meta 4. Recabar la información que se genere durante las inspecciones preliminares que realizan los Centros SCT, de los puentes que visualmente se detecten con daños por corrosión.

Meta 5. Conociendo los puentes que muestran patologías de daños por corrosión, se han estado evaluando para así determinar los proyectos adecuados de rehabilitación de los puentes dañados y definir con mayor exactitud los métodos de rehabilitación que pudieran eliminar en gran medida la corrosión de estas estructuras. Esta meta es continua y se realiza a la fecha conforme las solicitudes de apoyo que la SCT comunica al personal del IMT para la realización de estas inspecciones detalladas.

Meta 6. Con los resultados puntuales obtenidos de los puentes o muelles evaluados, la siguiente meta es generar los proyectos más adecuados de rehabilitación para así eliminar el problema de corrosión que se haya presentado en la estructura evaluada. Es este objetivo, al igual que el anterior, que investigadores del IMT continúan los trabajos de apoyo tanto a la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) o a la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la SCT, como a las API para diseñar los métodos y procedimientos adecuados para la rehabilitación de las estructuras evaluadas.

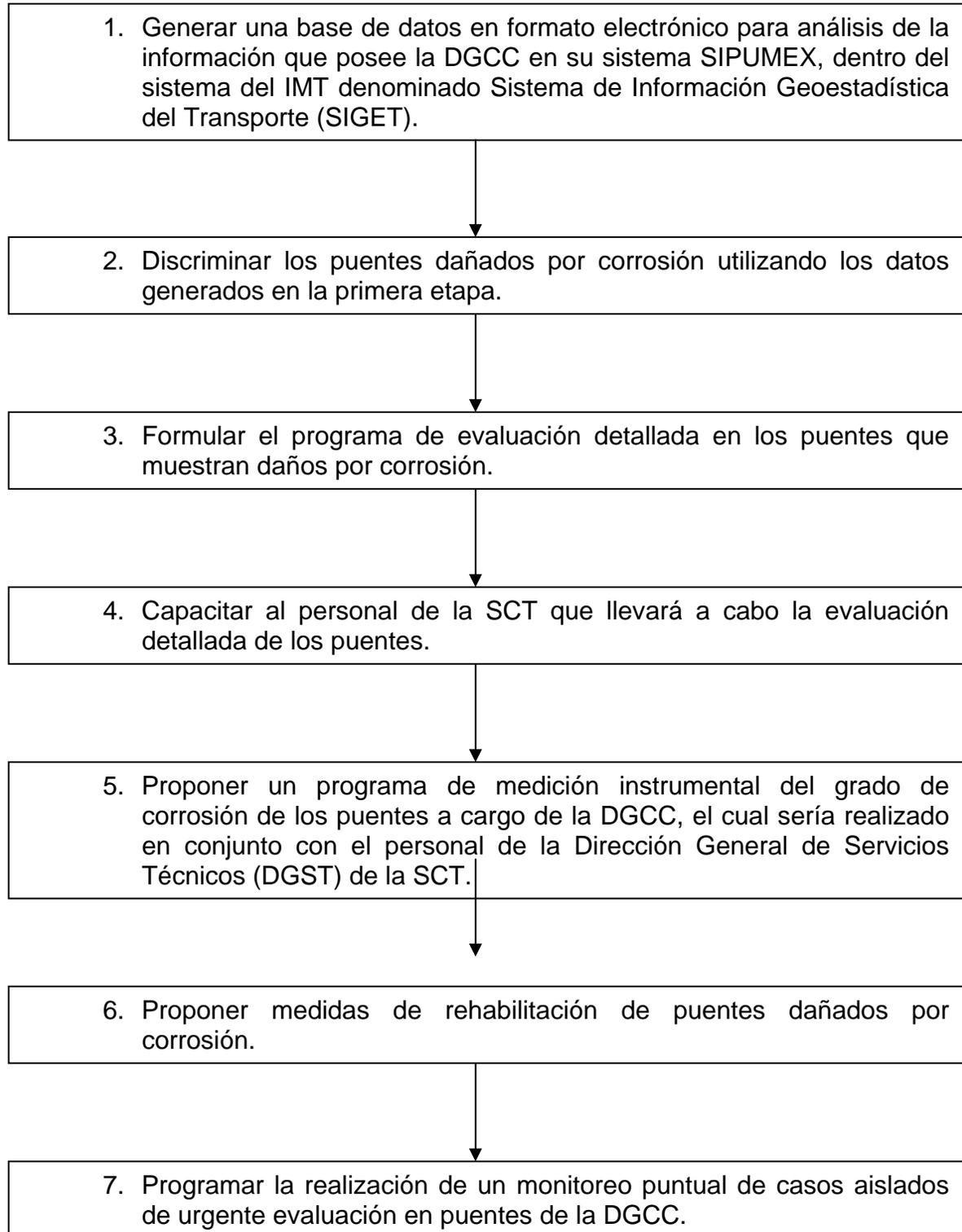
Meta 7. Como actividad paralela a las otras metas explicadas, se están generando en la actualidad los anteproyectos de normativa de la SCT para la evaluación por durabilidad de estructuras existentes, así como los anteproyectos encaminados para el diseño adecuado de nuevas estructuras de concreto donde se considere la afectación por la agresividad del medio ambiente al que ésta se expondrá.

Meta 8. Crear vínculos con otras dependencias de la SCT, tales como Marina y Puertos Mercantes, Administraciones Portuarias Integrales, Caminos y Puentes Federales de Egresos (CAPUFE), etc., que permitan extender el presente programa a los muelles y puentes de todo México.

Meta 9. Vincular a entes externos a la SCT como el caso de universidades y centros de investigación que pudieran interesarse por la capacitación en esta línea de investigación, así como para tener apoyo ejecutivo en la realización de las cientos de inspecciones por durabilidad de puentes y muelles programadas en todo México. De esta manera el IMT funge como coordinador nacional de proyectos de corrosión en estructuras de concreto en todo el país.

3 Desarrollo

Se propuso que el proyecto se desarrollara en las siguientes etapas fundamentales descritas en el siguiente diagrama de flujo.



3.1 Inventario existente de puentes

Como primera etapa en este proyecto se realizó el inventario de todos los puentes administrados por la DGCC en formato electrónico (hoja de cálculo), utilizando la base de datos existente y contenida en el SIPUMEX. Para ello se necesitó recabar los resúmenes de los últimos reportes del SIPUMEX obtenidos por el personal a cargo del manejo de la información de las oficinas correspondientes de la DGCC y DGST. De este inventario se elaboró una discriminación de los puentes que presenten daños por corrosión, para así ubicar a los que tienen mayor probabilidad a originarse corrosión en función de su ubicación y entorno que rodea a cada puente.

3.2 Inventario Electrónico Generado

3.2.1 Punto de Partida: Análisis del SIPUMEX

En 1993, la DGCC de la SCT instrumentó un sistema de administración de puentes denominado Sistema Integral de Puentes Mexicanos (SIPUMEX). Esta base de datos contempla, entre lo más importante desde el punto de vista estructural, las características geométricas, ubicación con coordenadas geográficas, material y tipo de estructura, fecha de construcción, etc. Además posee la información de las reparaciones realizadas, así como una calificación de 0 a 5 que define el estado que guarda el puente desde el punto de vista estructural. Esta calificación informa si el puente está en excelentes condiciones (calificación 0) o si ha rebasado su límite último y requiere de atención urgente (calificación 5).

La calificación que el inventario de SIPUMEX adjudica a los puentes en cuestión, no refleja el posible daño por corrosión, por lo que el presente Plan intenta incorporar la evaluación de los mismos desde el punto de vista de daños por corrosión.

3.2.2 Desarrollo de la base de datos con los resúmenes de SIPUMEX

Como se comentó con anterioridad, se necesitó elaborar en este trabajo una base de datos electrónica, relacionada con el estado de los puentes dañados por corrosión. El sistema de administración de puentes SIPUMEX, tiene la información concentrada de los más de 6,500 puentes de la red federal a su cargo, sin la posibilidad de que esta información se pueda utilizar con otros fines, mas que de imprimir reportes de inspección en cada uno de los puentes que conforman el sistema. La posibilidad de exportar esta información es limitada, por lo cual se generó otra base de datos flexible para que ésta fuese utilizada de manera expedita en otro tipo de aplicación electrónica, como la del presente estudio.

Es por ello que, como primer paso de esta etapa del Plan, se generó esta base de datos con la información de los puentes de la red de carreteras federales. Con este fin se contó con el apoyo de la DGCC, la cual facilitó la impresión de los resúmenes de la información de todos los puentes que constan en el SIPUMEX.

En el IMT se recibieron tres carpetas con los resúmenes de la información de los puentes que administra SIPUMEX a nivel estatal, las cuales contienen la siguiente información.

1. Datos sobre nombre de la carretera, tramo, kilometraje, ramal, estado, número de identificación, nombre del puente, longitud, etc.
2. Resumen que muestra el año de construcción, último año de inspección y calificación SIPUMEX, además del nombre del puente y número de identificación.
3. Localización geográfica de cada uno de los puentes, además del nombre, año de construcción y longitud.

Al utilizar los datos de cada una de estas carpetas se comenzó a generar el inventario en formato electrónico, de la infraestructura de la red carretera federal, seleccionando algunos de los datos que se pensó fueran indispensables. Los antecedentes que se utilizaron para el inventario electrónico fueron los siguientes: nombre, número de identificación, estado, carretera, kilometraje, tramo, año de construcción, año último de inspección, longitud, número de claros, obstáculo que cruza, localización geográfica (latitud y longitud) y calificación dada por el SIPUMEX. Esta información da un total de 13 campos o columnas en el inventario generado.

El último de los datos enumerados, corresponde a la calificación SIPUMEX del estado que guarda el puente, con un rango que va del 0 al 5. Esta calificación puede basarse en el estado estructural y en el estado de deterioro general y no contempla explícitamente daños por corrosión, por lo que se necesitó enriquecer la base de datos, como parte de este trabajo. En abril de 2001 se produjo esta base de datos electrónica y en diciembre del mismo año, finalizó.

3.2.3 Análisis estadístico de la información del inventario SIPUMEX

Una vez integrada la base de datos requerida para el Plan nacional de evaluación de puentes dañados por corrosión, se utilizaron los campos de datos para generar una serie de análisis estadísticos y así llegar a un sondeo del estado que guardan los puentes de la red federal carretera tanto nacional como estatal en 2002.

3.2.3.1 Curvas S de las calificaciones SIPUMEX por estado

Las primeras gráficas desarrolladas en este análisis de la información de los resúmenes de SIPUMEX son las Curvas S de calificaciones. En este tipo de gráfico se muestra, por estado, las calificaciones (en porcentaje acumulado) otorgadas por los ingenieros residentes de puentes las cuales están registradas en el SIPUMEX. Para esto se tomó de la base de datos las calificaciones estatales, acomodando estos datos en orden ascendente y así generar un gráfico en el cual la abscisa es la calificación SIPUMEX (de 0 a 5) y la ordenada el porcentaje total acumulado de los puentes que presentan dichas calificaciones.

De esta manera se pueden observar las diferencias entre cada estado, donde las calificaciones y porcentajes varían, teniendo así por un ejemplo estado cuyas calificaciones oscilan entre 0 y 5 y otros donde se tiene calificaciones únicamente en el rango de bajo índice de daño o sea 0 y 1. Para dar más detalles del proceso, a continuación podemos ver el ejemplo de estas variaciones.

Para el estado de Guerrero se puede observar que 2% de los puentes tiene calificación 0; 38% tienen calificación 1; el 40% tiene 2; el 17% calificación 3; el 2% 4 y finalmente 1% calificación 5. En este caso, en Guerrero, se tienen puentes con las cinco calificaciones en las que el sistema SIPUMEX clasifica el daño en puentes. El valor medio, calculado con base en el estimado de calificación cuando el valor de la ordenada es de 50%, es igual a 2 (ver fig 3.1).

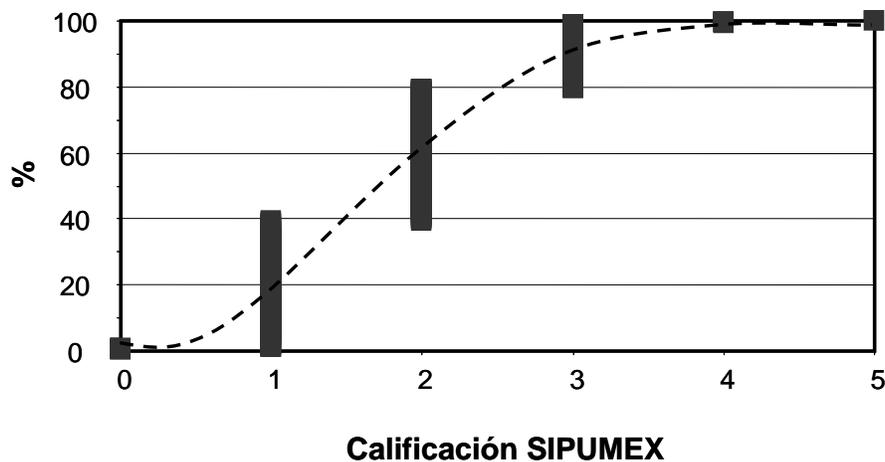


Figura 3.1

Curva S de la calificación SIPUMEX para los puentes del estado de Guerrero

En el caso de Nuevo León la tendencia de las calificación es hacia valores altos: 27% posee calificación de 1; 43% con 2; aproximadamente 17% una de 3 y un 13% con de 4, dando un valor de calificación medio igual a 2 (ver fig 3.2).

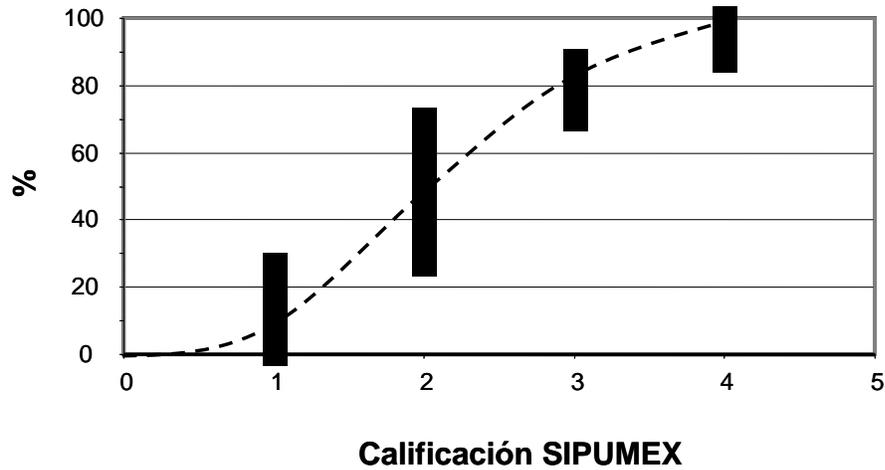


Figura 3.2

Curva S de la calificación SIPUMEX para los puentes del estado de Nuevo León

En el caso del estado de Quintana Roo, su curva S es todo lo contrario a las descritas anteriormente, ya que las calificaciones de sus puentes se encuentran entre los valores de 0 y 1 (ver fig 3.3).

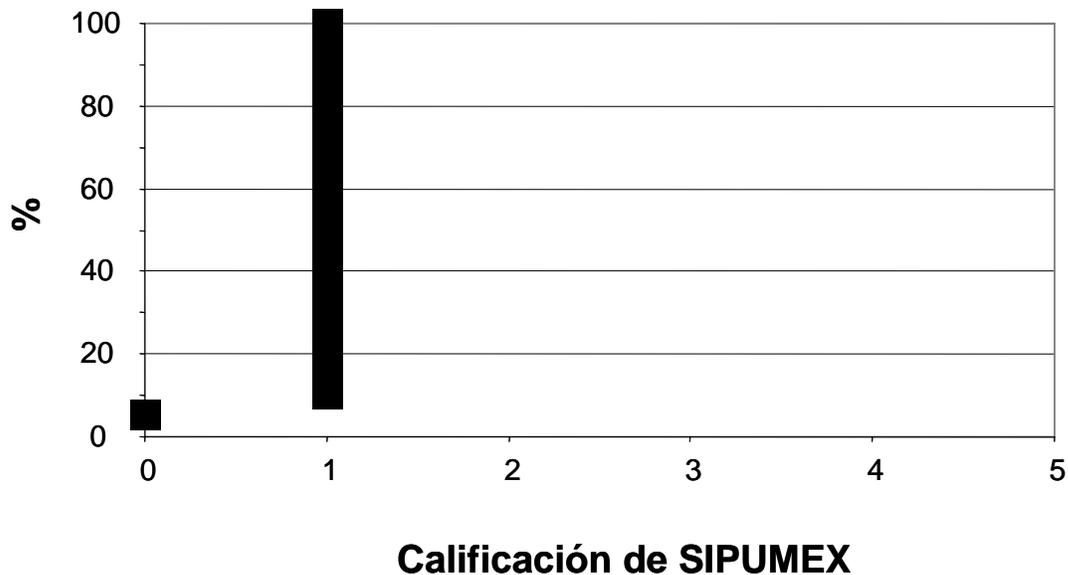


Figura 3.3

Curva S de la calificación SIPUMEX para los puentes del estado de Quintana Roo.

3.2.3.2 Histograma de Calificaciones Generales

Utilizando la información de las calificaciones dadas por el SIPUMEX, se cuantificó la distribución de dichas calificaciones de todos los puentes de la red federal. El resultado se presenta en la fig 3.4. Para generarla primero se ordenaron los estados costeros y no costeros, una vez separados, se realizó un acomodo de la información de la calificación en orden ascendente y se procedió a la suma de los puentes por calificación, llegando así a un comparativo entre estados costeros y no costeros. Como puede observarse ambos rangos presentan una calificación sesgada hacia los valores entre 1 y 2, permitiendo inferir que el estado general de los puentes es adecuado. El valor medio de calificación para ambos rangos es aproximadamente 2.

3.2.3.3 Calificación promedio por estado

Como dato adicional, se estimó el valor promedio de la calificación por estado presentándose este análisis mediante el diagrama de barras de la fig 3.5. En dicha figura se representan todos los estados del país, así como de dos barras adicionales que corresponden a los promedios generales de los estados costeros y no costeros (últimas dos barras de la fig 3.4). Como se puede ver, la gran mayoría de los estados obtuvieron una calificación promedio entre 1,2 y 1,9. Únicamente dos estados (Aguascalientes y Quintana Roo) presentaron una calificación promedio menor a 1. Nueve estados presentaron una calificación promedio mayor de 2 y menor de 2,5. Esto concuerda con los valores de calificación general presentados en la fig 3.4, en lo que respecta al buen estado, de los puentes de la red federal.

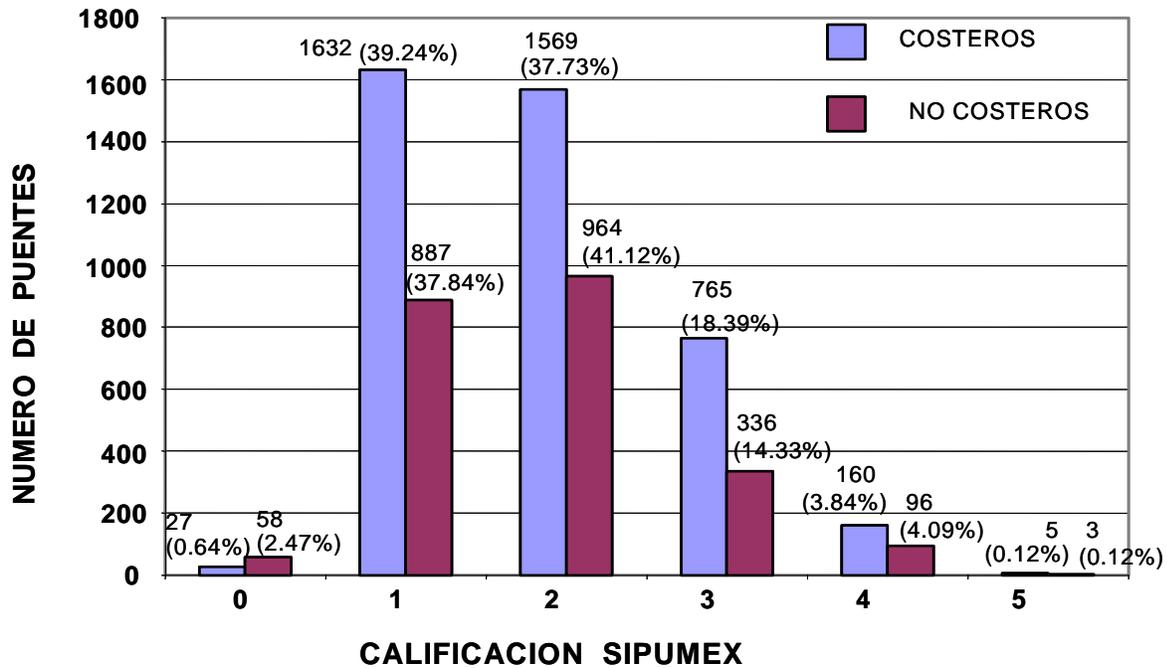


Figura 3.4

Calificaciones generales del SIPUMEX de los estados costeros (color claro) y estados no costeros (color oscuro).

3.2.3.4 Año promedio de construcción por estado

De manera similar al indicador anterior (calificación promedio), se realizó un estimado del año promedio de construcción por estado, pero en este caso utilizando el campo de año de construcción de la información recabada de los resúmenes del SIPUMEX. Estos valores se presentan en la fig 3.6. También se estimó este rubro en los rangos de estados costeros y no costeros (ultimas dos barras de la figura en cuestión). Como puede observarse la edad promedio, al año 2002, de los puentes en la red federal es de aproximadamente entre 35 y 40 años. Esto implica que la infraestructura de puentes carreteros esté en los límites de sus respectivos valores de vida útil, como generalmente se define mundialmente. La gran mayoría de los estados poseen puentes con fechas de puesta en uso entre 1970 y 1985, como se observa en la fig 3.6. Los estados con puentes con mayor tiempo de utilización están en el estado de Puebla, con una edad promedio de 60 años; en contraste, el estado con los puentes de menor tiempo de fabricación es el de Yucatán, con 8 años.

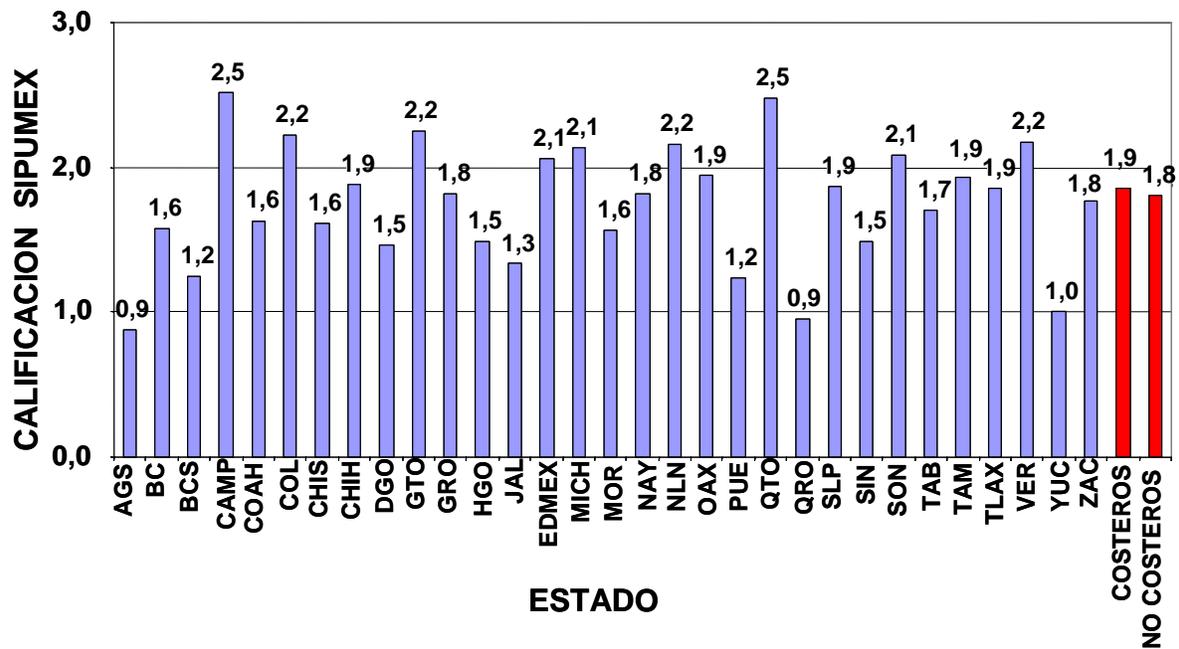


Figura 3.5
Calificación SIPUMEX promedio por estado

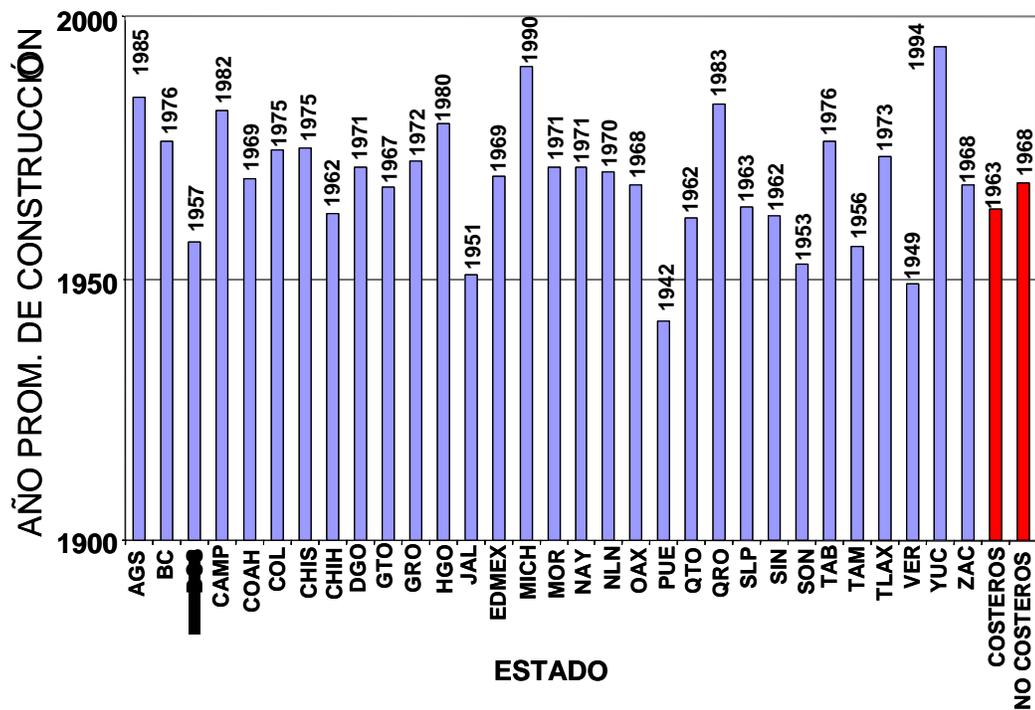


Figura 3.6
Año promedio de construcción por estado

3.2.3.5 Longitud total y número de claros promedio por estado

Para establecer la importancia de la infraestructura de puentes en la red federal por estado, se analizaron dos parámetros más del inventario electrónico generado en esta investigación. Se obtuvo el número de claros promedio y la longitud total de los puentes por estado de la base de datos SIPUMEX (Tabla 3.1), y se prepararon las gráficas de barras mostradas en las figs 3.7 y 3.8 respectivamente. En la fig 3.7 (claros promedio) no se pudo detectar diferencias en el tamaño de los puentes en cada estado, ya que el promedio en todos ellos fue muy similar (aproximadamente de 2 claros). Únicamente se observó que los estados de Colima, Chihuahua y Sonora, poseen puentes con un número de claros del orden de 3.

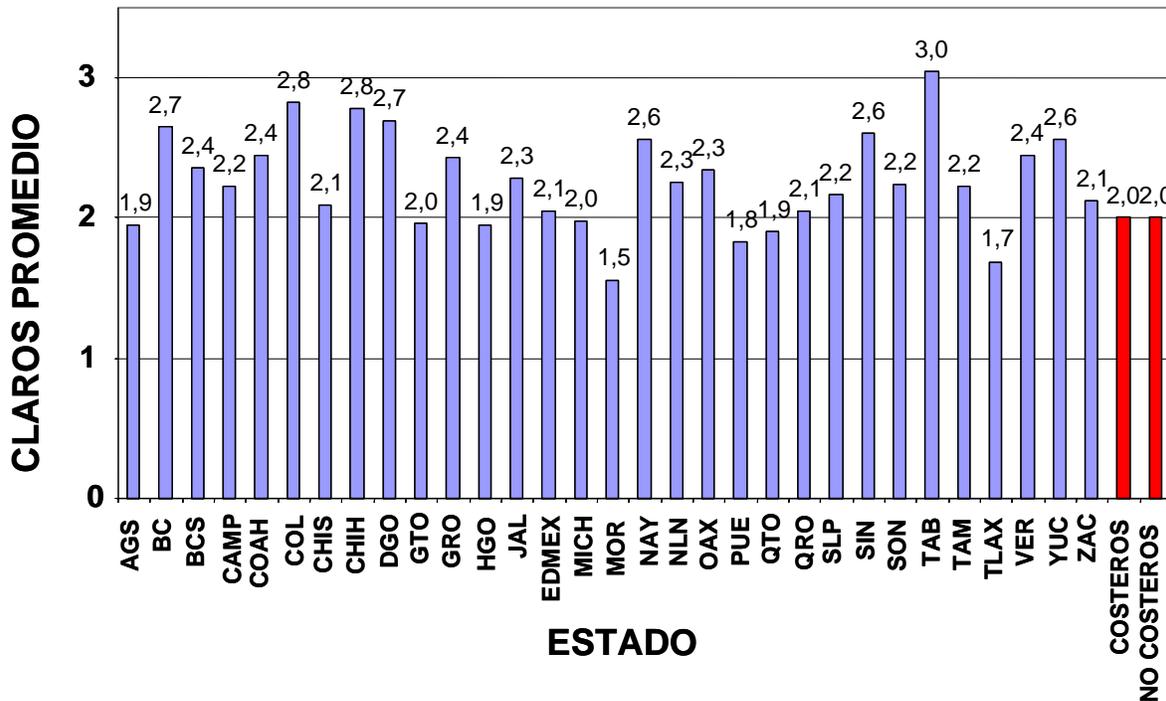


Figura 3.7
Número de claros promedio por estado

En relación con la fig 3.8, se puede inferir que los estados con infraestructura de puentes más importante, tomando en cuenta la longitud total de puentes por estado (estados con longitud total mayor a 15,000 m), son Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Michoacán, en ese orden.

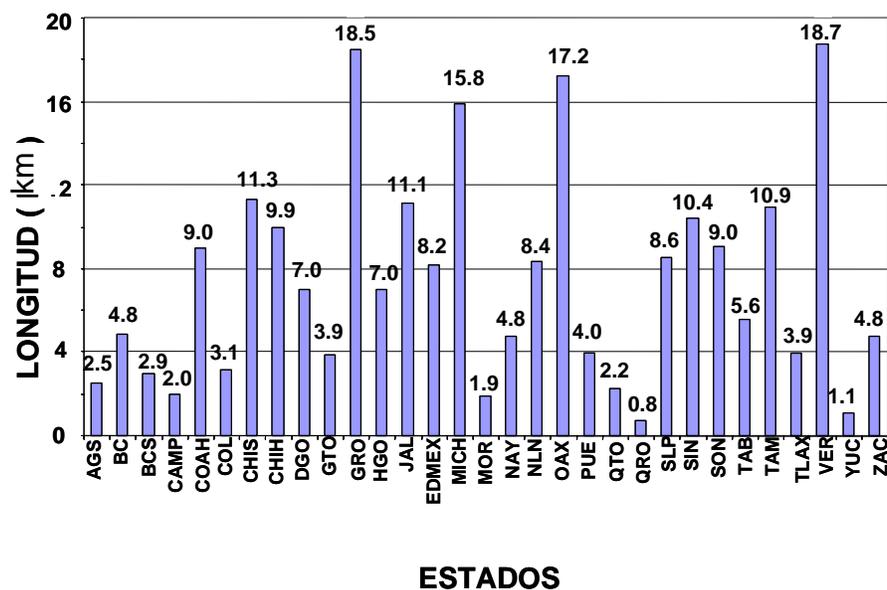
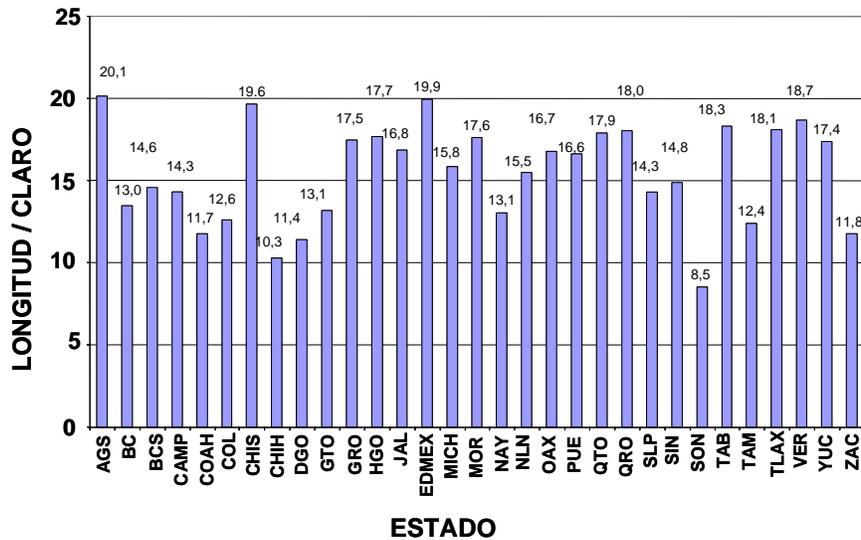


Figura 3.8
Longitud total de los puentes por estado

Como siguiente parámetro de comparación, determinado del inventario electrónico generado, se obtuvo el promedio de longitud entre apoyos de los puentes por cada estado. Esto fue calculado con el fin de determinar un parámetro para calificar la importancia de los puentes en función de sus dimensiones.

Para hacerlo, se dividió el valor de la longitud del puente entre el número de claros de cada puente. De estos valores se obtuvo un promedio por estado, representado en la fig 3.9. De esta figura se nota que 55% de los estados poseen puentes con una distancia entre apoyos (longitud/claros) de entre 15 y 20 metros, 42% de entre 10 y 15 metros y únicamente Sonora posee un promedio de distancia entre apoyos de aproximadamente 8,5 m.



ESTADO
Figura 3.9
Promedio de longitud entre apoyos

Las figuras presentadas fueron obtenidas utilizando la base de datos electrónica elaborada en el IMT con base en los resúmenes del SIPUMEX. El tipo de archivo es una tabla EXCEL (Microsoft versión 1997) la cual podrá ser utilizada, a conveniencia por las personas autorizadas que reciben una copia controlada de este reporte para obtener otra información gráfica que no esté incluida en esta publicación.

La Tabla 3.1 muestra el número y la longitud de los puentes de la red federal correspondientes a cada estado de la República Mexicana; dicha tabla fue la primera producida con la información del nuevo inventario electrónico.

Tabla 3.1
Número y Longitud de Puentes de la Red Federal por Estado (Resumen de SIPUMEX)

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 California 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			

3.3 Análisis espacial para la discriminación de los puentes potencialmente dañados por corrosión

3.3.1 Fuentes de información utilizadas

Las fuentes básicas de información están constituidas por los archivos correspondientes a SIPUMEX_CORR del Plan nacional de evaluación y diagnóstico de puentes dañados por corrosión, a cargo del IMT y de las Direcciones Generales de Servicios Técnicos (DGST) y la de DGCC de la SCT, así como los archivos digitales georreferenciados de los siguientes temas:

- Límites estatales y municipales
- Carreteras pavimentadas
- Puentes
- Límites Costeros
- Zonas climáticas
- Municipios

Esta información temática procede de instituciones como: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Instituto Nacional de Ecología (INE), Instituto de Geografía (UNAM) e IMT.

3.3.2 Variables y criterios para el análisis de la información

De acuerdo con las metas antes señaladas, en 2002-2004 se definió un universo de 6065 puentes, una vez separados de la base de datos los registros fueron inconsistentes (435 puentes carecían de coordenadas geográficas en ese entonces). Se analizó conjuntamente la información básica disponible (por parte de la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural y la Unidad de Sistemas de Información Espacial, ambos del IMT) y se procedió a la definición de las siguientes parámetros y criterios:

1. Año de construcción.
Al respecto se seleccionaron los puentes que fueron construidos en 1990 y antes, es decir, teniendo en cuenta el factor tiempo, sin incluir información sobre los trabajos de mantenimiento.
2. Puentes sobre ríos permanentes y canales.
Se consideró como variable el hecho de que los puentes se localicen sobre ríos y canales, dada la influencia permanente de la evaporación sobre ellos, omitiendo los arroyos debido a su caudal insignificante.
3. Distancia a la línea de costa.
Respecto a la línea de costa se generaron dos áreas de influencia (o radios de acción de un fenómeno), uno a 5 km de la costa y otro a 20 km de la misma, cuando en esa área se encuentran ríos, buscando captar el efecto combinado de la humedad y la posible presencia de altas concentraciones de cloruros en dichos caudales.
4. Zona climática.
En el caso de la corrosión por carbonatación, se consideraron los climas secos y semisecos, o sea, los que tienen temperaturas medias que oscilan alrededor de los 18° C y el cociente T/P (Temperatura/Precipitación) alrededor de 22,9, sólo superiores al de los climas muy secos y muy áridos.
5. Municipios con actividad industrial.
Para el caso del proceso de corrosión por carbonatación, se incluyeron los municipios donde existen dos o más parques, ciudades y/o corredores industriales, con base en el criterio de que las actividades económicas industriales generalmente están muy próximas a los grandes centros

urbanos del país, donde es mayor la generación de desechos precursores de corrosión por carbonatación.

Derivado de lo anterior, se utilizaron los parámetros de la siguiente manera (variable/proceso):

1. Año de construcción: cloruros/carbonatación
2. Puentes sobre ríos y canales permanentes: cloruros/carbonatación
3. Distancia a la línea de costa: cloruros
4. Zona climática: carbonatación (climas secos áridos y semisecos semiáridos)
5. Municipios con zonas industriales: carbonatación.

3.3.3 Modelo cartográfico

El modelo cartográfico se diseñó para generar la discriminación de los puentes bajo diferentes criterios. A continuación se relacionan los pasos seguidos para su realización. Estas etapas se presentan de manera gráfica en la fig 3.10. De igual manera, al final se incluyen los modelos cartográficos correspondientes a cada paso realizado en el procedimiento.

1. Se uniformaron los archivos *shape* (mapas iniciales), siendo referenciados a la proyección geográfica y los *datum NAD 27* y *WGS 84*, así como al *esferoide de Clarke 1866* para su correcta sobreposición y análisis espacial.
2. A partir de los mapas fuente referentes a los límites estatales, carreteras y puentes, se generó el mapa de referencia general denominado: Carreteras y puentes de la República Mexicana. Este mapa se presenta en la fig 3.11.
3. En cuanto a la variable año de construcción, se seleccionaron, de la base de datos, los registros correspondientes para generar el mapa de Puentes construidos en 1990 y antes.
4. Respecto a la variable puentes sobre ríos y canales permanentes, se efectuó la selección de los Puentes localizados sobre ríos y canales, sin considerar los arroyos. La representación cartográfica es presentada en la fig 3.12.
5. Con referencia a la distancia a la línea de costa, se hizo un área de influencia de 5 km. de las costas, para incluir solamente los puentes muy cercanos a dicho límite, dando lugar a la generación del mapa respectivo Puentes ubicados a 5 km o menos de la costa.

puentes ubicados en tales municipios, dando lugar al mapa de Puentes en municipios con parques y corredores industriales (ver fig 3.14).

8. Sobre la base de datos depurada entre los pasos 1 a 6 anteriores, se agregaron los campos necesarios para asignar un valor (de 1 y 0 a cada puente, si cumple o no con cada condición, respectivamente), obteniendo enseguida una calificación total.

Es importante precisar que, en esta parte del procedimiento, se consideró la calificación asignada por SIPUMEX (de 0 a 5) a cada puente obtenida en 2000, durante el programa bianual de inspección de puentes de los centros SCT en cada estado. El valor asignado a esta variable fue de 2 para los puentes con calificación SIPUMEX igual a 4 y 5; un valor de 1 para los puentes con calificación de 2 y 3, y finalmente un valor de 0 para aquellos con calificación de 0 y 1.

9. Con base en la revisión de los resultados preliminares, los valores numéricos totales se transformaron en categorías, de la siguiente manera:

Para cloruros:

0 y 1 = prioridad baja
2 y 3 = prioridad media
4 y 5 = prioridad alta

Para carbonatación:

0, 1 y 2 = prioridad baja
3 y 4 = prioridad media
5 y 6 = prioridad alta

A partir de estas tablas de valores se generaron los mapas sobre prioridades (alta, media y baja) para cloruros (fig 3.15) y para carbonatación (fig 3.16). Como resultado se obtuvo, para cada proceso analizado (cloruros y carbonatación), el desglose de los puentes según su prioridad para ser inspeccionados en forma detallada, que a continuación se enumera:

Puentes con potencialidad de presentar corrosión por cloruros (fig 3.15):

Prioridad alta	330 puentes
Prioridad media	3604 puentes
Prioridad baja	2131 puentes

Puentes con potencialidad de corrosión por carbonatación (fig 3.16):

Prioridad alta	395 puentes
Prioridad media	3951 puentes
Prioridad baja	1719 puentes

Cabe aclarar que éstos (figs 3.11 a 3.16) fueron sometidos a un proceso final de edición (inclusión en un sistema de coordenadas geográficas, escalamiento, ampliación de áreas representativas, diseño de simbología, etc.), conforme a las normas de diseño cartográfico.

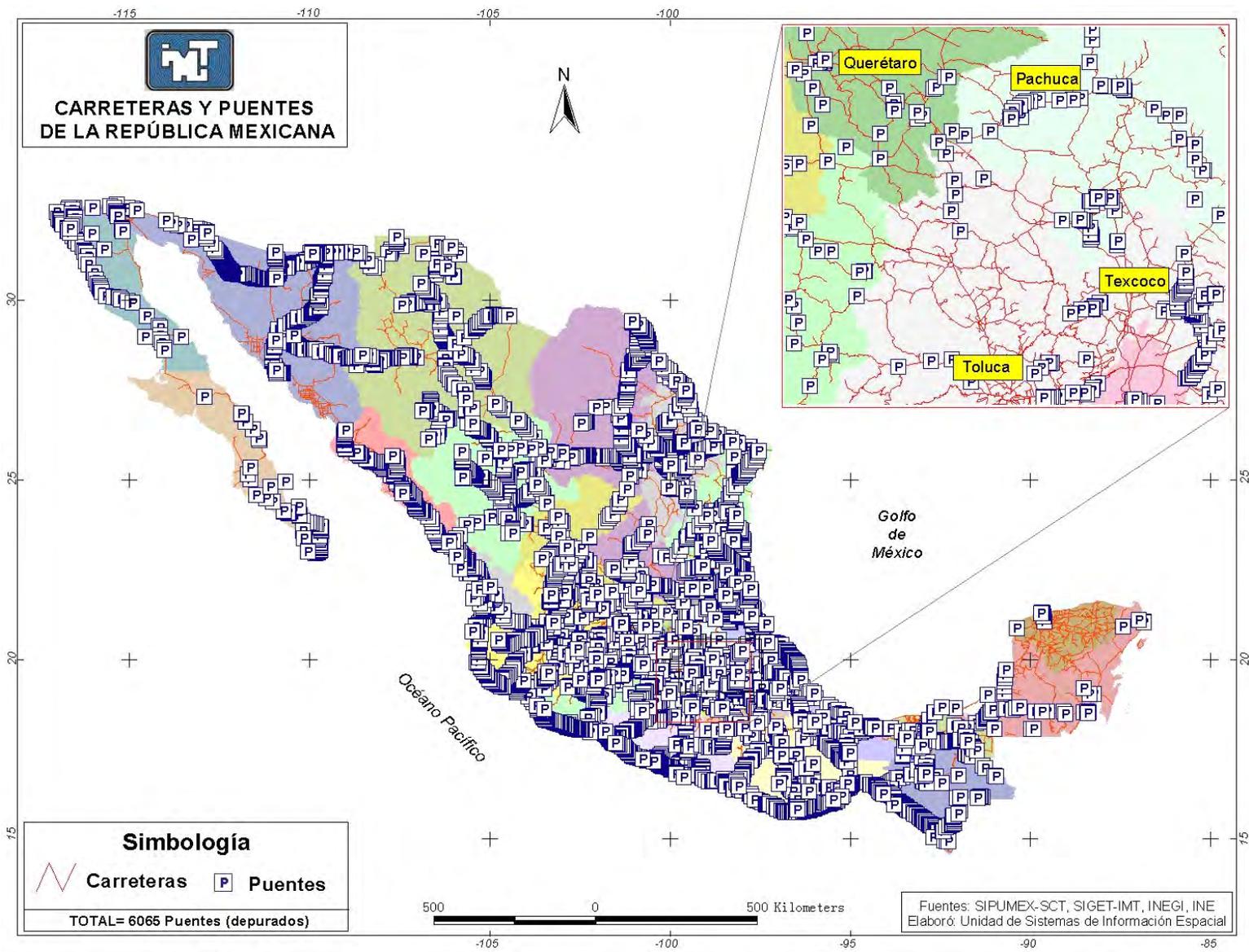


Figura 3.11
Mapa de carreteras y puentes del inventario (2002)

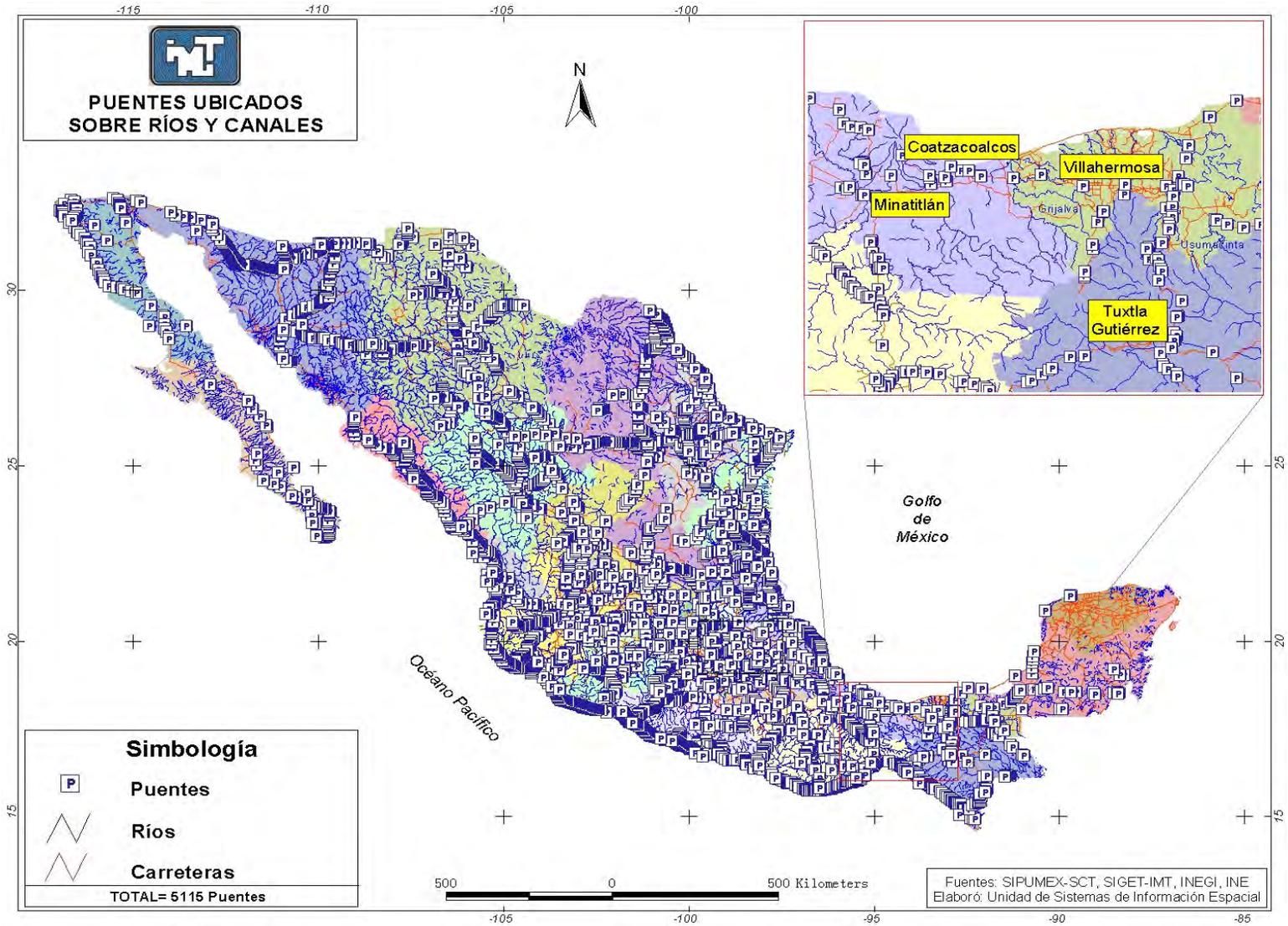


Figura 3.12
Mapa de puentes ubicados sobre ríos y canales (2002)

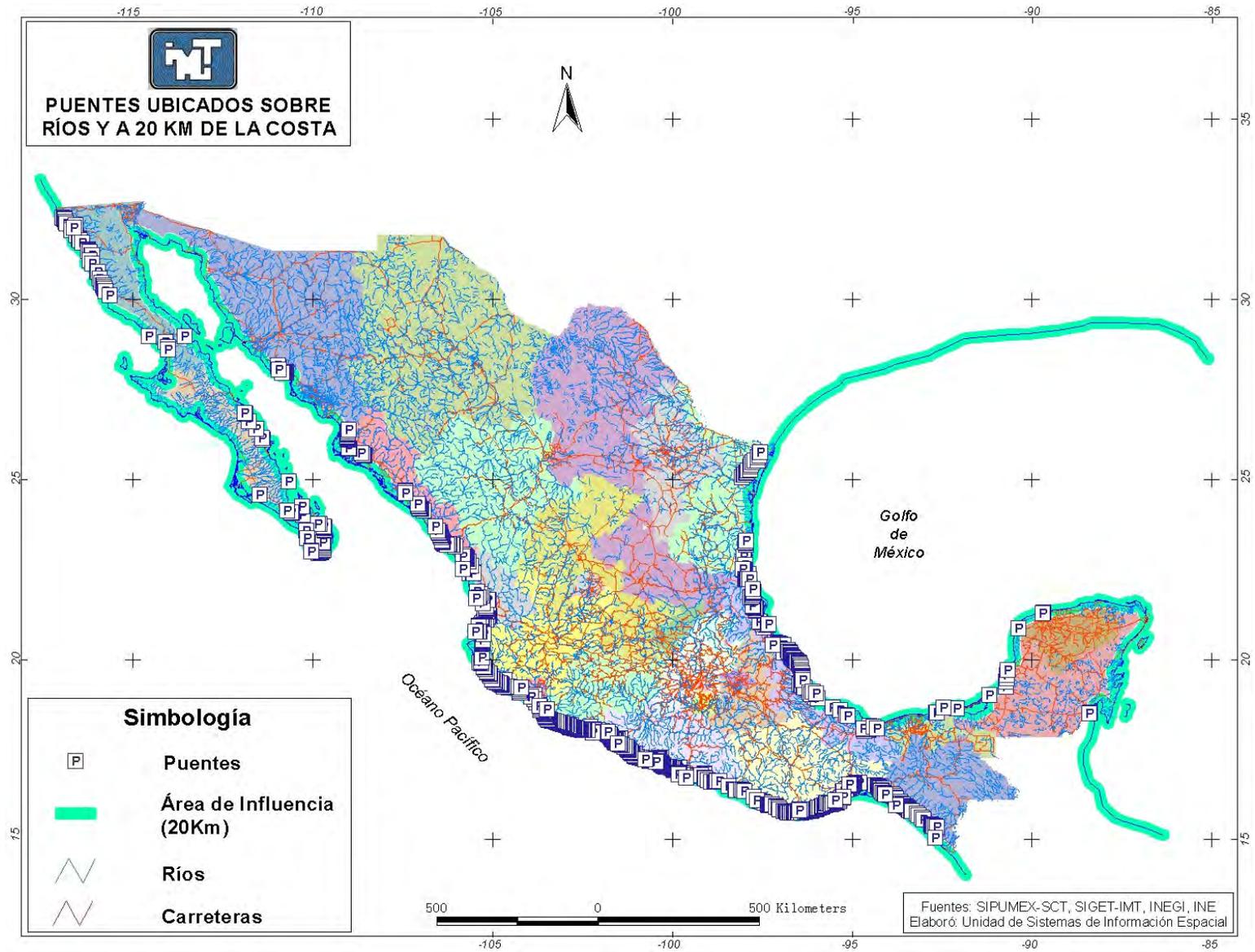


Figura 3.13
Mapa de puentes ubicados sobre ríos y a 20 km de las costas (2002)

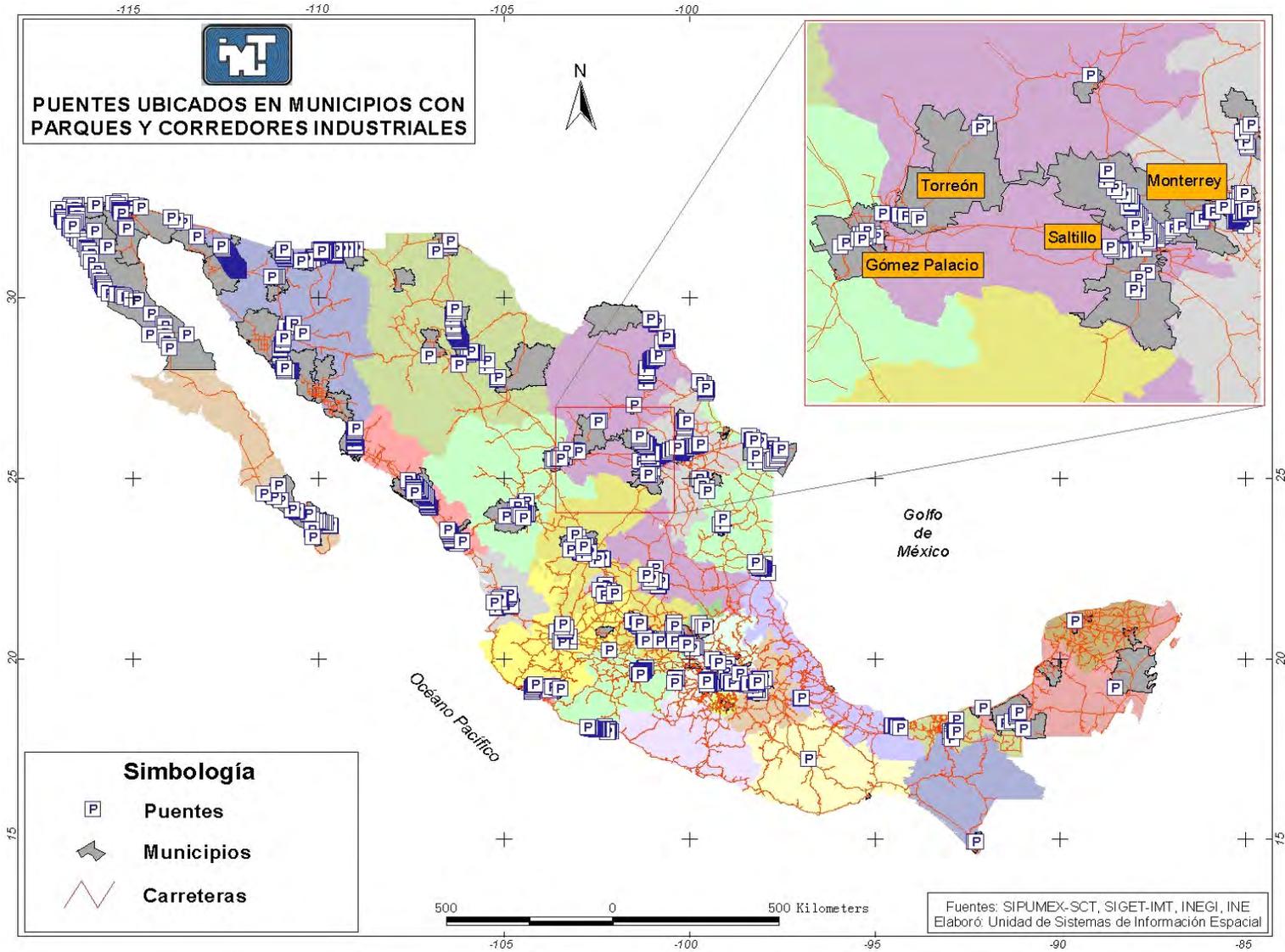


Figura 3.14
Mapa de puentes ubicados en municipios con parques industriales (2002)

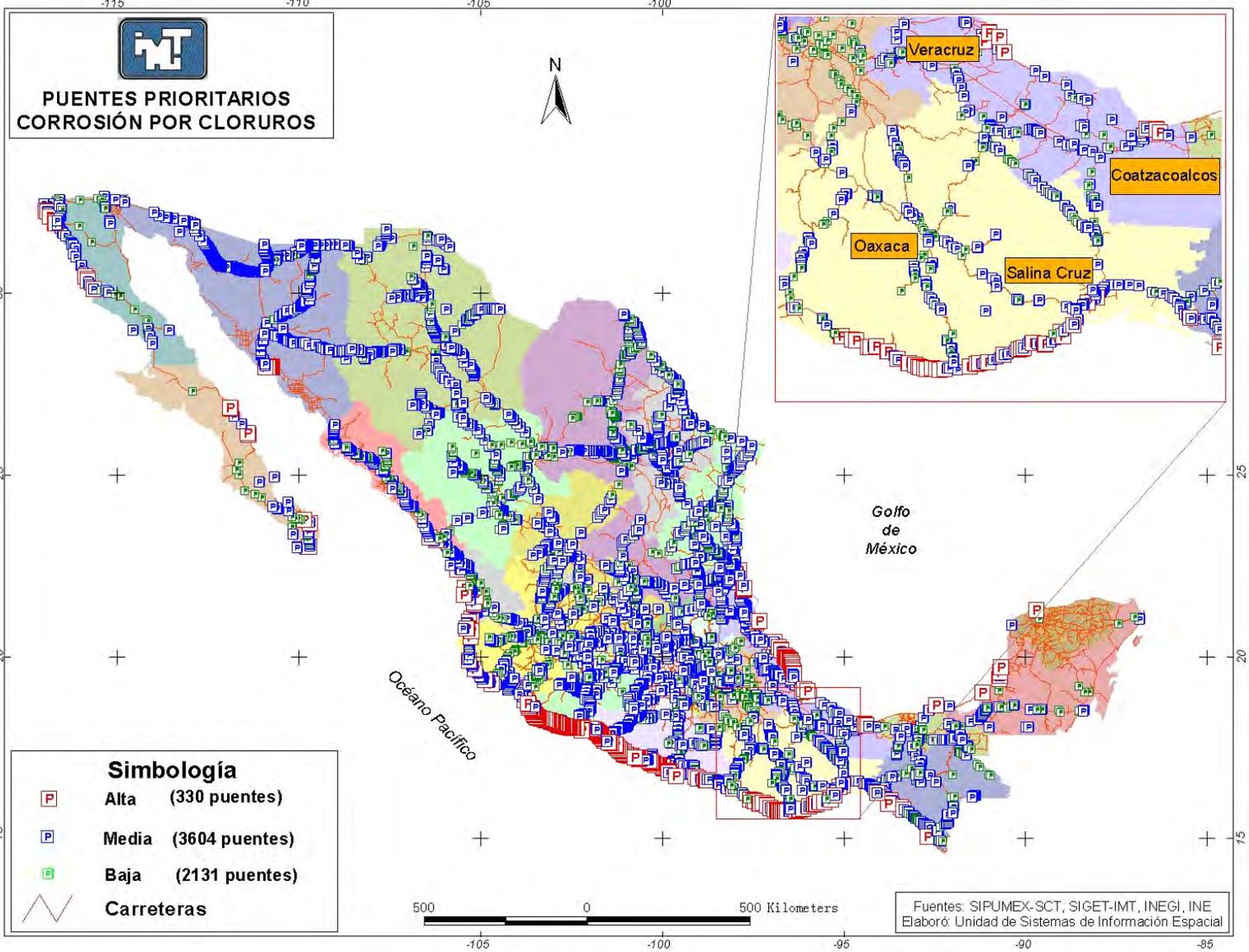


Figura 3.15
Mapa de puentes prioritarios para programa de inspección detallada corrosión por cloruros (2002)

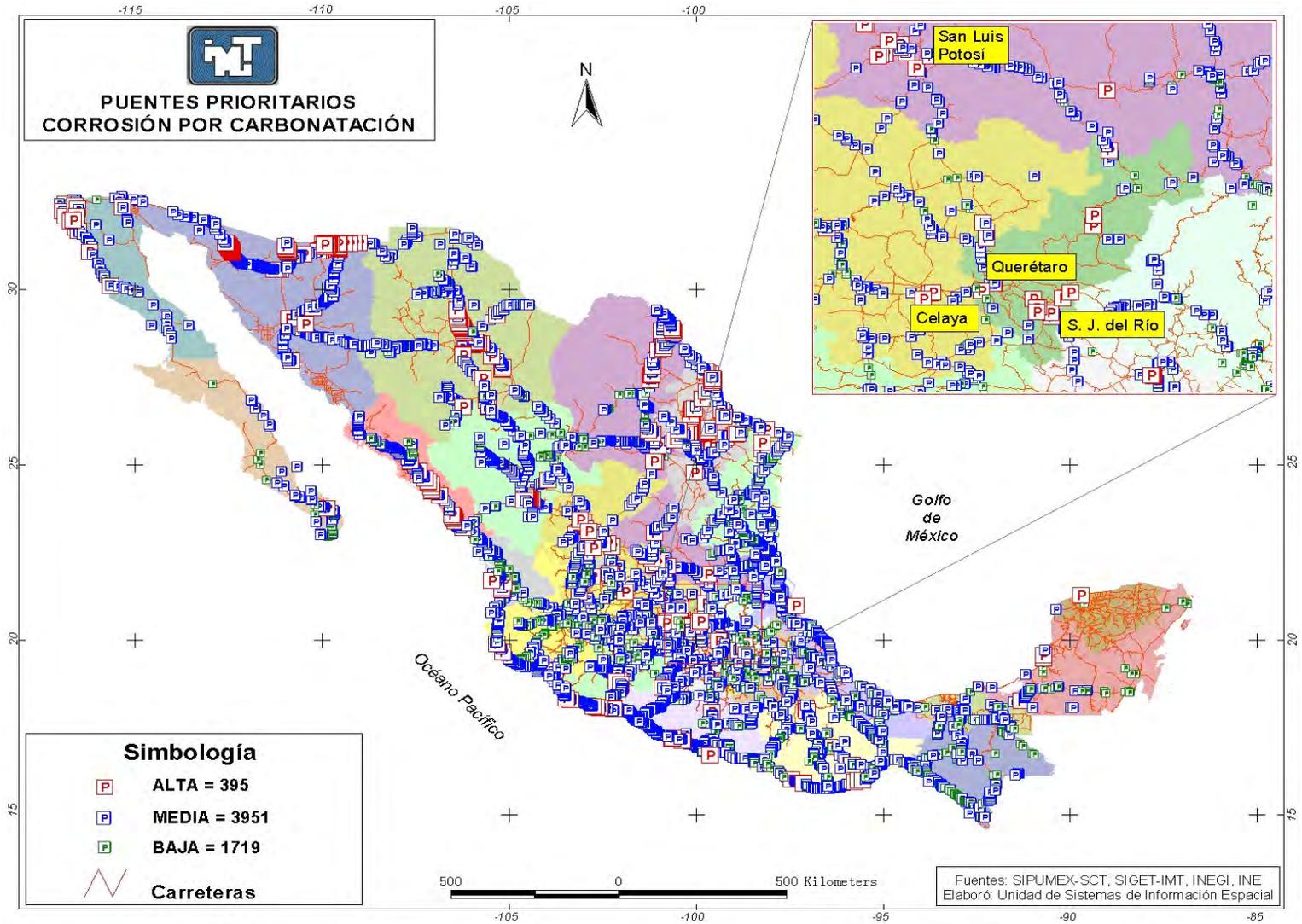


Figura 3.16

Mapa de puentes prioritarios para programa de inspección detallada corrosión por carbonatación del concreto (2002)

3.4 Evaluación de campo realizada por los residentes de puentes de la DGCC

Como parte del plan presentado, se incluyó capacitar a todos los residentes de puentes de la DGCC en cada uno de los 31 estados para que realizaran una inspección visual en los 6500 puentes que conforman la red de carreteras federales. El curso impartido tuvo como referencia principal el manual de la RED DURAR de CYTED publicado en 1997.

Los residentes de puentes en cada estado hicieron llegar a las oficinas de la DGCC, ubicada en la Ciudad de México, un listado de los puentes que presentaban daños visibles por corrosión, como por ejemplo grietas paralelas al refuerzo, manchas de óxido en la superficie del concreto y delaminaciones que mostraran a la armadura corroída. Las oficinas centrales de la DGCC enviaron al IMT el listado de estos puentes agrupados por estado, proporcionando la clave, nombre y ubicación de cada puente. Personal del IMT recabó esta información y generó la base de datos electrónica con únicamente los puentes que tuviesen daño visible por corrosión.

A dichos puentes se le incluyeron los otros campos que con anterioridad se obtuvieron de los resúmenes de SIPUMEX y se realizaron análisis adicionales. Para identificar y dar prioridad a estos puentes, se seleccionó a la calificación de SIPUMEX como parámetro principal para dividirlos según el estado de corrosión. Para ello, se definió una prioridad de inspección de los puentes dañados por corrosión en función de la calificación SIPUMEX, como sigue:

- 0 y 1 = prioridad baja
- 2 y 3 = prioridad media
- 4 y 5 = prioridad alta

Como resultado, se presentan en la fig 3.17 los puentes que fueron catalogados como Puentes Prioritarios Para ser Inspeccionados en Detalle a más tardar en un par de años. Con base en estos resultados, se programó la segunda fase del Plan nacional de evaluación de puentes dañados por corrosión, en el cual se realizaron las inspecciones detalladas de los puentes de más alta prioridad.

Cabe aclarar que los resultados de campo proporcionan un número más reducido en el rango de prioridad alta que el obtenido por la discriminación mediante el análisis espacial descrito en la sección 3.3. Posteriormente se realizó una depuración de la información, dándole diferentes valores a los parámetros utilizados. La finalidad fue que el trabajo de gabinete fuera comparable al levantamiento realizado en campo.

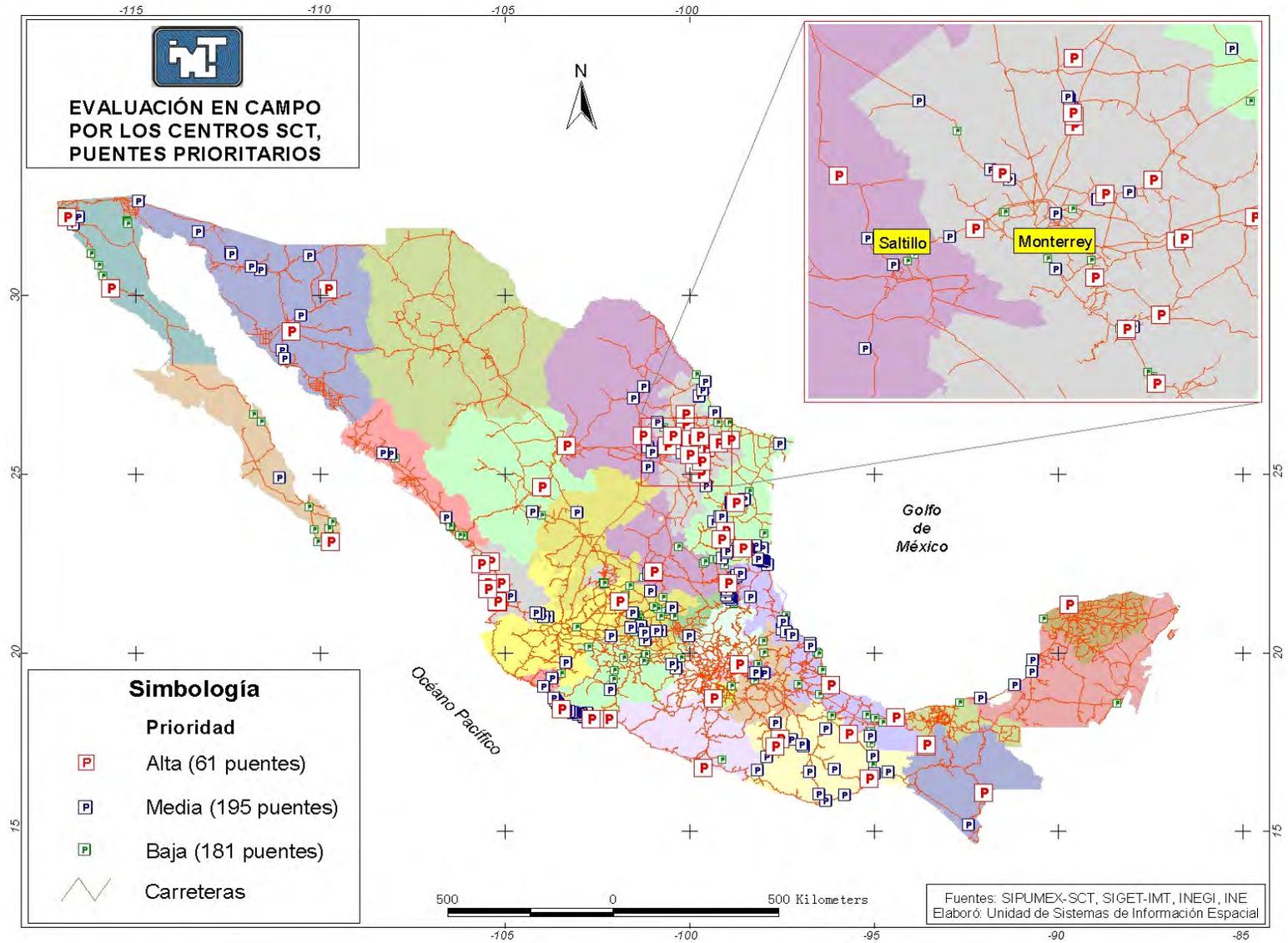


Figura 3.17
Mapa de puentes priorizados según los resultados de las inspecciones visuales en campo (2002)

3.5 Discriminación preliminar de la corrosión

Con el propósito de comprobar de manera visual si un puente dado manifiesta daños por corrosión, se recabó la información del inventario capturado o de los reportes que se hayan formulado en los últimos años, por parte de los ingenieros residentes de puentes de cada región. Se consideró que estas inspecciones debieron ser completas, para discriminar el total de puentes en cada región. Evidencias visibles como manchas de óxido en la superficie, agrietamiento y descascaramiento en la cobertura del concreto, podrían indicar que la estructura se ha deteriorado; sin embargo, y dependiendo de la importancia de la estructura, otros métodos más sofisticados pero no muy costosos, pudieran ser utilizados para obtener el estado de corrosión, antes de presentarse dichas evidencias. Para utilizar técnicas modernas de inspección, se planteó que el IMT capacitara al personal de la DGCC y DGST residente en los puentes, para detectar problemas típicos de corrosión y la patología que puedan presentar.

Es menester recalcar que las inspecciones preliminares referidas, debieron ser realizadas por los ingenieros residentes en puentes, quienes son responsables también de vaciar en el SIPUMEX esa información recabada. El análisis de los datos se llevó al cabo con el personal de la Coordinación, en ese entonces, de Equipamiento para el Transporte (CET) del IMT. Con la información resultante, se sentaron las bases para monitorear todos aquellos puentes que presentaron daño por corrosión, conforme se describe en los párrafos siguientes.

3.5.1 Curso general de inspección y discriminación preliminar

Con el propósito de capacitar al personal de la SCT para identificar de manera visual qué puentes de la red federal manifiestan corrosión, se realizó entre los meses de marzo y mayo de 2001, el Curso general de inspección y discriminación preliminar de puentes, el cual fue impartido por los investigadores del IMT Dr. Andrés A. Torres Acosta, Dra. Angélica del Valle Moreno y M.C. Trinidad Pérez Quiroz, y constó de los siguientes temas (los valores entre paréntesis corresponden al número de horas impartidas en cada tema):

Curso General de Inspección y Discriminación Preliminar

- 1 Información general y magnitud del problema (0,5 h)
- 2 Introducción a la corrosión (1 h)
- 3 Corrosión del acero en concreto (1,5 h)
- 4 Inspección Preliminar (4 h)
 - 4.1 Preparación de fichas de antecedentes de la estructura y del medio ambiente (1,25 h)
 - 4.1.1 Ficha de descripción y antecedentes de la estructura (0,75 h)
 - 4.1.2 Ficha de descripción del medio ambiente (0,75 h)
 - 4.2 examen visual general de la estructura: tipificación de daños
 - 4.2.1 Guía para realizar un levantamiento del estado de una estructura de concreto en servicio (ACI 201. 1R-92) (1,5 h)
 - 4.2.2 Práctica estandarizada para medir concreto delaminado en puentes (ASTM D4580) (0,5 h)
 - 4.3 Registro fotográfico (0,5 h)
- 5 Otros ensayos por considerar en la evaluación preliminar (1,5 h)
 - 5.1 Determinación de cloruros o sulfatos
 - 5.2 Profundidad de carbonatación

Como práctica de campo se realizaron inspecciones detalladas a cinco puentes, cada uno ubicado a una distancia no mayor a 50 km de la sede donde se impartió el curso en cuestión. Los puentes evaluados fueron:

Curso en Veracruz:	Puente Jamapa II (ID 29-011-01.0-0-04.0)
Curso en Morelia:	Puente Porvenir (ID 15-011-01.0-0-01.0)
Curso en Tijuana:	Puente La Misión (ID 02-003-00.0-0-13.0)
Curso en Campeche:	Puente Si-Ho (ID 04-005-00.0-0-06.0)
Curso en Tampico:	Puente Moralillo (ID 29-002-00.0-0-19.0)

En la Tabla 3.2 se presenta un resumen de los cursos impartidos en el periodo de marzo a mayo de 2001.

Tabla 3.2
Relación de cursos impartidos en la 1ª Etapa

1ª Etapa: Implementación del Plan nacional de evaluación de la degradación de puentes				
CURSO: Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión de estructuras de concreto. parte I: inspección y discriminación preliminar de puentes dañados por corrosión				
Sede	Fecha	Estados participantes	No. de asistentes	No. de horas
Veracruz, Ver.	22 y 23 de mar	Veracruz, Guerrero, Hidalgo, Distrito Federal, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Morelos	20	13
Morelia, Mich.	5 y 6 de abr	Michoacán, Colima, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Querétaro	46	13
Tijuana, B.C.	7 y 8 de may	Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Nayarit, Sinaloa, Sonora	59	13
Campeche, Camp.	17 y 18 de may	Campeche, Chiapas, Tabasco, Quintana Roo, Yucatán	30	13
Tampico, Tamps.	24 y 25 de may	Tamaulipas, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas	38	13

3.6 Programa de evaluación detallada en los puentes que muestran daños por corrosión de la DGCC

En las primeras dos etapas de este proyecto se generó un inventario de puentes pertenecientes a la RFCL, definiendo la prioridad de éstos para la realización de una evaluación más detallada y conocer con mayor exactitud el grado de deterioro del puente por corrosión. En esta parte del proyecto, iniciada en 2002, se produjo un programa de evaluaciones detalladas de aquellos puentes que presentan un deterioro crítico por corrosión, con el fin de recomendar las reparaciones

adecuadas dependiendo de la patología observada. En esta tercera etapa se impartió un curso intensivo teórico-práctico denominado Especialización en monitoreo y diagnóstico de la corrosión en puentes. En dicho curso se capacitó a los encargados de evaluación de puentes en el uso de nuevos equipos de monitoreo de corrosión para estructuras de concreto. En esta fase se contempló la dotación de cinco juegos de equipos de medición, los cuales fueron entregados a los respectivos directores regionales de la DGST en México. Se capacitó al personal de la SCT para realizar monitoreo detallado de la infraestructura de puentes que muestran daños por corrosión (discriminados en la etapa anterior). Entre las pruebas de monitoreo que se impartieron se encuentran las de obtener las propiedades físico-químicas de los materiales (concreto y acero), la velocidad de corrosión (qué tan rápido la estructura se está deteriorando) y la pérdida de sección de acero por corrosión (DURAR, 1997).

En la tercera etapa se obtuvieron las propiedades físico-químicas de los materiales, la velocidad de corrosión y la pérdida de sección de acero por corrosión y, se calculó la confiabilidad estructural de cada puente que lo ameritó.

Propiedades físico-químicas de los materiales: Los ensayos mínimos necesarios para determinar el estado que guardan los materiales del puente y que sirvieron para complementar la inspección preliminar son:

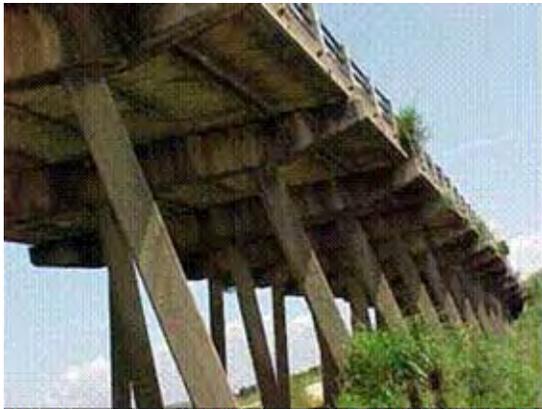
1. Reporte fotográfico
2. Levantamiento de daños
3. Profundidad de carbonatación
4. Perfil de concentraciones de cloruros en el concreto
5. Calidad del concreto (al menos porosidad y resistividad)

Estos estudios se realizaron analizando testigos (corazones) extraídos de la estructura en estudio. El número de éstos y sus dimensiones, estuvieron en función del tamaño y la importancia del puente estudiado y de las pruebas realizadas.

Pruebas de velocidad de corrosión. Los métodos más usados para determinar la velocidad y el estado de corrosión de las varillas de acero en el concreto, se basan en técnicas electroquímicas. Entre éstas se encuentran: sensores eléctricos embebidos en el concreto, espectroscopia de impedancia electroquímica, métodos de mapeo de potencial y técnicas de polarización lineal. Estos procedimientos se utilizaron durante las evaluaciones detalladas que se programaron de acuerdo con las prioridades de DGCC y DGST así como de los resultados que arrojaron las primeras dos etapas de este proyecto maestro.

Monitoreo estructural. A algunos de los puentes que se encontraron en la lista de alta prioridad para ser evaluados por corrosión, obtenidos en la discriminación realizada en la primera etapa de este proyecto, se les realizó un estudio más completo sobre su confiabilidad estructural (resistencia) ante las cargas de diseño.

Al finalizar la serie de cinco cursos impartidos en las regiones que está dividida la DGST, se les solicitó a los ingenieros residentes de puentes que realizaran la inspección preliminar a los puentes a su cargo, para tener los datos de inicio. Los puentes inspeccionados se presentan a continuación.

Nombre de la estructura	Localización	Año de inspección	Fotografía
Puente Jamapa II (SCT)	Veracruz	2001	
Puente Pajaritos (CAPUFE)	Veracruz	2001	
Puente Si-Hó (SCT)	Campeche	2001	

Puente La
Misión (SCT) Baja
California 2001



Puente
Moralillo I
(SCT) Tamaulipas 2001



Puente Cuto
del Porvenir
(SCT) Michoacán 2001



Puente Nautla
(CAPUFE) Veracruz 2002



Puente Tecolutla
(CAPUFE) Veracruz 2002



Muelle Progreso
(API Progreso) Yucatán
2002*
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
*En este muelle se han realizado 9 inspecciones



Muelle Coatzacoalcos
(API Coatzacoalcos) Veracruz
2003
2004



Puente
Coatzacoalcos
I (CAPUFE)

Veracruz

2003



Puente
Coatzacoalcos
II (CAPUFE)

Veracruz

2003



Puente La
Esperanza
(SCT)

Michoacán

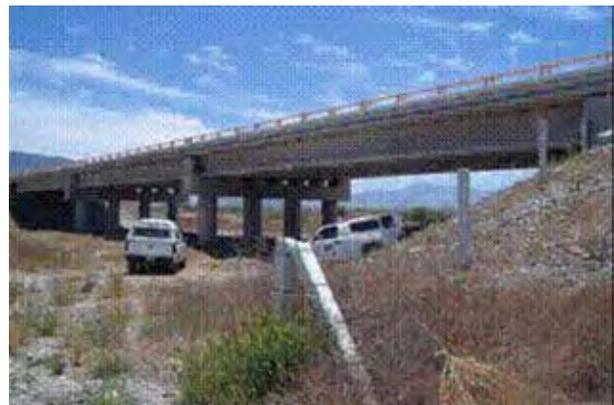
2003

SIN FOTO DISPONIBLE

Puente Arroyo
Seco (SCT)

Coahuila

2003



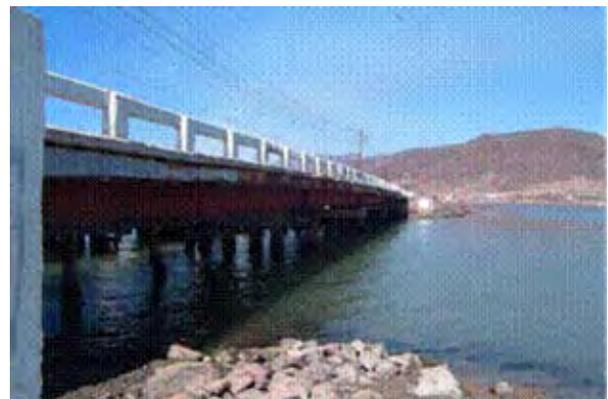
Puente Si-Hó
Nuevo (SCT) Campeche 2003



Puente Jalapa I
(SCT) Veracruz 2003



Puente Antiguo
(SCT) Sonora 2003



Puente
Novillero (SCT) Nayarit 2004



Muelle
Manzanillo Colima 2005



Muelle
Guaymas Sonora 2006



Puente
Papaloapan
(CAPUFE)

Veracruz

2005*
2008

*En este puente se
han realizado 2
inspecciones



Proyecto
Hidroeléctrico
Toro I

Costa Rica

2006

(ICE)

* Estudio realizado
en Costa Rica al
Instituto
Costarricense de
Electricidad



Puente José
López Portillo

Veracruz

2007



Puente El Prieto Veracruz 2007



Puente Juriquilla (SCT) Querétaro 2008



3.7 Programa de rehabilitación de puentes dañados por corrosión de la DGCC

En esta etapa, se programaron cinco Cursos regionales de capacitación de rehabilitación, los cuales se dirigieron principalmente al personal de los Centros SCT que estuvieran adscritos a las cinco Oficinas Regionales en que está dividida la DGST. Éstos se impartieron en Mérida, Querétaro, Culiacán, Oaxaca y Monterrey. La Tabla 3.3 presenta la información detallada ésta se proporcionan las fechas en que se impartieron, las instituciones involucradas y los ponentes. Cabe aclarar que para la impartir los cursos, se contó con el apoyo de profesores externos de instituciones universitarias y de investigación, nacionales y extranjeros.

Se contó con el apoyo de patrocinadores como Grupo Sika Mexicana S.A. de C.V., Grupo Peñoles, Universidad Autónoma de Yucatán, Universidad Marista de Querétaro, Instituto Tecnológico de Oaxaca y CEMEX; los cuales aportaron el capital para que los ponentes externos realizaran el viaje y proporcionaron viáticos para alojamiento y comidas.

Tabla 3. 3

Cursos regionales sobre rehabilitación de puentes y estructuras dañadas por corrosión

SEDE Y PONENTES	FECHA	ESTADOS PARTICIPANTES	PATROCINADORES	NÚMERO DE PARTICIPANTES
Mérida, Yuc. Dra. Oladis Troconis Dr. Pedro Castro Dr. Eric Moreno	19 al 21 de julio	Tabasco Campeche Quintana Roo Yucatán Chiapas	<ul style="list-style-type: none"> • Sika Mexicana • Grupo Peñoles • Universidad Autónoma de Yucatán 	TOTAL: 39
Querétaro, Qro. Dr. Eric Moreno Dr. Andrés Torres Dra. Angélica del Valle	4 al 6 de agosto	Nayarit Jalisco Colima Michoacán Guanajuato Aguascalientes Querétaro México Morelos D.F.	<ul style="list-style-type: none"> • Sika Mexicana • Grupo Peñoles • Universidad Marista de Querétaro 	SCT: 8 UMarista: 11 UAQ: 18 IP: 1 TOTAL: 38
Culiacán, Sin. Dr. Paulo Helene Dr. Pedro Castro	8 al 10 de septiembre	Baja California, Baja California Sur Sonora Chihuahua Sinaloa Durango	<ul style="list-style-type: none"> • Sika Mexicana • Grupo Peñoles 	SCT: 26 UAS: 16 IP: 16 Gov. Edo.: 4 TOTAL: 62
Oaxaca, Oax. Dr. Pedro Castro Dr. Eric Moreno MC Estéban López	22 al 24 de septiembre	Hidalgo Tlaxcala Puebla Guerrero Oaxaca Veracruz	<ul style="list-style-type: none"> • Sika Mexicana • Grupo Peñoles • Instituto Tecnológico de Oaxaca 	SCT: 22 ITox: 27 IP: 5 CIIDIR: 2 TOTAL: 56
Monterrey, N.L. Dr. Pedro Castro Dr. Eric Moreno	6 al 8 de octubre	Coahuila Nuevo León Tamaulipas Zacatecas San Luis Potosí	<ul style="list-style-type: none"> • Sika Mexicana • Grupo Peñoles • CEMEX 	SCT: 7 UANL: 26 IP: 7 Gov. Edo: 5 TOTAL: 45

3.7.1 Contenido de los cursos

En la Tabla 3.4 se presenta el programa del curso tipo impartido en las cinco regiones de la DGST.

3.7.2 Red iberoamericana REHABILITAR

Siendo que el tema principal del curso fue sobre rehabilitación de estructuras de concreto, se invitó a participar a la Red iberoamericana REHABILITAR de CYTED, cuyo Coordinador y vice-Coordinador son el Dr. Pedro Castro Borges y el Dr. Eric I. Moreno, respectivamente. CYTED son las siglas del organismo español Ciencia y Tecnología para el Desarrollo del Consejo de Ciencia e Investigación Científica del gobierno español. Esta red es coordinada por el Dr. Paulo Helene de la Universidad de São Paulo en Brasil, quien también apoyó impartiendo el curso regional en Culiacán. La Dra. Oladis Troconis, coordinadora de la Red en Venezuela, participó en el curso de Mérida. Además del apoyo para impartir los cursos, la Red REHABILITAR donó la bibliografía que se entregó a los participantes en formato electrónico (CD) del Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: reparación, refuerzo y protección de esta red.

3.8 Programa de monitoreo permanente de los puentes de la DGCC

En esta etapa se apoya continuamente a la DGCC para que, en caso de que algún puente muestre daños por corrosión muy severos, que mermen su integridad, se realicen las inspecciones detalladas. Para la realización de esta etapa, es necesario contar con el apoyo de la DGCC y DGST en los 31 estados de la República, ya que el IMT tiene recursos humanos e infraestructura limitados para la realización de este ambicioso proyecto de control y monitoreo. Dicho monitoreo continuo se diseñó para cada puente dependiendo de sus particulares necesidades, considerando el volumen del tráfico vehicular y el daño ocasionado por la corrosión, que influyen en su confiabilidad estructural. Para esto, se capacitó al personal que participó en la cuantificación de las pruebas físicas y químicas necesarias para la determinación de las propiedades de los materiales en estudio. En virtud de que el deterioro por corrosión en puentes es un fenómeno cuyo proceso involucra la interacción continua del medio ambiente con el concreto, este proyecto no termina en esta etapa. Se necesita que exista un programa permanente de monitoreo que podría ser realizado por el propio personal de campo de la DGCC y de DGST, con la debida asesoría de los investigadores del IMT. Los resultados de estas evaluaciones permanentes se vaciarán siempre en los apartados específicos en el SIPUMEX.

Tabla 3.4

Cursos regionales sobre rehabilitación de puentes y estructuras de concreto dañadas por corrosión 2004.

<u>DÍA 1</u>	TEMA: Introducción a la corrosión, diagnóstico y evaluación
9:00-9:15	Registro de participantes
9:15-9:30	Inauguración del curso Palabras de bienvenida
9:30-9:45	Receso
9:45-11:45	Fundamentos de corrosión. Factores que afectan y desencadenan la corrosión
11:45-12:00	Receso
12:00-13:30	Vida útil y vida residual de estructuras de concreto
13:30-15:00	Comida
15:00-16:30	Orientación para un diagnóstico en campo
16:30-16:45	Receso
16:45-18:00	Experiencias de la SCT
<u>DÍA 2</u>	TEMA: Rehabilitación de estructuras de concreto I
9:00-11:30	La rehabilitación de estructuras dañadas por corrosión: Generalidades
11:30-11:45	Receso
11:45-13:30	Orientación para la selección de la intervención
13:30-15:00	Comida
15:00-16:30	Procedimientos de reparación: Preparación del substrato
16:30-16:45	Receso
16:45-18:30	Materiales y sistemas de rehabilitación
<u>DÍA 3</u>	TEMA: Rehabilitación de estructuras de concreto II
9:00-10:30	Procedimientos de reparación: Protección y mantenimiento de la rehabilitación
10:30-10:45	Receso
10:30-12:00	Costos de Rehabilitación
12:00-12:15	Receso
12:15-13:45	Protección catódica para estructuras de concreto dañadas por corrosión

4. Productos generados del proyecto

4.1. Programa de normalización para el diseño y conservación de puentes con criterios de durabilidad

Para prevenir futuros casos de corrosión que pudieran disminuir la capacidad de la SCT para mantener en un estado adecuado la nueva infraestructura de puentes, el siguiente paso lógico es la generación de normativa y procedimientos apropiados para el diseño, la construcción y el monitoreo de puentes, o cualquier estructura de concreto expuesta a ambientes agresivos, con criterios de durabilidad y su prevención. Actualmente, investigadores del IMT y técnicos especializados de puentes de la DGST promueven nuevos métodos de inspección dentro de la normativa de la SCT, la cual rige a todo ámbito de la propia Secretaría en la generación de nuevos proyectos, procedimientos constructivos y aprobación de los materiales para ser usados en la construcción, ampliación o rehabilitación de estructuras de concreto, propiedad de la SCT.

Con esto, el Plan logra cerrar el círculo de acción con la concientización gerencial dentro de la propia SCT para mejorar la calidad de su infraestructura en el concreto y mantener adecuadamente aquella que manifiesta ya problemas de corrosión.

Normas generadas

Dentro de los productos obtenidos con este Plan se encuentra una norma publicada y seis en proceso de revisión, todas ellas para incrementar la durabilidad de los materiales de construcción, especialmente el concreto, para ser utilizado en las obras de la SCT o para evaluar estructuras existentes de concreto por durabilidad. La primera norma designada como N-CMT-2-03-004/05: Acero de refuerzo galvanizado para concreto hidráulico fue producto de una colaboración con la Asociación Mexicana de Galvanizadores A.C. (AMEGAC) y la Asociación Internacional de Investigación en Plomo y Zinc (ILZRO por sus siglas en inglés) con el IMT para el aprovechamiento de las bondades de varilla galvanizada en estructuras de concreto expuestas a ambientes agresivos. Con los resultados de las investigaciones patrocinadas, se generó esta primera norma SCT que proporciona un material alternativo de refuerzo que aumenta la durabilidad de estructuras de concreto en ambientes agresivos.

Actualmente, se está trabajando en seis procedimientos para la evaluación e inspección de estructuras de concreto por durabilidad, las cuales se generaron con base en las experiencias del IMT en inspección de los últimos ocho años que el Plan ha sido ejecutado. En esta ocasión el IMT colabora con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para la presentación de estos procedimientos, únicos en su género en México, ya que involucran los pasos por seguir para una buena evaluación por durabilidad en estructuras de concreto. Con estos procedimientos la SCT tendrá la certeza de que los inspectores internos o

externos contratados entreguen resultados que puedan ayudar a una mejor comprensión de la patología del daño generado por el efecto del ambiente al que la estructura es expuesta.

Como siguiente paso natural será obligatorio el uso de estos procedimientos de inspección y evaluación en toda la infraestructura de concreto de la SCT, y por ello se está trabajando en los procesos para lograr dentro de la SCT la certificación de inspectores de durabilidad, para que la SCT pueda tener sus reportes de inspección con el mismo criterio de personas especializadas sobre inspección por durabilidad y así conocer el verdadero porqué del estado de daño de la estructura y remediarlos adecuadamente. Esta etapa está iniciándose, y se planea que en el 2012 se tengan ya los primeros frutos de la gestión de esta nueva etapa del Plan.

4.2 Proyectos de investigación derivados del Plan

Como parte de los requerimientos científicos y tecnológicos que fueron generándose con el avance de este Plan, se desarrollaron proyectos de investigación dentro del IMT desde 2001, que han enriquecido el contenido del mismo y han ayudado a la formación de un criterio más amplio dentro de la SCT y al propio IMT con respecto a la corrosión de infraestructura de concreto, su prevención y su recuperación.

A continuación, se presenta un listado de los proyectos que han sido producidos desde la creación de este Plan hasta ahora, en orden decreciente. Los montos que aparecen después del título de los proyectos externos (con nomenclatura EE) corresponden al ingreso que éstos produjeron al IMT como producto de su transferencia como servicios externos o el costo que implicó su desarrollo.

2007

EE-03/07. Proyecto de rehabilitación y monitoreo del sistema de protección catódica del viaducto y plataforma del antiguo muelle. Ingreso \$ 657 409,00 pesos.

EI-02/07. Compuestos base fibra de carbón como sistema híbrido de refuerzo y protección catódica en estructuras de la SCT dañadas por corrosión. Costo \$ 300,000.00 pesos.

2006

EE-01/06. Colaboración interamericana de materiales III: vinculación institucional en el área de materiales. Ingreso \$ 940 000,00 pesos.

EE-03/06. Estudio de la factibilidad para el uso de acero galvanizado en estructuras de concreto de puentes y muelles. Ingreso \$ 120 000,00 pesos.

EE-05/06. Sistema para mejorar la durabilidad del viaducto y plataforma del antiguo muelle y pruebas de carga de dos arcos del viaducto en mar. Ingreso \$ 640 920,00 pesos.

EE-06/06. Recomendaciones para garantizar la durabilidad de los nuevos muelles de cruceros en API Vallarta. Ingreso \$ 103 385,00 pesos.

EE-08/06: Evaluación y diagnóstico de la planta hidroeléctrica "Toro I" en Costa Rica. Ingreso \$ 87 000,00 pesos.

2005

EE-01/05. Colaboración Interamericana de Materiales II: vinculación institucional en el área de materiales. Ingreso \$ 940 000,00 pesos.

EE-02/05. Estudio de la durabilidad del antiguo muelle fiscal y pruebas de carga de tres arcos del viaducto. Ingreso \$700,000.00 pesos.

EE-07/05. Nuevos materiales para el diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad: plan nacional V. Ingreso \$ 940 000,00 pesos.

EI-07/05. Acero inoxidable como refuerzo en estructuras de concreto en ambiente marino. Costo \$100,000.00 pesos.

EI-08/05. Acero galvanizado como refuerzo en estructuras de concreto en ambiente marino. Costo \$100,000.00 pesos.

EI-09/05. Protección catódica con materiales compuestos base carbón para puentes y muelles de la SCT. Costo \$100,000.00 pesos.

2004

EI-02/04. Plan nacional de evaluación de la degradación por corrosión en puentes: cursos de rehabilitación. Costo \$300,000.00 pesos.

EE-02/04. Proyecto mejora de durabilidad del concreto.

EE-03/04. Evaluación de la durabilidad del muelle de Progreso.

EE-04/04. Evaluación del daño por corrosión del muelle 6 del API Coatzacoalcos.

2003

EE-03/03. Plan nacional de evaluación de la degradación por corrosión en puentes – 3a Etapa. Costo \$300,000.00 pesos.

EE-06/03. Evaluación del muelle de Progreso por efectos de corrosión.

EE-07/03. Evaluación puntual de puentes dañados por corrosión. Muelle Coatzacoalcos.

2002

ET-76-2002. Plan nacional de evaluación de la degradación por corrosión en puentes – 2ª Etapa.

ET-73-2002. Capacidad estructural de elementos de concreto reforzado dañados por corrosión.

ET-72-2002. Evaluación del deterioro por corrosión de concreto reforzado en diferentes ambientes atmosféricos en México.

2001

ET-67-2001. Proyecto iberoamericano DURACON.

ET-66-2001. Plan nacional de evaluación de la degradación por corrosión en puentes.

A continuación, se explican los proyectos derivados del Plan con los que se interactúa y que se consideran más importantes.

4.2.1 Plan Nacional de Evaluación de Puentes dañados por Corrosión

Como se puede observar en esta relación de proyectos, el denominado Plan se ejecutó en las cuatro etapas explicadas con anterioridad iniciándose en 2001 y finalizando en 2004. Después de este último año se cambió el proyecto a sub-proyectos que fueron ejecutados en función de las solicitudes de inspección que fueron llegando a la Coordinación.

4.2.2 Proyecto iberoamericano DURACON

El Proyecto Iberoamericano DURACON, coordinado por la Dra. Oladis Troconis de Rincón de la Universidad del Zulia en Maracaibo Venezuela, es un proyecto donde 11 países iberoamericanos están en continua interacción durante más de siete años. Dicho procedimiento fue auspiciado por el CYTED de España desde 1999 hasta 2004, apoyándolo principalmente en recursos para movilidad de los Coordinadores de cada país involucrado, con el fin de que las diferentes coordinaciones de cada región tuvieran la manera de conseguir recursos adicionales para la fabricación de las probetas (de concreto simple y concreto reforzado) y el monitoreo de las diferentes estaciones de exposición. El caso de México fue un caso especial, ya que fue el país con mayor número de estaciones de exposición con 15, seguidos por Venezuela y Argentina con seis. Este plan fue de interés particular para la SCT por el hecho de que se tienen datos de más de cinco años evaluándose en las diversas estaciones la agresividad del medio ambiente. De esta manera se está recabando información valiosísima para conocer la agresividad en varios ambientes mexicanos y utilizar ésta para el diseño de nuevas estructuras de concreto de la SCT. La fig 3.18 muestra las 15 estaciones de monitoreo que se tienen actualmente. En la fig 3.19 se señalan fotos de dos de las estaciones de este proyecto.



Figura 3.18
Ubicación de las de estaciones de exposición del proyecto DURACON-México



Figura 3.19
Ejemplo de dos estaciones del proyecto DURACON-México: Veracruz (Boca del Río) y Querétaro

Las instituciones que colaboran en el proyecto mexicano, que pende del proyecto global de 11 países iberoamericanos, están listadas en la Tabla 3.5. Doce son las instituciones mexicanas o grupos, que apoyan al proyecto en México. Cada grupo de trabajo listado en la tabla anterior, está a cargo de la estación meteorológica, monitoreo de probetas de concreto simple y del monitoreo de corrosión de las probetas de concreto reforzado. Las evidencias de las colaboraciones con estos grupos de trabajo pueden observarse en la Sección 4.5.1 en donde se listan las publicaciones de la coordinación de México.

Actualmente este proyecto se sigue ejecutando y las instituciones colaboradoras son apoyadas por investigadores del IMT para realizar sus mediciones de corrosión y ambientales. Existe un programa de visitas a cada estación de por lo menos dos veces al año, en función de la lejanía que tienen en relación con la ubicación del IMT en Querétaro. Los recursos necesarios para los viajes a las estaciones siguen siendo efectuados con los recursos propios del IMT para sus proyectos de investigación, siendo que el CYTED (España) o la Coordinación internacional (Venezuela) no aportan recurso alguno.

Tabla 3.5
Instituciones que colaboran en el proyecto DURACON-México

INSTITUCIÓN	REPRESENTANTE	UBICACION	ACTIVIDAD A REALIZAR
Instituto Mexicano del Transporte Coord. Equip. p/el Transporte	Dr. Andrés A. Torres Acosta	Querétaro, QRO	Estación urbana-QRO Coordinación General
Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Departamento de Corrosión	Dr. Facundo Almeraya Calderón	Chihuahua, CHIH	Estación Urbana-CHIH
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) Depto. de Física Aplicada	Dr. Pedro Castro Borges	Mérida, YUC	Estación marina-PROG Análisis de cloruros
Centro Tecnológico del Concreto (CTC) Cementos APASCO	MC Emilio Zamudio Cíntora	Toluca, EDOMEX	Fabricación de probetas Pruebas mecánicas
Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali Instituto de Ingeniería	Dr. Benjamín Valdez	Mexicali, BC	Estación urbana-BC
Universidad Autónoma de Campeche (UACAMP) Programa de Corrosión del Golfo	Dr. Tezozomoc Pérez	Campeche, CAMP	Estación marina-CAMP Análisis de cloruros
Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) Facultad de Ingeniería (FIUADY)	Dr. Eric Moreno	Mérida, YUC	Estación marina-CAMP
Tecnológico de Oaxaca	MI Esteban López Vázquez	Oaxaca, OAX	Estaciones marinas-OAX
Universidad Michoacana (UM) Facultad de Ingeniería Civil	MC Elia Alonso de Martínez	Morelia, MICH	Estación Marina-MICH Microscopía Petrografía
Universidad Autónoma de Tamaulipas-Facultad de Ingeniería	Dr. Demetrio Nieves	Tampico, TAMPS	Estación marina-TAMPS
Universidad Veracruzana (UV) Campus Jalapa	Dr. Miguel Ángel Baltazar	Jalapa, VER	Estación urbana-VER2
Universidad Veracruzana (UV) Instituto de Ingeniería	Ing. Luis Eduardo Ariza Aguilar	Veracruz, VER	Estación marina-VER1

4.2.3 Colaboración interamericana de materiales, CIAM 2002

Como tercer proyecto derivado del Plan fue el CIAM 2002 donde el CONACYT aportó recursos financieros para efectuar algunos de los cursos regionales e internacionales del Plan entre 2004 y 2005. En total se aprobaron entregar 900 mil pesos (conversión a dólares americanos dividir entre 11). Estos recursos fueron destinados principalmente para la movilización de alumnos y profesores a los cursos listados en la Tabla 3.6, así como a la asistencia a congresos nacionales e internacionales para presentar los avances de los proyectos activos en estos dos años, permitiendo a los alumnos tener la oportunidad de realizar estancias internacionales a centros de investigación como el Centro de Estudios de Corrosión De Maracaibo, Venezuela, y el Instituto Eduardo Torroja de Ciencia de Materiales de Construcción en Madrid, España. En la fig 3.20 se muestran alguna de las actividades de cursos de capacitación que fueron apoyados económicamente por este proyecto.



Figura 3.20
Cursos de capacitación apoyados por el Proyecto CIAM 2002

4.2.4 Sistemas para incrementar la vida útil de estructuras de concreto nuevas y en uso

Llevados por la necesidad de encontrar materiales más durables que puedan ser utilizados en la industria de la construcción, y en particular en estructuras de concreto nuevas, se han generado a la fecha proyectos encaminados hacia la caracterización de nuevos materiales de refuerzo resistentes a la corrosión. Entre ellos se han estudiado las barras de refuerzo de acero inoxidable y acero galvanizado. También se han llevado a cabo estudios para el uso de compuestos

de fibra de carbón como material de presfuerzo en concreto. Para el caso de la rehabilitación de estructuras de concreto con problemas de corrosión, se han generado métodos para hacer más eficientes sistemas de protección catódica para eliminar la corrosión en estructuras que muestran este deterioro. Estos sistemas estudiados van desde los típicos que utilizan ánodos de sacrificio base Zinc en diferentes presentaciones: ánodo bulk, termorrociado, ánodo discreto; como también aleaciones del mismo zinc con aluminio e indio. En la fig 3.21 se muestran fotografías de estos experimentos y las probetas utilizadas.

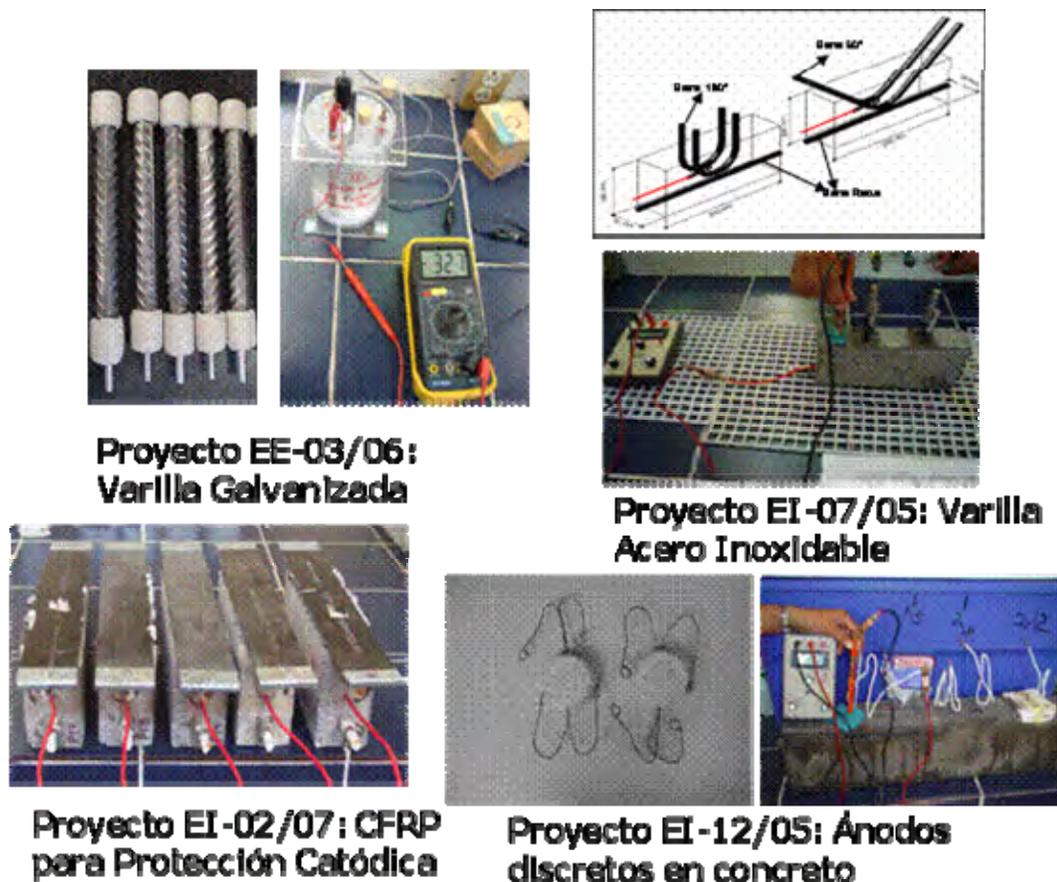


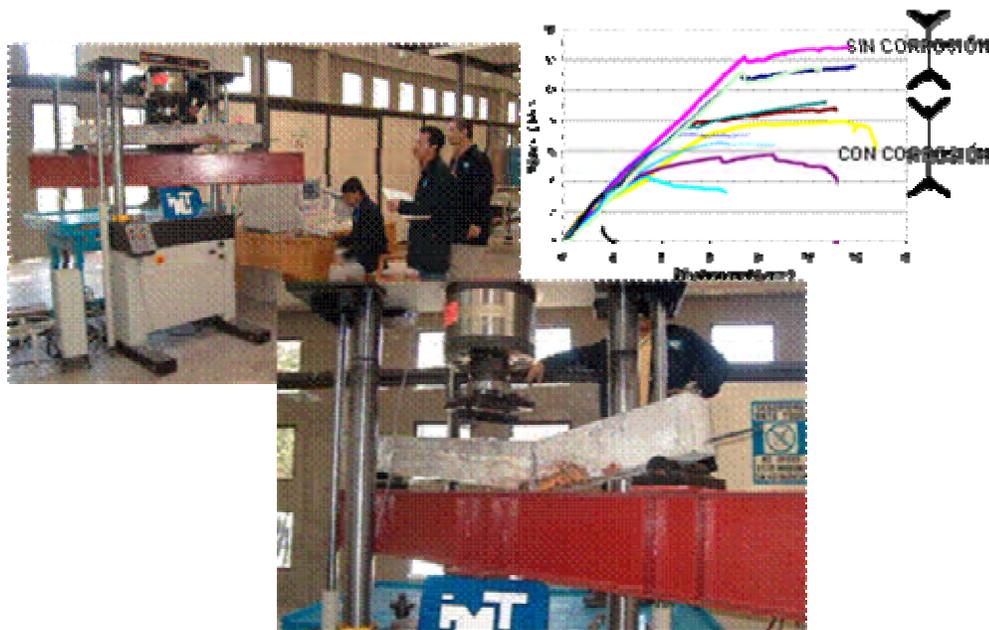
Figura 3.21
Proyectos de investigación asociados al plan en el tema de mejora de durabilidad de estructuras nuevas y existentes

4.2.5 Integridad estructural de elementos de concreto dañados por corrosión

Como siguiente proyecto derivado del Plan se han llevado a cabo trabajos de investigación para determinar la capacidad de carga (o resistencia) remanente de elementos de concretos reforzado y presfuerzo dañados por corrosión, como es el caso de vigas y columnas en subestructuras de muelles y puentes. En laboratorio y en elementos estructurales a escala, se han realizado diversos

estudios para determinar como afecta a la resistencia de elementos estructurales, que el refuerzo o presfuerzo se encuentren en una etapa de corrosión avanzada. Para ello se han fabricado vigas y columnas de concreto las cuales se les ha aplicado una corrosión conocida por métodos acelerados, y al finalizar el estudio lo elementos son probados estructuralmente hasta la falla, utilizando sistemas hidráulicos que estiman las cargas aplicadas y los desplazamientos de los elementos estructurales probados.

Estos estudios fueron primero elaborados con la Universidad del Sur de Florida para capacitar a investigadores del IMT. Después de esta etapa de capacitación, los investigadores continuaron con sus proyectos en el mismo tenor, haciendo huella en la bibliografía internacional y, como paso obvio, ahora son solicitados para hacer esta clase tipo de estudios en lugares como Venezuela y España mediante convenios de colaboración. En la fig 3.22 se muestran fotografías de los avances de este proyecto de integridad estructural donde se aprecia la prueba de una de las vigas estudiadas.



Proyecto ET-73-2002: Capacidad de Carga de Elementos Dañados por Corrosión

Figura 3.22

Pruebas realizadas durante el proyecto de integridad estructural de elementos corroídos

Como siguiente paso lógico, investigadores del IMT se han especializado en el monitoreo estructural de puentes y muelles, para así determinar la capacidad de carga de estas estructuras. Evaluaciones hechas a muelles como el de Progreso, manzanillo y Guaymas, han solicitado que se determinen la capacidad de carga de sistemas estructurales completos que muestran deterioro por corrosión. La fig 3.23

indica las actividades de los monitoreos estructurales de capacidad de carga de estructuras existentes por investigadores del IMT.

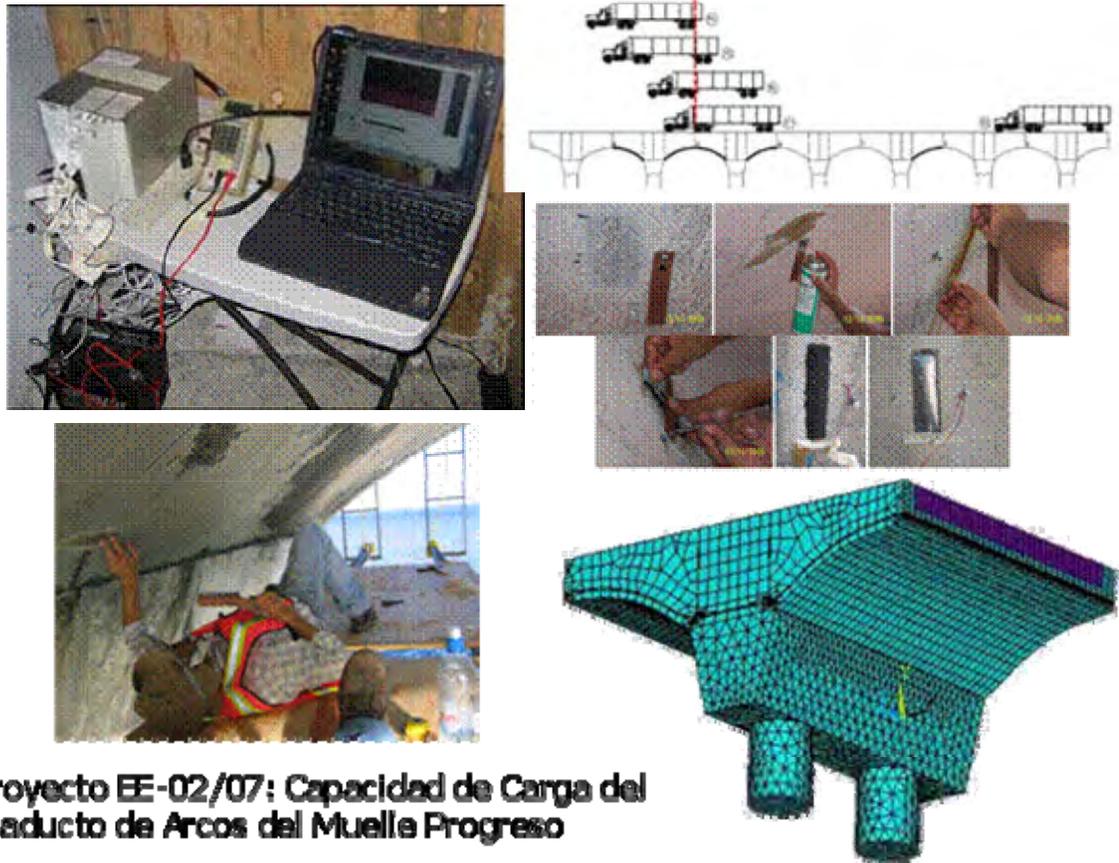


Figura 3.23
Evaluaciones de capacidad de carga de una estructura en servicio: caso del muelle de Progreso

4.3 Producción científica producto del Plan

La Tabla 3.6 lista la producción científica que hasta ahora se ha generado con el Plan y sus proyectos derivados. Esta producción incluye los artículos presentados en revistas internacionales arbitradas de alto impacto, revistas internacionales y nacionales, congresos internacionales y nacionales, reportes de prueba, notas técnicas del IMT y trabajos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado que fueron sustentados por los alumnos que han participado en este proyecto.

Tabla 3.6

Producción científica generada por el Plan

<p>Capítulos en Libros</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lee, F., Torres Acosta, A. y Martínez, M. (2007), "Cathodic protection in reinforced concrete elements, using carbon fibers base composites," in ECS Transactions, Chapter 2: Corrosion resistance reinforcements; cathodic protection, V.3, Issue 13, The Electrochemical Society, Inc., 65 South Main Street, Pennington, Nueva Jersey 08534-2839, EUA, pp. 93-98, ISBN 978-1-56677-540-3.
<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., C. Andrade, Argentina (M. Barbosa, F. Irassar); Bolivia (J. C. Montenegro); Chile (R. Vera, A. M. Carvajal); Colombia (R. M. de Gutiérrez, S. Delvasto); Costa Rica (E. Saborio); México (A. Torres Acosta, J. Pérez Quiroz, F. Almeraya, P. Castro Borges, E. I. Moreno, T. Pérez López, W. Martínez); Portugal (M. Salta, A. P. de Melo); España (I. Martínez, M. Castellote); Uruguay (G. Rodríguez, M. Derrégibus); Venezuela (M. Sánchez, E. A. de Partidas, V. Millano) (2007), "The use of polarization resistance to evaluate the environmental impact on reinforced concrete structures in the iberoamerican region," in ECS Transactions, Chapter 3: Cementitious Systems-Monitoring, Vol.3, Issue 13, The Electrochemical Society, Inc., 65 South Main Street, Pennington, Nueva Jersey 08534-2839, EUA, pp. 111-116, ISBN 978-1-56677-540-3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herrera, M.J., Torres Acosta, A., Pérez, J.T., Martínez, M. (2007), "Electrochemical Evaluation of Galvanized Rebars in Alkaline Solutions with an Inhibitor," in ECS Transactions, Chapter 3: Cementitious Systems-Monitoring, V.3, Issue 13, The Electrochemical Society, Inc., 65 South Main Street, Pennington, New Jersey 08534-2839, EUA, pp. 139-146, ISBN 978-1-56677-540-3. • Castro Borges, P., Torres Acosta, A., Moreno, E.I. (2005), "High performance concrete structure as a solution to corrosion in the marine environment: the case of an old concrete pier in port Progreso," Global port solutions, Issue 1, pp. 60-62. N. Walker, ed., Sovereign Publications Limited, Londres, Reino Unido, 2005, 60-62, ISBN 19 03605 539.
<p>Publicaciones en revistas nacionales sin arbitraje</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A., Castro Borges, P., Moreno, E. I., Martínez Madrid, M., Pérez Quiroz, J. T. y del Valle Moreno, A. (2005), "El muelle de Progreso Yucatán – Ejemplo de

	<p>estructura durable,” Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de México, No. 433, may, p. 30-36.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A., Martínez Madrid, M., Pérez Quiroz, J. T. y del Valle Moreno, A. (2005), “El fenómeno de la corrosión y su efecto en la infraestructura de concreto en México,” Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de México, No.431, mar, p.30. 	<ul style="list-style-type: none"> • Moreno, E.I., Torres Acosta, A.A. y Castro Borges, P. (2004), “Construcción del muelle de Progreso,” Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 8, No. 1, pp. 61-66.
	<p>Publicaciones en revistas internacionales sin arbitraje</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Martínez Madrid, M. Torres Acosta, A. del Valle Moreno, A., Pérez Quiroz, J.T. Backhoff Pohls, M.A. y Carrión Viramontes, F. (2007), “National plan of evaluation and diagnosis of bridges damaged by corrosion, in federal highway network,” The Monitor, Publication of the International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, mar, www.isiscanada.com/shmii-3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hernández López, Troconis de Rincón, O., Torres Acosta, A. A., del Valle Moreno, A., Rodríguez Montero, J., Berrios, F. y Montero, P. (2007), “Estudio comparativo del efecto del ambiente entre ánodos localizados de Zn y Al/Zn/In en concreto armado,” Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Vol. 30, Edición Especial, nov, pp.198-209, ISSN: 0254-0770.
<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Torres Acosta, A.A., Moreno, E.I. y Martinez, M. (2006), “Estructuras de alto desempeño contra la corrosión en ambientes marinos: El caso de un muelle antiguo de hormigón en Progreso, Yucatán, México”, Ingeniería Estructural—AIE, Vol. 14, No. 35, pp 20-25. 	
<p>Publicaciones en revistas internacionales indexadas con arbitraje</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno, A., Torres Acosta, A., Fabela Gallegos, M. y Martínez Madrid, M. (2006), “Patología de la degradación de un muelle del pacífico mexicano,” Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 21, No. 3, dic, pp. 193-204.
<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno A., Pérez Quiroz, J. T., Torres Acosta, A. A. y Martínez Madrid, M. (2006), “Evaluación del Puente Pajaritos: 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A., Núñez Rodríguez G., Backhoff M. A., Martínez Madrid, M. y Aguilar Martel, M. (2005), “Aplicación de un sistema de

<p>una estructura de concreto de 50 años en el ambiente agresivo del Golfo de México,” Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 21, No. 1, abr, pp. 15-22.</p>	<p>información geoestadística para la evaluación ambiente-corrosión en la degradación de la infraestructura de puentes en México,” Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 20, No. 3, dic, pp. 215-222.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres, A., Martínez, M., del Valle A. y Pérez, J. (2004), “El uso de nuevas tecnologías en el mantenimiento, conservación en la infraestructura de puentes en México que presenta daños por corrosión,” Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 19, No. 2, ago, pp. 65-72. 	
<p>Publicaciones en revistas internacionales indexadas de alto impacto con arbitraje</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Hernández-López, Y., del Valle Moreno, A., Torres Acosta, A. A., Barrios, F., Montero, P., Oidor-Salinas, P. y Rodríguez-Montero, J. (2008), “Environmental influence on point anodes performance in reinforced concrete,” Construction and building materials, Vol. 22, No. 4, abr, pp. 493-503.
<ul style="list-style-type: none"> • Martínez, I., Andrade, C., Lasa, I., Troconis de Rincón, O., y Torres Acosta, A. A. (2007), “Control of cathodic protection in bridges without disconnecting protection current: passivity verification technique (PVT),” Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol. 42, No. 3, sep, pp. 215-223. 	<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Sánchez, M., Millano, V., Fernández, R., de Partidas, E. A., Andrade, C., Martínez, I., Castellote, M., Barbosa, M., Irassar, F., Montenegro, J. C., Vera, R., Carvajal, A. M., de Gutiérrez, R. M., Maldonado, J., Guerrero, C., Saborio Leiva, E., Villalobos, A. C., Tres Calvo, G.; Torres Acosta, A., Pérez Quiroz, J., Martínez Madrid, M., Almeraya Calderón, F. , Castro Borges, P., Moreno, E. I., Pérez López, T., Salta, M., de Melo, A. P., Rodríguez, G., Pedrón y M., Derrégibus, M. (2007), “Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Iberoamerican countries: DURACON project /CYTED,” Corrosion Science, Vol. 49, pp. 2832-2843.

<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón O. y DURACON Collaboration1 (2006), "Durability of concrete structures: DURACON, an Iberoamerican project. Preliminary results," Building and environment, Vol. 41, Issue 7 , jul, pp. 952-962 (1 Co-authors: C. Andrade/ International Coordinator XV Subprogram: "Corrosion/environment impact on materials; Argentina (M. Barbosa, F. Irassar); Bolivia (J. C. Montenegro); Brasil (M. G. de Lima, P. Helene); Chile (R. Vera, A. M. Carvajal); Colombia (R. M. de Gutiérrez, S. Del Vasto); Costa Rica (E. Saborio); México (A. Torres Acosta, J. Pérez Quiroz, M. Martínez Madrid, P. Castro Borges, E. I. Moreno); Portugal (M. Salta, A. P. de Melo); España (I. Martínez, M. Castellote); Uruguay (G. Rodríguez, M. Derrégibus); Venezuela (M. Sánchez, E. A. de Partidas, R. Fernández). 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A., Fabela-Gallegos, M. J., Muñoz-Noval, A., Vázquez-Vega, D., Hernandez-Jimenez, J. R., y Martínez Madrid, M. (2004), "Influence of corrosion on the structural stiffness of reinforced concrete beams," Corrosion, Vol. 60, No. 9, pp. 862-872. <p>Troconis de Rincón, O., Castro, P., Moreno, E.I., Torres Acosta, A.A., Morón de Bravo, O., Arrieta, I., García, C., García, D., and Martínez Madrid, M. (2004). "Chloride profiles in two marine structures—meaning and some predictions," Building and Environment, Vol. 39, Issue 9, sep, pp. 1065-1070.</p>
<p>Publicaciones en congresos nacionales en extenso</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A., del Valle Moreno, A., Pérez Quiroz, J. T. y Martínez Madrid, M. (2006), "Nuevas Tecnologías en el mantenimiento /conservación de la infraestructura de puentes en México que presentan daños por corrosión," Segundo Congreso Nacional ALCONPAT-México 2006, Tampico, Tamaulipas, 8-10 de nov, ISBN 968-9031-14-7.
<ul style="list-style-type: none"> • Lee, F., Torres Acosta, A. y Martínez, M. (2006), "Sistema híbrido de protección/refuerzo base compuestos de carbón para elementos de concreto dañados por corrosión," Segundo Congreso Nacional ALCONPAT-México 2006, Tampico, Tamaulipas, 8-10 nov, ISBN 968-9031-14-7. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herrera, M. J., Torres Acosta, A., Pérez, J. T. y Martínez, M. (2006). "Evaluación electroquímica de dos inhibidores de corrosión para varillas galvanizadas en soluciones alcalinas," Segundo Congreso Nacional ALCONPAT-México 2006, Tampico, Tamaulipas, 8-10 nov, ISBN 968-9031-14-7.
<ul style="list-style-type: none"> • del Valle Moreno, A., Torres Acosta, 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérez Quiroz, J.T., Morales Badillo,

<p>A. y Martínez Madrid, M. (2006), "Evaluación, diagnóstico y proyecto de rehabilitación del muelle de API Manzanillo," Segundo Congreso Nacional ALCONPAT-México 2006, Tampico, Tamaulipas, 8-10 nov, ISBN 968-9031-14-7.</p>	<p>B., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2005), "Efecto de los agentes contaminantes sobre la degradación de las estructuras de concreto," XX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Electroquímica celebrada en Cuernavaca, Morelos del 22 al 27 de may.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Lee Orantes, F., Torres Acosta, A.A., Lesso Arroyo, R. y Martínez Madrid, M. (2005), "Protección catódica utilizando compuestos base carbón en estructuras de concreto reforzado," XX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Electroquímica celebrada en Cuernavaca, Morelos del 22 al 27 de may. 	<ul style="list-style-type: none"> • Martínez Madrid, M., Torres Acosta A.A., Pérez Quiroz, J.T. y del Valle Moreno, A. (2004), "El uso de nuevas tecnologías en el mantenimiento/conservación en la infraestructura del transporte en México que presenta daños por corrosión," XV Reunión Nacional del AMIVTAC, 28 al 30 de jul, Pachuca, Hidalgo.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A. A., Martínez M., y Celis, C. (2004), "Cement-based mortar improvement from nopal and aloe vera additions," Cuarto Foro de Investigación UDEM, Universidad de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, 28 y 29 oct. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A. A. y Navarro, S. (2004), "Remaining structural capacity of concrete beams affected by corrosion of the embedded reinforcing steel," Cuarto Foro de Investigación UDEM, Universidad de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, 28 y 29 de oct.
<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos, M.J., Torres Acosta, A.A., Vázquez Vega, D., Hernández Jiménez, J.R. y Martínez Madrid, M. (2002), "Alteración de la rigidez y de la frecuencia de vibración debida a corrosión en vigas de concreto reforzado," XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A.C., Puebla, Puebla, 30 de oct a 2 de nov. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Fabela Gallegos M.J., Hernández Jiménez, J.R., Martínez Madrid, M. y Muñoz Noval, A. (2002), "Pérdida de Rigidez de Vigas de Concreto por Corrosión del Acero de Refuerzo," Second NACE Mexican Corrosion Congress (Cancún, Quintana Roo: México; 26-29 de ago).
<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos M.J., Vázquez Vega, D., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2002), "Monitoreo de vibraciones para detectar degradación por corrosión en vigas de concreto reforzado," II 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid M. (2001), "El Fenómeno de la corrosión y su efecto en la infraestructura del transporte en México," presentado en el VI Congreso de Ingeniería Civil

<p>NACE Mexican Corrosion Congress (Cancún, Quintana Roo: México; 26-29 ago).</p>	<p>(Querétaro, Querétaro, 16-18 de ago).</p>
<p>Publicaciones en congresos nacionales en resumen</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A. A. (2007), "El muelle de Progreso Yucatán a sus 70 años: Ejemplo de estructura durable," I Foro Comercial EDIFICARE 2007, 14-15 de nov, Ciudad de México, DF. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A. A. (2005), "Corrosión en infraestructura de concreto," IV Expo construcción Querétaro 2005, 11 nov, Querétaro, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. (2001), "Structural evaluation of corroded prestressed concrete elements using vibration measurements," I NACE Mexican Corrosion Congress (Cancún, Quintana Roo: México; 26-30 de ago). 	<p>Publicaciones en congresos internacionales en extenso</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O.M., Sánchez, M., Millano, V., Fernández, R., Anzola de Partidas, M., Andrade, C., Martínez, I., Rebolledo, N., Barbosa, M., Montenegro, J.C., Vera, R., Carvajal, A.M., Mejía de Gutiérrez, R., Maldonado, J., Guerrero, C.L., Saborio Leiva, E., Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T., Miguel Martínez Madrid, M., Castro Borges, P., Moreno, E.I., Pérez López, T., Alameraya Calderón, F., Salta, M., De Melo, A.P., Rodríguez, G., Pedrón, M. y Derregibus, M. (2008), "Comparative effect of the tropical and non-tropical marine environment on reinforced concrete durability in the Iberoamerican region: DURACON Project," I International Conference marine environment damage to atlantic coast structures and buildings: methods of assessment and repair (MEDACHS08). Construction heritage in coastal and marine environments damage, diagnostic, maintenance and rehabilitation, 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Moreno, E. I., Torres Acosta, A. A. y Fabela-Gallegos, M. J. (2008), "The Progreso Pier: a Mexican historic heritage," I International conference marine environment damage to Atlantic coast structures and buildings: methods of assessment and repair (MEDACHS08). Construction heritage in coastal and marine environments damage, diagnostic, maintenance and rehabilitation, Theme 4: Prevention and innovative materials, Lisboa, Portugal, ene 28-30.

<p>Theme 4: Prevention and innovative materials, Lisboa, Portugal, ene 28-30.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Martínez Madrid, M., Torres Acosta, A.A., del Valle Moreno, A., Pérez Quiroz, J.T. y Backhoff Pohls, M.A. (2007), "Corrosion damage evaluation and diagnosis of bridges in the Mexican highway network," Proceedings of the 3rd International Conference on Structural Health Monitoring Intelligent Infrastructure: Structural Health Monitoring Intelligent Infrastructure, International Society for Structural Health Monitoring & Intelligent Infrastructure (ISHMII), nov, p. 6, ISBN: 978-0-9736430-4-6. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lee Orantes, F. y Torres Acosta, A.A. (2007), "Refuerzo-protección en estructuras de concreto dañadas por corrosión, utilizando compuestos base fibras de carbón," Publicación No. 0525, I Congreso Internacional Científico Técnico de Ingeniería CICTI-2007, 4 al 9 de nov, Maracaibo, Venezuela.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. (2007), Consecuencias estructurales de la corrosión en concreto armado," Publicación 0523, 1er. Congreso Internacional Científico Técnico de Ingeniería CICTI-2007, 4 al 9 nov, Maracaibo, Venezuela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T., Castro Borges, P., Troconis de Rincón, O. (2007), "Reparación de una estructura marina con 65 años de servicio que posee acero inoxidable utilizando un material compuesto," Publicación 0524, I Congreso Internacional Científico Técnico de Ingeniería CICTI-2007, 4 al 9 nov, Maracaibo, Venezuela.
<ul style="list-style-type: none"> • Moreno, E.I., Torres Acosta, A., Pérez Quiroz, J., Martínez Madrid, M., Almeraya alderón, F., Gaona Tburcio, C., Martínez Villafañe, A., Castro Borges, P., Balancán, M., Pérez López, T., Sosa Baz, M., López Vázquez, E., Martínez Molina, W., Alonso Guzmán, E., Rubio Avalos, J.C., Ariza Aguilar, L., Valdez Salas, B. y Troconis Rincón, O. (2007) , "Effect of environmental parameters on concrete durability, DURACON Collaboration: Two year results in 13 mexican exposure sites," XVI International Materials Research Congress 2007, VI Congress of NACE International – Mexican Section, Symposium 15: 	<ul style="list-style-type: none"> • Herrera Núñez J., Torres Acosta A. y Martínez Madrid M. (2007), "El uso de inhibidores de corrosión en soluciones alcalinas para disminuir el riesgo de corrosión de barras galvanizadas," XVI International Materials Research Congress 2007, VI Congress of NACE International – Mexican Section, Symposium 15: NACE Corrosion and Metallurgy, Cancun, Quintana Roo, 19 al 23, ago, ISBN 978-968-5742-06-1.

<p>NACE Corrosion and Metallurgy, Cancún, Quintana Roo, 19 al 23, ago, ISBN 978-968-5742-06-1.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • del Valle Moreno A., Torres Acosta A.A., Oidor Salinas P. (2007), "Eficiencia de un sistema de protección catódica empleando ánodos discretos," XVI International Materials Research Congress 2007, VI Congress of NACE International – Mexican Section, Symposium 15: NACE Corrosion and Metallurgy, Cancun, Quintana Roo, 19 al 23, ago, ISBN 978-968-5742-06-1. 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Cárdenas, A., Torres Acosta, A., Martínez Madrid, M., Moreno, E.y Troconis de Rincón, O. (2007), "Chloride profiles in a 63-year old concrete pier reinforced with 304 stainless steel in México," Concrete under Severe Conditions: Environment & Loading, CONSEC'07, Toutlemonde, F. et al. (eds.), jun 5-7, Tours, Francia.
<ul style="list-style-type: none"> • Moreno, E.I., Castro Borges, P., Torres Acosta, A.A., Cardenas, A., Troconis de Rincon, O. (2007), "Chloride analysis in a 62-year old concrete pier reinforced with type 304 ss bars," Paper # 07240 NACE Corrosion/2006 Symposium Marine Corrosion, mar 11 to 15, Nashville, Tennessee, EUA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lee, F., Torres Acosta, A. y Martínez, M. (2006), "Cathodic protection in reinforced concrete elements, using carbon fibers base composites," Paper No. 825, 2006 Joint International Meeting Electrochemical Society y Sociedad Mexicana de Electroquímica, Cancún, México, oct 29 – nov 3.
<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Andrade, C., Barbosa, M., Irassar, F., Montenegro, J.C., de Lima, M.G., Helene, P., Vera, R., Carvajal, A.M., de Gutiérrez, R.M., del Vasto, S., Saborio, E., Torres Acosta, A., Castro Borges, P., Moreno, E., Salta, M., de Melo, A.P., Martínez, I., Castellote, M., Rodríguez, G., Sánchez, M., de Partidas, E.A., Millano, V. (2006). "The use of polarization resistance to evaluate the environmental impact on reinforced concrete structures in the Iberoamerican region," Paper No. 828, 2006 Joint International Meeting Electrochemical Society y Sociedad Mexicana de Electroquímica, Cancún, México, oct 29 – nov 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herrera, M.J., Torres Acosta, A., Pérez, J.T., Martínez, M. (2006). "Electrochemical Evaluation of Galvanized Rebars in Alkaline Solutions with an Inhibitor," Paper No. 831, 2006 Joint International Meeting Electrochemical Society and Sociedad Mexicana de Electroquímica, Cancún, México, oct 29–nov 3.
<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Andrade, C., Barbosa, M., Irassar, F., Montenegro, J.C., de Lima, M.G., 	<ul style="list-style-type: none"> • De Rincon, O., Hernández, Y., Torres Acosta, A., del Valle Moreno, A., Rodríguez-Montero, J., Oidor

<p>Helene, P., Vera, R., Carvajal, A.M., de Gutiérrez, R.M., del Vasto, S., Saborio, E., Torres Acosta, A., Castro Borges, P., Moreno, E., Salta, M., de Melo, A.P., Martínez, I., Castellote, M., Rodríguez, G., Sánchez, M., de Partidas, E.A., Millano, V. (2006), "Durability of concrete structures in Iberoamerican countries: DURACON Project. Two-year results", Paper 262, Latincorr 2006, Fortaleza, Brasil, 21 – 26 may.</p>	<p>Salinas, P. (2006), "Environmental influence on the behavior of discrete anodes in reinforced concrete," Paper # 06360 NACE Corrosion/2006 Symposium Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete – Preventive Methods and Evaluation Techniques, mar 12 to 16, San Diego, California, EUA.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • de Rincon, O., Sanchez, M., de Partidas, E., Torres Acosta, A., <i>et al.</i> (2006), "Environmental impact on reinforced concrete structures in Iberoamerican regions," Paper # 06359 NACE Corrosion/2006 Symposium Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete – Preventive Methods and Evaluation Techniques, mar 12 to 16, San Diego, California, EUA. • Hernández, Y., de Rincón, O., Berrios, F., Montero, P., Torres, A. y Rodríguez Montero, J. (2005), "Evaluación de ánodos de sacrificio localizados en la protección de la armadura," Artículo 5412, Congreso Internacional de Corrosión Venezuela 2005, VECOR 2005, nov, Puerto La Cruz, Venezuela 	<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Andrade, C., Barbosa, M., Irassar, F., Montenegro, J.C., de Lima, M.A., Helene, P., Vera, R., Carvajal, A.M., de Gutiérrez, R.M., Maldonado, J., Guerrero, C., Saborio, E., Torres Acosta, A., Pérez Quiroz, J., Martínez Madrid, M., Castro Borges, P., Moreno, E.I., Salta, M., de Melo, A.P., Martínez, I., Castellote, M., Rodríguez, G., Derrégibus, M., Sanchez, M., de Partidas y E.A., Fernández, R. (2005), "Effect of the Marine Environment on Reinforced Concrete Durability in Iberoamerican Countries: DURACON Project/CYTED," Conferencia Magistral, Congreso Internacional de Corrosión, Venezuela 2005, VECOR 2005, nov, Puerto La Cruz, Venezuela.
<ul style="list-style-type: none"> • Ramírez Rentería, A. J., Serrano Gutiérrez, G. R., Torres Acosta, A. A. y Martínez Madrid, M. (2005), "Caracterización de barras de acero inoxidable en concretos contaminados por cloruros," Memorias del Simposio fib 2005: El hormigón estructural y el transcurso del tiempo, La Plata Argentina, 28 al 30 de sep, pp. 27-34, ISBN 987-21660-1-3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Fabela Gallegos, M.J., Vázquez Vega D., Martínez Madrid, M., Castro Borges, P., Moreno, E. I., y Cuadros Abad, H. D. (2005), "Structural evaluation and rehabilitation of concrete arches in the Progreso pier", ICCRRR 2005, International congress on concrete repair, rehabilitation and retrofitting, Ed. Alexander (eds), Taylor & Francis Group, Londres, ISBN 0 415 39654 9, pp. 603-608, Ciudad del

	Cabo Sudáfrica, nov.
<ul style="list-style-type: none"> • Lee Orantes, F., Torres Acosta, A. A., Martínez Madrid, M. y Lesso Arroyo, L. (2005), "Refuerzo protección en estructuras de concreto dañadas por corrosión utilizando compuestos base fibra de carbón," Memorias del Simposio fib 2005: El hormigón estructural y el transcurso del tiempo, La Plata Argentina, 28- 30 sep, pp. 615-622, ISBN 987-21660-1-3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herrera Núñez, M. J., Torres Acosta, A. A., Pérez Quiroz, J. T. y Martínez Madrid, M. (2005), "Estado del arte en el uso de acero galvanizado como elementos de refuerzo y presfuerzo en estructuras de concreto," Memorias del Simposio fib 2005: El hormigón estructural y el transcurso del tiempo, La Plata Argentina, 28-30 sep, pp. 67-74, ISBN 987-21660-1-3.
<ul style="list-style-type: none"> • Andrade, C., Martínez, I., Lasa, I., Troconis de Rincón, O., Torres Acosta, A.A., y Martínez Madrid, M. (2004), "Cathodic protection efficiency measurements made on concrete bridges using a new technique called passivity verification technique (PVT) without disconnecting the protection current," Paper No. 04329, NACE/2004, NACE International, Nueva Orleans, LO, 26 mar 1 abr. 	<ul style="list-style-type: none"> • Troconis de Rincón, O., Andrade, C., Barbosa, M., Irassar, F., Montenegro, J.C., de Lima, M.A., Helene, P., Vera, R., Carvajal, A.M., de Gutiérrez, R.M., Maldonado, J., Guerrero, C., Saborio, E., Torres Acosta, A., Pérez Quiroz, J., Martínez-Madrid, M., Castro Borges, P., Moreno, E.I., Salta, M., de Melo, A.P., Martínez, I., Castellote, M., Rodríguez, G., Derrégibus, M., Sanchez, M., de Partidas y E.A., Fernández, R. (2005), "Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Iberoamerican countries: DURACON Project / CYTED," 16th International Corrosion Congress 16 ICC, Beijing, China, sep 19-24.
<ul style="list-style-type: none"> • Carrión, F.J., Torres Acosta, A.A., Quintana, J.A., Mullins, G., y Sen, R. (2003), "Corrosion damage evaluation of pre-stressed beams using an inverse wave propagation method," Proceedings of the Smart Structures and Materials NDE for Health Monitoring and Diagnostics Symposium, SPIE International Society of Optical Engineering, San Diego, California EUA, 2-6 mar, Vol. 50-57, pp. 618-627. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A., Martínez Madrid, M. y Muñoz Noval, A. (2003), "Capacidad remanente en vigas de concreto que presentan corrosión localizada en el acero de refuerzo," Memorias del VII Congreso Latino Americano de patología de la construcción y IX Congreso de Control de Calidad en la Construcción: CONPAT 2003, Telchac, Yucatán, sep 20-25.
<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos, Manuel J.; Vázquez Vega, David; Torres 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A.; Fabela Gallegos, Manuel J.; Hernández

<p>Acosta, A. A. y Martínez Madrid, Miguel. (2003), "Vibration monitoring to detect corrosion degradation in reinforced concrete beams". Paper # 03283 NACE Corrosion/2003 Symposium 03-STG-46, mar 16 -20, San Diego, California; EUA.</p>	<p>Jiménez, J. Ricardo; Muñoz Noval, Alejandro y Martínez Madrid, Miguel. (2003), "Stiffness loss of concrete beams due to corrosion of reinforcing steel", Paper # 03282 NACE Corrosion/2003 Symposium 03-STG-46, mar 16 -20, San Diego, California; EUA.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Backhoff Pohls, y M., Nuñez Rodríguez, G. (2002), "Aplicación de un Sistema de información geoestadístico para la evaluación de los agentes corrosivos del medio ambiente en la degradación de la infraestructura de puentes en México," Colloquia-2002, (Maracaibo, Venezuela: 7-10 jul). 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro, P., Moreno, E.I., y Torres Acosta, A.A. (2002), "Corrosion related durability issues – durability codes in Mexico," 5th ACI International Conference, Innovation in Design with Emphasis on Seismic, Wind and Environmental Loading, Quality Control and Innovation in Materials/Hot Weather Concreting, Cancún, Quintana Roo, 10 - 13 dic.
<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno, A., Pérez Quiroz, J.T., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2002), "Inspección de puentes dañados por corrosión. un caso de estudio," Colloquia-2002, (Maracaibo, Venezuela: 7-10 de jul). 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Torres Acosta, A.A., Moreno, E.I., Troconis Rincón, O., Knudsen, A. y Martínez Madrid, M. (2002), "El Muelle de Progreso a sus 60 años de vida: ejemplo de una estructura durable," Colloquia-2002, (Maracaibo, Venezuela: 7-10 jul).
<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Troconis Rincón, O., Moreno, E.I., Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., y Knudsen, A. (2002). "Inspecting a half-century concrete pier made with stainless steel reinforcement in Mexico," Paper No. 02207, Corrosion/2002 (Denver, Colorado, abr 7-12). 	<p>Publicaciones en congresos internacionales en resumen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Martínez, W., Pérez, J.T., Torres, A., Rubio, J.C., Chávez, H.L., Chávez, L.E., Sánchez, F. y Alonso, E. (2005), "Carbonatación del concreto hidráulico y su efecto en el acero de refuerzo," XIV International Materials Research Congress 2005, Symposium 19: NACE Corrosion and Metallurgy, Cancún, Quintana Roo, 21 -25, ago, ISBN 968-863- 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérez Quiroz, J.T., Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., y Herrera-Núñez, M.J. (2005), "Behavior of galvanizad steel in chloride contaminated alkaline solution," XIV International Materials Research Congress 2005, Symposium 20: Inter-American Collaboration in Materials, Cancún, Quintana Roo, 21-25, ago, ISBN 968-863-816-1.

816-1.	
<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Lee-Orantes, F., y Lesso-Arroyo, R. (2005), "Reinforcement-protection for corrosion damaged structures, using carbon-based fibers," XIV International Materials Research Congress 2005, Symposium 20: Inter-American Collaboration in Materials, Cancún, Quintana Roo, 21-25, ago, ISBN 968-863-816-1. 	<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Ramírez-Rentería, A., y Serrano-Gutiérrez, G.R. (2005), "Electrochemical characterization of stainless steel reinforcing bars in concrete contaminated by chlorides," XIV International Materials Research Congress 2005, Symposium 20: Inter-American Collaboration in Materials, Cancún, Quintana Roo, 21-25, ago, ISBN 968-863-816-1.
<ul style="list-style-type: none"> Núñez, G., Backhoff Pohls, M.A., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2002), "Aplicación de un sistema de información geoestadística para la evaluación de los agentes corrosivos del medio ambiente en la degradación de la infraestructura de puentes en México," IX Conferencia Latinoamericana de Usuarios de ESRI y ERDAS, México, DF, 25-27 sep. 	<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A. (2002), "Evaluación estructural de elementos dañados por corrosión – Propuesta de un monitoreo dinámico," 5º Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto-Metal, La Paz, Baja California Sur, 28 oct- 1 nov.
<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A., (2001), "Método de vibraciones para la determinación de la capacidad estructural de elementos de concreto dañados por corrosión," 4o Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto Metal, (Mérida, Yucatán, México, 22-26 -de oct, 2001). 	<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A., (2000), "Diseño integral de estructuras de concreto por durabilidad usando el reporte técnico 130-CSL del RILEM: Un ejemplo práctico," 3er Curso Internacional sobre Corrosión en Puentes y Estructuras Concreto Metal, (Veracruz, Veracruz, México, 16-20 oct, 2000).
<ul style="list-style-type: none"> Torres Acosta, A.A., Castro, P., y Martínez Madrid, M (2000), "Diagnosis and evaluation of concrete structures in marine environment," International Materials Research Congress, (Cancún, Quintana Roo, México, 27-31 ago, 2000). 	<p>Publicaciones Técnicas IMT</p>
<ul style="list-style-type: none"> López Celis, R., Pérez Quiroz, J.T, Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Martínez Molina, W., Ariza Aguilar, L.E., Zamudio Cíntora, E., 	<ul style="list-style-type: none"> Lee Orantes, F., Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Martínez Molina, W., Ariza Aguilar, L.E., Zamudio Cíntora, E., Genescá

<p>Genescá Llongueras, J. y Valdez Salas, B. (2006), "Durabilidad del concreto expuesto a diferentes ambientes urbanos de México," Publicación Técnica 292, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297.</p>	<p>Llongueras, J. y Valdez Salas, B. (2006), "Refuerzo y protección catódica en elementos de concreto reforzado afectados por corrosión, empleando compuestos base fibras de carbón," Publicación Técnica 295, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. Ramírez Rentería, A.J., Pérez Quiroz, J.T y Martínez Madrid, M. (2006), "Parámetros electroquímicos de barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros en presencia de esfuerzos residuales," Publicación Técnica 287, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297. 	<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno, A., Torres Acosta, A.A. Terán Guillén, J. y Oidor Salinas, P. (2006), "Protección catódica de concreto reforzado usando ánodos de sacrificio discretos," Publicación Técnica 290, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. A. y Martínez Madrid, M. (2001), "Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad," Publicación Técnica No. 181, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Fabela Gallegos, M.J., Vázquez Vega, D., Hernández Jiménez, J.R., Martínez Madrid, M. y Muñoz Noval, A. (2002), "Cambios en la rigidez y resistencia a la flexión de vigas de concreto dañadas por corrosión del refuerzo," Publicación Técnica 204, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, ISSN 0188-7297.
<ul style="list-style-type: none"> • Reportes de Prueba 	
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., Castro Borges, P. y Martínez Madrid, M. (2008), "Reporte Final de Investigación al API Progreso," Proyecto EE04/07: Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Protección Catódica del Viaducto y Plataforma del Antiguo Muelle de API Progreso," Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, feb. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., Pérez Quiroz, J.T., Herrera Núñez, M.J. y Martínez Madrid, M. (2008), "Informe final de investigación del proyecto ee 02/08: inspección y evaluación por corrosión del Puente Juriquilla," Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, feb.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2007), "Cuarto reporte parcial de investigación al API 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. y Mayorga Jiménez, G. (2007), "Informe final de investigación del convenio

<p>Vallarta,” Proyecto EE06/06: recomendaciones para garantizar la durabilidad de los nuevos muelles de cruceros de API Vallarta, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, ago.</p>	<p>específico entre ICE y el IMT,” Proyecto EE08/06: evaluación y diagnóstico de la planta hidroeléctrica Toro I, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, jul.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2006), “Levantamiento de daños y recomendaciones,” informe final de investigación a la API Progreso, Proyecto EE05/06: Sistema para mejorar la durabilidad del viaducto y plataforma del antiguo muelle y pruebas de carga de dos arcos del viaducto en mar, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, oct. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérez Quiroz, J.T., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2006), “Metalizado de cabezales 7, 9 y bajo edificio de oficinas,” Informe final B de investigación a la API Progreso, Proyecto EE05/06: Sistema para mejorar la durabilidad del viaducto y plataforma del antiguo muelle y pruebas de carga de dos arcos del viaducto en mar, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, oct.
<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos, M.J., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2006), “Pruebas de carga en arcos 31 y 32 del viaducto,” Informe final A de investigación a la API Progreso, Proyecto EE05/06: Sistema para mejorar la durabilidad del viaducto y plataforma del antiguo muelle y pruebas de carga de dos arcos del viaducto en mar, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, oct. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. (2006), “Curso de inspección en detalle para estimar la durabilidad de la hidroeléctrica Toro I,” Primer informe parcial de investigación a la Secretaría de Relaciones Exteriores, Proyecto EE08/06: Evaluación y Diagnóstico de la Planta Hidroeléctrica Toro I, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, sep.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2006), “Terceras pruebas de campo y primeras pruebas de laboratorio sobre la calidad de la obra nueva en API Vallarta,” Tercer informe parcial de investigación al API Vallarta, Proyecto EE06/06: Recomendaciones para garantizar la durabilidad de los nuevos muelles de cruceros de API Vallarta, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, ago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2006), “Segundas pruebas en campo sobre la calidad de la obra nueva en API Vallarta,” Segundo informe parcial de investigación al API Vallarta, Proyecto EE06/06: Recomendaciones para garantizar la durabilidad de los nuevos muelles de cruceros de API Vallarta, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, jul.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2006), “Primeras pruebas de campo sobre la calidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno, Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2007), “Revisión y recomendaciones para

<p>de la obra nueva en API Vallarta,” Primer Informe Parcial de Investigación al API Vallarta, Proyecto EE06/06: Recomendaciones para garantizar la durabilidad de los nuevos muelles de cruceros de API Vallarta, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, jun.</p>	<p>el proyecto de rehabilitación del muelle de cruceros de Manzanillo,” Informe final de investigación a la API Manzanillo, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, jun.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. (2005), “Facilitating collaborative research in the americas: The materials science of portland cement-based materials – Part II,” Informe Parcial de Investigación al CONACYT, Proyecto EE05/05: Colaboración Interamericana de Materiales, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, dic. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos, M., Vázquez Vega, D., Flores Centeno, O., Hernández Jiménez, R., Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2005). “Prueba de carga en arcos 4, 5, 6, 8, 35 y 36 del viaducto,” Primer informe parcial de investigación al API Progreso, Proyecto EE02/05: Estudio de la durabilidad del antiguo muelle fiscal y pruebas de carga de tres arcos del viaducto, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, dic.
<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2005), “Análisis químico del concreto del muelle de Progreso,” Segundo Informe Parcial de Investigación al API Progreso, Proyecto EE02/05: Estudio de la durabilidad del antiguo muelle fiscal y pruebas de carga de tres arcos del viaducto, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, dic 2005. 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro Borges, P., Torres Acosta, A., y Martínez Madrid, M. (2005), “Levantamiento de daños de la plataforma del muelle de Progreso,” Primer informe parcial de investigación al API Progreso, Proyecto EE02/05: Estudio de la durabilidad del antiguo muelle fiscal y pruebas de carga de tres arcos del viaducto, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, dic 2005.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Lee Orantes, F., Herrera Núñez, J., Ramírez Rentería, A., Oidor P., del Valle Moreno, A. y Martínez Madrid, M. (2005), “Nuevos materiales para el diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad: Plan nacional V,” Reporte final del proyecto No. EE 07/05, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2004), “Plan nacional de la evaluación de la degradación por corrosión de puentes 4ª etapa,” Reporte final del proyecto No. El 02/04, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. (2004), “Prueba 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabela Gallegos, M., Vázquez Vega,

<p>de integridad estructural de los arcos del viaducto del antiguo muelle de progreso ante carga de 235 ton,” Reporte parcial de investigación No. 002/2004 del Proyecto EE03/04: Evaluación del muelle de Progreso por efecto de la corrosión: 2a Etapa, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.</p>	<p>D., Hernández Jiménez, R., Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2004), “Prueba de integridad estructural de los arcos 5 y 12 del viaducto del antiguo muelle de Progreso,” Reporte parcial de investigación No. 001/2004 del Proyecto EE03/04: Evaluación del muelle de Progreso por efecto de la corrosión: 2a Etapa, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A. (2004), “Facilitating collaborative research in the americas: The materials science of portland cement-based materials,” Informe parcial de investigación al CONACYT, Proyecto EE04/04: Estudio para mejorar la durabilidad del concreto, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, dic. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2003), “Quinta inspección realizada al viaducto del muelle Progreso en 2003,” Reporte parcial del proyecto No. ET-83-03EQ003 (ISO: I-E05-2003), Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2003), “Tercera y cuarta inspección realizada al viaducto del muelle Progreso en 2003,” Reporte parcial del proyecto No. ET-83-03EQ002 (ISO: I-E03-2003), Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2003), “Primera inspección realizada al viaducto del muelle Progreso en 2003,” Reporte parcial del proyecto No. ET-83-03EQ002, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2003), “Plan nacional de la evaluación de la degradación por corrosión de puentes – 3ª Etapa,” Reporte final del proyecto No. EE 02/03, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2003), “Inspección visual realizada al puerto Coatzacoalcos,” Reporte No. ET-83-03EQ001, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2002). “Plan nacional evaluación de puentes dañados por corrosión Parte 1: Discriminación preliminar de los puentes que muestran daños por corrosión,” Reporte 026/2002, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M. y del Valle Moreno, A. (2002), “Inspección al muelle del puerto de Progreso, Yucatán,” Reporte 025/2002, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.

<ul style="list-style-type: none"> • Del Valle Moreno, A., Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J. y Martínez Madrid, M., (2002), "Inspección al puente Pajaritos," Reporte 024/2002, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • del Valle Moreno, A., Quintana Rodríguez, J., Carrión Viramontes, F., Torres Acosta, A.A., y Martínez Madrid, M. (2002), "Inspección a los Puentes Nautla y Tecolutla," Reporte 023/2002, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
Notas Externas IMT	
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Castro Borges, P. J.T. Moreno, E. y León Irola, M. (2008), "¿Diseñar estructuras de concreto de alto desempeño o solo usar concreto de alto desempeño?," NOTAS, No. 111, pp. 7-12, Sanfandila, Querétaro, mar-abr. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Hernández López, Y., Troconis de Rincón, O., Delgado y S., Rodríguez, J. (2007), "Agrietamiento de vigas de concreto por corrosión del acero de refuerzo cuando se les aplica una carga externa permanente," NOTAS, No. 109, pp. 7-15, Sanfandila, Querétaro, nov-dic.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T. y del Valle Moreno, A. (2007), "Una evaluación de las reparaciones de pilas de concreto dañadas por corrosión utilizando encapsulamientos de fibra de vidrio," Notas, No. 107, pp. 8-16, Sanfandila, Querétaro, jul-ago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terán Guillén, J., Castillo, B., Pérez Quiroz, J.T., Torres Acosta, A.A., Alvarado, S. (2007), "Susceptibilidad del acero inoxidable 304 al agrietamiento en ambiente marino," Notas, No. 105, pp. 10-13, Sanfandila, Querétaro, mar-abr.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Ramírez Rentarías, A. y Serrano, G. (2006), "Caracterización de barras de acero inoxidable en concretos contaminados por cloruros," Notas, No. 98, pp. 7-14, Sanfandila, Querétaro, ene 2006. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T., Martínez Madrid, M., Herrera Nuñez, M.J. (2005). "estado del arte en el uso de acero galvanizado como elemento de refuerzo en estructuras de concreto," Notas, No. 97, pp. 8-15, Sanfandila, Querétaro, nov 2005.
Notas Internas IMT	
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T. y del Valle Moreno, A. (2007), "¿Diseñar estructuras de concreto de alto desempeño o solo usar concreto de alto desempeño?," Nota No. 343, 15 ago, IMT, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Pérez Quiroz, J.T. y del Valle Moreno, A. (2007), "Una evaluación de las reparaciones de pilas de concreto dañadas por corrosión utilizando encapsulamientos de fibra de vidrio," Nota No. 341, 15 jul, IMT, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Hernández López, Y., Troconis de Rincón, O., Delgado, S. y Rodríguez, J. (2007), 	<ul style="list-style-type: none"> • Terán Guillén, J., Castillo, B., Pérez Quiroz, J.T., Torres Acosta, A.A. y Alvarado, S. (2007), "Susceptibilidad

<p>“Agrietamiento de vigas de concreto por corrosión del acero de refuerzo cuando se les aplica una carga externa permanente,” Nota No. 339, 15 jun, IMT, Sanfandila, Querétaro.</p>	<p>del acero inoxidable 304 al agrietamiento en ambiente marino,” Nota No. 332, 30 feb, IMT, Sanfandila, Querétaro.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Martínez Madrid, M., Lee Orantes, F. y Lesso, R. (2006), “Refuerzo-Protección en estructuras de concreto dañadas por corrosión, utilizando compuestos base fibra de carbón,” Publicación de divulgación interna, Nota No. 314, 30 may, IMT, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Martínez Madrid, M., Ramírez Rentaría, J.A. y Serrano, R.G (2006), “Caracterización de barras de acero inoxidable en concretos contaminados por cloruros,” Publicación de divulgación interna, NOTA No. 309, 15 mar, IMT, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Herrera Núñez, M.J., Pérez Quiroz, J.T. y Martínez Madrid, M. (2006), “Estado del arte en el uso de acero galvanizado como elemento de refuerzo y presfuerzo en estructuras de concreto,” Publicación de divulgación interna, Nota No. 307, 15 feb, IMT, Sanfandila, Querétaro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta A.A., Martínez Madrid, M. y del Valle Moreno, A. (2005), “Protección catódica de elementos de concreto utilizando un sistema híbrido-polímero conductor,” Publicación de divulgación interna, NOTA No. 301, 15 nov, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Castro, P., Moreno E., Martínez Madrid, M., Pérez Quiroz, J.T. y del Valle Moreno, A. (2005), “El muelle de Progreso Yucatán. Ejemplo de estructura durable,” Nota, No. 291, 10 jun, Instituto Mexicano del Transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torres Acosta, A.A., Fabela Gallegos, M., Vázquez Vega, D., Hernández Jiménez, R., Martínez Madrid, M. y Muñoz Noval, A. (2005), “Cambios de la rigidez y resistencia a la flexión de vigas de concreto dañadas por corrosión del refuerzo,” Nota, No. 281, 10 ene, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro.
<p>Formación de Recursos Humanos</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Brito Chávez, E. (2007), “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,” Asesor, sinodal vocal, Tesis en Ingeniería en Infraestructura del transporte, rama vías terrestres, Universidad Michoacana de San Miguel de 	<ul style="list-style-type: none"> • López Celis, R. (2006), “Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos en MÉXICO,” asesor, Tesis en Vías Terrestres, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua, may.

<p>Hidalgo, Morelia, Michoacán, jul.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quintero Pichardo, P. (2006), "Agrietamiento del concreto por fuerzas internas," Asesor, Sinodal Presidente, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, mar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Navarro Jiménez, S. A. (2005). "Pérdida de la resistencia de vigas de concreto dañadas por corrosión," Asesor, Sinodal Presidente, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, dic.
<ul style="list-style-type: none"> • Ramírez Rentería, A. J. (2005), "Estudio de la corrosión de barras de acero inoxidable en concretos contaminados por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales," Tesis, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, oct. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lee Orantes, F. (2005). "Refuerzo-protección en estructuras de concreto dañadas por corrosión, utilizando fibras de grafito como protección catódica," Tesis en Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Guanajuato, ago.
<ul style="list-style-type: none"> • Aguilar Martel, M. (2002), "Evaluación estadística de los agentes corrosivos del medio ambiente en la degradación de la infraestructura de puentes en México," Asesor, Sinodal Presidente, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, ago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Camacho Hurtado, S. (2002), "El uso de una pintura rica en zinc como sistema de protección catódica en concreto," Asesor, Sinodal Presidente, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, jun.
<ul style="list-style-type: none"> • Muñoz Noval, A. (2002), "Evaluación de la capacidad estructural de elementos de concreto reforzado dañados por corrosión," Asesor, Sinodal Presidente, Tesis en Ingeniería Civil, Universidad Marista de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, may. 	<ul style="list-style-type: none"> •

4.4 Convenios de colaboración nacionales e internacionales producto del plan

En el siguiente rubro se enumerarán los convenios de colaboración entre el IMT e instituciones nacionales e internacionales de investigación y educación superior. En resumen estos convenios se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7
Relación de convenios de colaboración, nacionales y extranjeros, producto del Plan

INSTITUCIÓN	REPRESENTANTE	UBICACION	ACTIVIDAD A REALIZAR
Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Departamento de Corrosión	Dr. Facundo Almeraya Calderón	Chihuahua, Chih	DURACON-México
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) Depto. de Física Aplicada	Dr. Pedro Castro Borges	Mérida, Yuc	DURACON-México
Centro Tecnológico del Concreto (CTC) Cementos APASCO	MC Emilio Zamudio Cántora	Toluca, Edomex	DURACON-México
Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali Instituto de Ingeniería	Dr. Benjamín Valdez	Mexicali, BC	DURACON-México
Universidad Autónoma de Campeche (UACAMP) Programa de Corrosión del Golfo	Dr. Tezozomoc Pérez	Campeche, Camp	DURACON-México
Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) Facultad de Ingeniería (FIUADY)	Dr. Eric Moreno	Mérida, Yuc	DURACON-México
Tecnológico de Oaxaca	MI Esteban López Vázquez	Oaxaca, Oax	DURACON-México
Universidad Michoacana (UM) Facultad de Ingeniería Civil	MC Elia Alonso de Martínez	Morelia, Mich	DURACON-México
Universidad Autónoma de Tamaulipas-Facultad de Ingeniería	Dr. Demetrio Nieves	Tampico, Tamps	DURACON-México
Universidad Veracruzana (UV) Campus Jalapa	Dr. Miguel Angel Baltazar	Jalapa, Ver	DURACON-México
Universidad Veracruzana (UV) Instituto de Ingeniería	Ing. Luis Eduardo Ariza Aguilar	Veracruz, Ver	DURACON-México
Universidad del Zulia, Centro de Estudios de Corrosión	Dra. Oladis Troconis de Rincón	Maracaibo, Venezuela	DURACON-Internacional
Universidad del Zulia, Centro de Estudios de Corrosión	Dra. Oladis Troconis de Rincón	Maracaibo, Venezuela	Eficiencia anodos de sacrificio
Universidad del Zulia, Centro de Estudios de Corrosión	Dra. Oladis Troconis de Rincón	Maracaibo, Venezuela	Capacidad de carga de vigas corroídas
Instituto Eduardo Torroja de Ciencia de la Construcción	Dra. Carmen Andrade Piedrix	Madrid, España	Capacidad de carga de vigas corroídas
Instituto Costarricense de Electricidad, Centro de	Ing. Catalina Villalobos	San José, Costa Rica	Evaluación de planta hidroeléctrica toro I

Investigación en Corrosión			
Instituto Nacional de Tecnología Industrial	Ing. Liliana Berardo	Buenos Aires, Argentina	Eficiencia sensores para embeber en concreto

4.5 Proyectos de investigación con colaboración de instituciones de Iberoamerica

Se efectuaron cuatro proyectos de colaboración internacional con instituciones de países Iberoamericanos. Éstos se enumeran a continuación y se explican brevemente.

4.5.1 Proyecto iberoamericano DURACON (11 países)

Este proyecto fue explicado en la página 51, sólo sería necesario subrayar que se colaboró con instituciones nacionales dentro de la coordinación mexicana y 11 países iberoamericanos en la coordinación internacional. La Tabla 3.8 lista a los integrantes de este grupo y a los coordinadores de cada uno de estos países. Mayr información del proyecto se puede obtener de su página de internet www.duracon.org.ve. La fig 3.24 muestra la ubicación aproximada de las más de 40 estaciones de exposición del proyecto internacional.

Tabla 3.8

Integrantes del Proyecto DURACON-Internacional

INSTITUCIÓN	REPRESENTANTE	UBICACIÓN	REPRESENTANTE
Universidad Nal. Del Centro de la Provincia de Buenos Aires	Dr. Misrta Barbosa	Argentina	DURACON-Argentina
Universidad Mayr de San Andrés	Ing. Juan Carlos Montenegro	La Paz, Bolivia	DURACON-Bolivia
Universidad de Sao Paulo	Dra. Maryángela Geimba de Lima	São Paulo, Brasil	DURACON-Brasil
Universidad del Valle	Dra. Ruby Mejía de Gutiérrez	Cali, Colombia	DURACON-Colombia
Centro de Investigación de corrosión	Ing. Catalina Villalobos	San José, Costa Rica	DURACON-Costa Rica
Universidad Católica de Valparaíso	Prof. Rosa Vera	Santiago de Chile, Chile	DURACON-Chile
Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción	Dra. Carmen Andrade	Madrid, España	DURACON-España
Instituto Mexicano del Transporte	Dr. Andrés A. Torres Acosta	Querétaro, México	DURACON-México
Laboratorio de Ingeniería Civil - LENEC	Dra. Manuela Salta	Lisboa, Portugal	DURACON-Portugal
Universidad Nacional de Uruguay	Ing. Gerardo Rodríguez	Montevideo, Uruguay	DURACON-Uruguay
Centro de Estudios en Corrosión	Dra. Oladis Troconis de Rincón	Maracaibo, Venezuela	DURACON-Venezuela

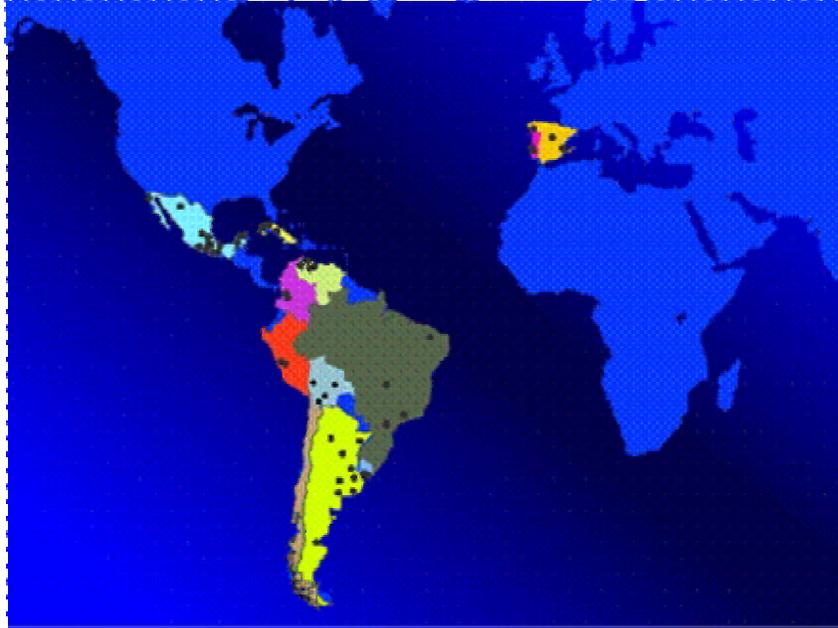
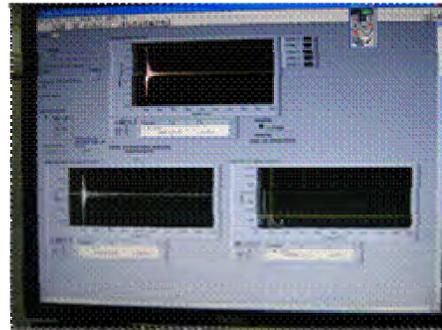


Figura 3.24

Estaciones de Exposición/Monitoreo del proyecto iberoamericano DURACON

4.5.2 Alteración de la rigidez de la frecuencia vibratoria de una viga hiperestática por el efecto de la corrosión del acero de refuerzo (España)

Como continuación de las actividades en proyectos de investigación derivados del Plan, las interacciones con instituciones en el extranjero motivaron a la colaboración en proyectos específicos relacionados. Uno de ellos fue patrocinado por el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, específicamente con la Dra. Carmen Andrade Piedrix, quien fungió como el enlace del Torroja. En este proyecto se apoyó en la realización del monitoreo en las pruebas de caracterización estructural de vigas de concreto afectadas por la corrosión del refuerzo. Un equipo de investigadores del IMT visitó en tres ocasiones el Torroja para efectuar, con sus equipos, las pruebas de vibraciones controladas de vigas hiperestáticas de concreto que mostraban un avance considerable de corrosión. Como resultado de esta interacción un estudiante mexicano del doctorado de la Universidad Complutense de Madrid, Alejandro Muñoz Noval, pudo finalizar sus estudios. La fig 3.25 muestra momentos en que se realizaron estas pruebas con apoyo de investigadores del IMT.



Proyecto EI-05/06: Alteración de la Rigidez y la Frecuencia Vibratoria de Vigas Hiperestáticas por Efecto de la Corrosión del Refuerzo

Figura 3.25

Fotografías tomadas durante las pruebas del proyecto de colaboración con el Instituto Eduardo Torroja de España

4.5.3 Eficacia de ánodos de sacrificio de zinc discretos (Venezuela)

A solicitud del Centro de Estudios de Corrosión de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, se realizó el siguiente proyecto de colaboración internacional con el objetivo de evaluar un sistema de rehabilitación que ha sido comercializado en varias partes del mundo aunque siempre existió la duda de su eficacia en estructuras reales. Por ello en 2003 se visitó al CEC para la fabricación de vigas de concreto a escala natural y colocar este tipo de ánodos. La fig 3.21 muestra una fotografía del sistema evaluado en el proyecto interno EI-12/05. Producto de esta colaboración se han presentado trabajos en congresos y revistas internacionales arbitradas de alto impacto, como puede observarse en la relación de publicaciones de la sección 3.9.4.

4.5.4 Agrietamiento de vigas de concreto por corrosión del refuerzo y el efecto de la reparación localizada (Venezuela)

Como continuación del proyecto de la sección anterior, el grupo del CEC, teniendo como líder a la Dra. Oladis Troconis de Rincón, solicitó al IMT apoyo para la realización del proyecto doctoral sobre eficacia de un sistema de rehabilitación por

parqueo y las mejoras a la capacidad estructural de dichas reparaciones. Con la experiencia de los proyectos de monitoreo estructural y de pérdida de capacidad remanente de elementos dañados por corrosión, se apoyó al CEC en la realización de las pruebas de carga de más de veinte vigas que fueron unas dañadas por corrosión y otras reparadas después de corroídas. La fig 3.26 muestra momentos de estas pruebas. Como resultado de esta colaboración se está por presentar la defensa de la tesis doctoral de la M.C. Yolanda Hernández, investigadora del CEC en Venezuela.



Figura 3.26

Pruebas de Carga de vigas dañadas por corrosión y reparadas según método de parqueo, en el CEC-Venezuela.

4.5.5 Evaluación por corrosión de la planta hidroeléctrica Toro I (Costa Rica)

En reuniones producto del proyecto Iberoamericano DURACON del CYTED, el Centro de Investigación de Corrosión (CICorr), del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), solicitó al IMT el apoyo para reforzar el programa de corrosión en la infraestructura de concreto propia del ICE, principalmente de sus proyectos hidroeléctricos y geotérmicos. Como primera actividad de colaboración entre ambas instituciones se realizó en 2006 la inspección y evaluación de la Hidroeléctrica Toro I, ubicado en las faldas del volcán Poás a unos 60 km de la

capital San José. Como primera actividad de estas colaboraciones en octubre de 2004 se realizó un primer curso de capacitación para personal del CICorr y del área de producción del ICE. A continuación, personal del CICorr asistió en 2004 y 2005 a los Cursos Internacionales del IMT sobre rehabilitación de estructuras de concreto dañadas por corrosión, donde el ICE y el IMT compartieron gastos en los traslados de su personal. En 2005 ambas instancias presentaron un proyecto de colaboración a la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) de México, siendo aprobado el proyecto de colaboración y apoyado por la SRE de México para sufragar los gastos de movilización de los investigadores mexicanos a Costa Rica. Como resultado de este proyecto de colaboración se generaron las recomendaciones para la rehabilitación de la planta hidroeléctrica en estudio y en 2008 se efectuaron las reparaciones recomendadas. La fig 3.27 indica algunas de las actividades efectuadas en este proyecto.



**Proyecto EE-08/06: Evaluación de
Planta Hidroeléctrica TORO I**

Figura 3.27

Actividades durante las inspecciones de la Planta Toro I en Costa Rica

4.5.6 Eficiencia de sensores base aleaciones de alúmina para ser embebidos en concreto (Argentina)

Motivado por las experiencia de evaluación de puentes del Plan, y en especial del muelle de Progreso, Yucatán, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) del gobierno argentino solicitó se le apoyara en la realización de un proyecto sobre

sensores para estructuras de concreto en el cual se estudiaría la eficiencia de unos sensores diseñados por el INTI en puentes mexicanos. Este proyecto es vigente y también apoyado por la SRE mexicana en los gastos de la movilizadad de los investigadores mexicanos y argentinos.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Una vez analizada la información con la que se cuenta, se llegó a las siguientes conclusiones.

Con base en el histograma de la calificación de SIPUMEX para los puentes de los estados costeros y no costeros, se concluye que éstos presentan una calificación sesgada hacia los valores entre 1 y 2, permitiendo inferir que el estado general de los puentes es adecuado. El valor medio de calificación para ambos rangos es aproximadamente 2.

La gran mayoría de los estados obtuvieron una calificación SIPUMEX promedio entre 1,2 y 1,9. Únicamente dos estados (Aguascalientes y Quintana Roo) presentaron una calificación promedio menor a 1, y 9 estados una calificación promedio entre 2 y 2,5. Esto concuerda con los valores de calificación general, en lo que respecta al buen estado, de los puentes de la red federal.

La edad promedio de los puentes en la red federal es cercana a 35 años. Esto implica que muchos puentes carreteros están en los límites de su vida útil. Los puentes con mayor tiempo de utilización están en el estado de Puebla, con una edad promedio de 60 años. En contraste, el estado con los puentes de menor tiempo de construcción es Yucatán.

Referente a la longitud de la infraestructura se puede inferir que los estados con infraestructura de puentes más importante, tomando en cuenta la longitud total de puentes por estado (estados con longitud total mayor a 15 000 m), son Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Michoacán, en ese orden.

Una vez analizada la información geoestadística, se realizó el análisis espacial inicial presentado en este trabajo, correlacionando la ubicación de los puentes con la potencialidad a la corrosión en función de la agresividad del medio ambiente. Los resultados se dividieron en función del ambiente a que está expuesto cada puente, el cual podría generar corrosión: cloruros y dióxido de carbono.

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron los siguientes:

1) Puentes con potencialidad a la corrosión por cloruros:

Prioridad alta	330 puentes
Prioridad media	3604 puentes
Prioridad baja	2131 puentes

2) Puentes con Potencialidad a la Corrosión por carbonatación:

Prioridad alta	395 puentes
Prioridad media	3951 puentes
Prioridad baja	1719 puentes

Los resultados obtenidos indican que el uso de un SIG en la programación de las inspecciones en puentes tiene un enorme potencial. A su vez, este trabajo servirá

para que las autoridades de conservación de puentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, en las inspecciones que realicen incluyan el parámetro de degradación por corrosión y el efecto del medio ambiente a la estructura.

La discriminación de puentes por corrosión realizada en este trabajo no es definitiva, se realizó con los datos que a la fecha se poseen. Actualmente se están mejorando las bases de datos de agresividad ambiental y cotejándose con los resultados obtenidos en otros proyectos similares como el de MICAT (Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica). Además, se están consiguiendo otras bases de datos geoestadísticas del INEGI, para incluir parámetros más exactos sobre contaminantes medidos en las ciudades más importantes de México y así tener, con mayor exactitud, las zonas donde se presenten las concentraciones críticas de CO₂ para generar corrosión por carbonatación del concreto.

Bibliografía

1. Andrade, C., Alonso, M.C. y González, J.A., "An initial effort to use the corrosion rate measurements for estimating rebar durability", en Corrosion rates of steel in concrete, ASTM STP 1065, eds. N.S. Berke, V. Chaker y D. Whiting, Filadelfia, EUA: ASTM, 1990, pp. 29-37.
2. Bažant, Z.P, (1979a), "Physical model for steel corrosion in concrete sea structures - theory", J. Struct. Div., ASCE, vol. 105, pp. 1137-1153.
3. Bažant, Z.P, (1979b), "Physical model for steel corrosion in concrete sea structures - application", J. Struct. Div., ASCE, 105, pp. 1155-1166.
4. Beeby, A.W., (1983), "Cracking, cover, and corrosion of reinforcement", Conc. Intl., Vol. 5, No.2, pp. 35-40.
5. Browne, R.D., (1980), "mechanism of corrosion of steel in concrete in relation to design, inspection and repair of offshore and coastal structures", ACI SP-65, Ed. V. M. Malhotra, Detroit, Michigan, EUA: American Concrete Institute, 1980, pp. 169-204.
6. Fontana, M.G., (1986), "Corrosion engineering", 3^{ra} ed., Nueva York, Nueva York, EUA: Mc GrawHill, 1986, pp. 556.
7. Red DURAR, (1997), "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado", CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Subprograma XV Corrosión/Impacto Ambiental sobre Materiales Maracaibo, Venezuela: CYTED, 1997.
8. Torres Acosta, A.A., (2001), "durabilidad de estructuras de concreto expuestas a un ambiente marino. Parte 1 - Periodo de la Iniciación de la corrosión (T_1), Construcción y Tecnología, VOL. 13, no.157, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, jun 2001, pp. 24-35.
9. Torres Acosta, A.A. y Martínez Madrid, M. (2001), "Diseño de estructuras con criterios de durabilidad," Publicación Técnica No. 181, Instituto Mexicano del Transporte.
10. Torres Acosta, A.A., Martínez Madrid, M., Backhoff Pohls, y M., Núñez Rodríguez, G. (2002), "Aplicación de un sistema de información geoestadístico para la evaluación de los agentes corrosivos del medio ambiente en la degradación de la infraestructura de puentes en México," Colloquia-2002, Maracaibo, Venezuela: 7-10 de jul.
11. Torres Acosta, A.A., and Martínez Madrid, M. (2003). "Residual life of corroding concrete structures in marine environment," J. of Materials in Civil Eng., ASCE, Vol. 15, no. 4, jul-ago, en prensa.
12. Torres Acosta, A.A., Fabela-Gallegos, Manuel J., Hernández-Jiménez, J. Ricardo, Muñoz-Noval, Alejandro y Martínez Madrid, Miguel. "Stiffness loss of concrete beams due to corrosion of reinforcing steel". Paper # 03282, NACE Corrosion/2003 Symposium 03-STG-46, mar 16 a 20, 2003, San Diego, California; EUA.
13. Tuutti, K., (1982), "Corrosion of steel in concrete", (Estocolmo, Suecia: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.



CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100 México, D. F.
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653 600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12
CP 76703 Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 97 77
Fax +52 (442) 216 96 71

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx