UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
Reflexiones y Recomendaciones

POR

ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Estructural

OCTUBRE, 1998

TM
TA683
.9
T7
c.1

1080087103

9453

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
Reflexiones y Recomendaciones

POR

ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Estructural

OCTUBRE, 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Reflexiones y Recomendaciones

Por

ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con **Especialidad en Ingeniería Estructural**

Octubre, 1998

TM
TA683
.T7

BMU Raúl Rangel Frías
UANL
FONDO
TESIS

BU Raúl Rangel Frías
UANL
FONDO
TESIS MAESTRIA

APROBACION DE
TESIS DE MAESTRIA

PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Reflexiones y Recomendaciones

por

ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO

Dr. Ricardo González Alcorta; Asesor

Dr. Ricardo González Alcorta
Secretario de Estudios de Postgrado

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MONTERREY, N.L, OCTUBRE 23, 1998.

ING. LÁZARO VARGAS GUERRA
DIRECTOR DEL DEPTO. ESCOLAR Y
DE ARCHIVO DE LA U.A.N.L.
TORRE DE RECTORÍA
PRESENTE.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **ING. ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO**, pasante de la **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL**, ha solicitado su examen de Grado, para lo cual ha cubierto la totalidad de los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución. Le pido amablemente girar las instrucciones necesarias para el trámite correpondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin otro particular de momento, me es grato enviarle un cordial saludo y reiterarme a sus respetables órdenes.

ATENTAMENTE,
" ALERE FLAMMAM VERITATIS "
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
EL SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DR. RICARDO GONZÁLEZ ALCORTA

C.c.p. Archivo.

CD. UNIVERSITARIA SAN NICOLAS DE LOS GARZA N. L. MEX. TEL Y FAX: 376-39-70 Y 352-49-69 EXT. 202

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

COMPROBANTE DE CORRECCION

Tesista: ERNESTO LEOPOLDO TREVIÑO TREVIÑO

Tema de la tesis: PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO. REFLEXIONES Y RECOMENDACIONES.

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográficos, metológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales: (NINGUNA)

Nombre y firma de quien corrigió: Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Secretario de Postgrado: Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 29 de octubre de 1998.

CD. UNIVERSITARIA SAN NICOLAS DE LOS GARZA N. L. MEX. TEL Y FAX: 376-39-70 Y 352-49-69 EXT. 202

Dedico este trabajo...

A mi querida madre
y a la memoria de mi padre

A mi esposa e hijas

A mis hermanos

RESUMEN

Ernesto Leopoldo Treviño Treviño **Fecha de Graduación: Octubre, 1998**

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título del Estudio: PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
Reflexiones y Recomendaciones

Número de páginas: xii + 328 **Candidato para el grado de Maestria en Ciencias con especialidad en Ingeniería Estructural**

Area de Estudio: Ingeniería Estructural

Contribuciones y Conclusiones: En este trabajo se enfatiza la importancia de incluir los conceptos de vida útil y durabilidad en el proceso de diseño estructural para lo cual se considera indispensable englobar, dentro de las solicitaciones a que se ven sometidas las estructuras, no solo las comúnmente conocidas como cargas y deformaciones impuestas, sino también las derivadas de la interacción de la estructura con el medio ambiente en que prestará servicio, las que se identificaron con el nombre genérico de agresiones. Igualmente, se considera esencial entender los fenómenos asociados a la ocurrencia de fallas en las estructuras. Se precisa el significado del vocablo falla, para incluir no solo el colapso o ruina total, sino todo tipo de anomalías, lesiones y disfunciones que pueda sufrir una estructura. Se identifica al error humano como la causa primigenia de las fallas y se tocan brevemente algunos aspectos jurídicos aplicables. El estudio de los fenómenos asociados a las fallas y sus manifestaciones externas se presenta en forma ordenada y sistemática como una disciplina con personalidad propia: la patología estructural. También se exponen algunas medidas preventivas para hacer frente a las fallas mas comunes dentro del rubro de la profilaxis estructural. Asimismo, se describen las diversas técnicas de intervención para el tratamiento de los problemas patológicos bajo la denominación de terapéutica estructural. Se enfatiza la necesidad de inspección y mantenimiento periódicos para lograr la durabilidad de las construcciones. Finalmente se manifiesta la preocupación por el mal uso ó abuso de las computadoras personales y paquetería de cálculo estructural como posible causa de fallas.Se incluye un glosario de los vocablos mas comunes dentro de la patología, terapéutica y profilaxis estructural así como una amplia bibliografía sobre el tema.

Dr. Ricardo González Alcorta, Asesor.

CONTENIDO

		Página
	PREFACIO	**ix**
1	**EL DISEÑO ESTRUCTURAL**	**1**
	1.1 Misión de las estructuras	
	1.2 Responsabilidad del Ingeniero civil	
	1.3 La práctica actual	
	1.4 Vida de las estructuras	
	1.5 Deterioro estructural	
	1.6 Durabilidad	
2	**LAS FALLAS ESTRUCTURALES**	**32**
	2.1 La ingeniería estructural: ciencia y arte	
	2.2 Concepto de falla	
	2.3 Posibilidad finita de falla	
	2.4 Tipos de fallas	
	2.5 Causas de las fallas	
	2.6 El error humano	
	2.7 Aspectos jurídicos	
3	**ANALOGÍA CON LA MEDICINA**	**47**
	3.1 Origen. Beneficios	
	3.2 Gestación. Crecimiento. Vida adulta	
	3.3 Enfermedades y lesiones	
	3.4 Tratamientos e intervenciones	
	3.5 Patología, terapéutica y profilaxis estructural	
	3.6 Ingeniería forense	
4	**LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL**	**53**
	4.1 Categorías para su estudio	
	4.2 Defectos congénitos	
	4.3 Defectos adquiridos	
	4.4 Deterioro del concreto endurecido por procesos físicos	
	4.5 Deterioro del concreto endurecido por procesos químicos	
	4.6 Deterioro del concreto endurecido por procesos biológicos	

4.7 Deterioro superficial del concreto endurecido
4.8 Corrosión del acero de refuerzo
4.9 Daños ocasionados por acciones mecánicas
4.10 Daños ocasionados en situaciones extraordinarias
4.11 Daños ocasionados por mal uso ó abuso de la estructura

5 LA PROFILAXIS ESTRUCTURAL **149**

5.1 Agresividad medioambiental
5.2 Protección del concreto
5.3 Protección del acero de refuerzo
5.4 Protección en la etapa de uso

6 LA TERAPÉUTICA ESTRUCTURAL **172**

6.1 Técnicas
6.2 Estrategias

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **184**

8 BIBLIOGRAFÍA SELECTA **194**
Referencias citadas
Obras consultadas

Anexo A: Glosario **214**

Anexo B: Figuras **222**

Anexo C: Cuadros, gráficas y tablas **281**

Anexo D: Indice **319**

Resumen autobiográfico **328**

PREFACIO

Dentro del proceso de diseño estructural, el ingeniero civil tiene la responsabilidad fundamental de lograr estructuras que posean los atributos de seguridad y durabilidad. Es en el cumplimiento de esta responsabilidad que el ingeniero especialista en estructuras se enfrenta a gran diversidad de problemas, los que pueden agruparse dentro de dos grandes categorías: aquellos que pertenecen a la mecánica estructural y aquellos que pertenecen a la ciencia de los materiales.

El progreso conseguido en los últimos tiempos en la comprensión de los aspectos de la mecánica estructural aunado a la disponibilidad de herramientas computacionales con capacidades que nunca imaginábamos, así como de materiales de mayor resistencia y de equipos y procedimientos de ejecución de obra mas racionales, han contribuido a poder obtener soluciones estructurales con componentes mucho mas esbeltos.

Sin embargo, es natural que estructuras mas ligeras, resulten al mismo tiempo mas sensibles ante cualquier defecto del cálculo, de los materiales y de la ejecución, y mas vulnerables a las agresiones a que son sometidas por el medio ambiente en el que desempeñan las funciones para las que fueron concebidas.

Si bien debemos reconocer que también se han logrado avances importantes en los conocimientos de la ciencia de los materiales como son el entendimiento de la respuesta de los elementos de concreto reforzado a las agresiones ambientales, de los efectos de la edad, de los mecanismos de iniciación y propagación de grietas y de la corrosión del acero de refuerzo entre otros, la normatividad tradicional no incluye estos nuevos conocimientos ó los incluye solo implícita ó someramente. Esto se traduce en que, en la práctica actual del diseño estructural no se incluyan -- específicamente al menos -- estos conceptos que inciden directamente en la cualidad de durabilidad y en la vida útil de las estructuras.

Al mismo tiempo, y a pesar de los indiscutibles avances logrados, se siguen

presentando todo tipo de fallas en la industria de la construcción y en todos los niveles de severidad -- desde innocuas hasta catastróficas --, lo que nos lleva a preguntarnos el por qué continúan ocurriendo y el como podemos evitarlas.

A través de una analogía con la medicina iniciada en Francia en la década de los años cincuenta, se pueden estudiar las estructuras de concreto y las construcciones en general a la luz de nuevos conceptos para complementar los enfoques tradicionales, que no ofrecen una comprensión total del comportamiento de las construcciones.

La Resistencia de Materiales, la teoría clásica de análisis y de estabilidad de las estructuras y las asignaturas tradicionales de materiales de construcción no han sido ni son suficientes para explicar los fenómenos asociados a las diversas anomalías, di sfunciones y deterioro de las estructuras.

Esta analogía con la medicina ha dado origen a tres ramas de la Ingeniería Estructural -- o mas ampliamente, de la Ciencia y Técnica de la Construcción -- que se han venido conformando como disciplinas con personalidad propia, aunque todavía en proceso de consolidación: la Patología, la Terapéutica y la Profilaxis estructural.

Es en este orden de ideas que he preparado el presente trabajo, el que por demás está manifestar, que nada nuevo ha de enseñar; y que es solo la suma de mis modestos afanes de tratar de dar cohesión y uniformidad a estas ramificaciones de la ingeniería estructural. Para su desarrollo, me he inspirado constantemente en los trabajos de Blevot, de Campbell - Allen, de Roper, de Perkins, de Fernández Cánovas, de Calavera y de muchos otros conocidos y desconocidos bajo el anonimato de los comités de trabajo de instituciones como el Departamento del Distrito Federal, Instituto Americano y el Comité Europeo del Concreto, entre otros.

Quiero reconocer en este momento que, en mi empeño de emular legítimamente concepciones técnicas similares, es seguro que incurrí en algunos casos, -- quizá no pocos --, en la semejanza de lo aquí escrito con lo ya expresado por otros autores, lo cual se debe, sin duda, solamente a mis propias limitaciones para hacerlo en mejor forma. Si he omitido alguna referencia, lo he hecho involuntariamente y pido disculpas por ello. Sin

embargo, puedo afirmar que el punto de vista en que me coloco, y el modo de desarrollar los asuntos tratados, buscando siembre el orden, la unidad, la claridad y la sistematización, son enteramente originales y ciertamente influenciados por mas de treinta años de experiencia en la práctica de la ingeniería estructural -- los nueve últimos dentro de nuestro Instituto de Ingeniería Civil en los que he tenido la oportunidad de observar de cerca, y no pocas veces solucionar muchísimos casos de fallas estructurales.

Consciente de que es imposible tratar en forma completa, dentro de un trabajo como este, un tema tan extenso y complejo como lo es la patología del concreto reforzado, me propuse localizar, reunir y listar una buena cantidad de bibliografía, la mayoría disponible en nuestro país, para quien desee profundizar en algún tema en particular. Quisiera aclarar que las referencias anotadas en el texto corresponden a la fuente mas conveniente y no necesariamente a la fuente original del tema. No obstante lo extenso del tema, me he atrevido a tocar en forma por demás sucinta, algunas ideas en torno a la profilaxis y a la terapéutica estructural, áreas que por sí solas merecen ser tratadas ampliamente por separado.

Otro aspecto que he tratado de cuidar es el del lenguaje. Si bien la primera función del lenguaje consiste en ser el principal vínculo de comunicación entre las personas, también desempeña la función de ser conformador básico de nuestra mente, de nuestro modo de capturar el mundo que nos rodea, de nuestra manera de pensar y de razonar.

Como lo dice el Profr. Alvaro García Meseguer, " la primera vez que entramos en contacto con algo, podemos captar ese algo en su auténtica realidad, sobre todo si todavía no tiene nombre. En cuanto aparece el nombre, éste se fija en nosotros a modo de una "etiqueta lingüística" y en lo sucesivo, nuestra relación con ese algo se establecerá a través de dicha etiqueta, con lo que las experiencias individuales se transformarán cada vez mas en clichés convencionales. En este mecanismo, se esconden peligros que nos afectan en todo orden de cosas. Por ello, un buen número de accidentes que acaecen en la vida, no son ajenos a fenómenos lingüísticos, y la ingeniería y la construcción no son una excepción".

Por lo anterior, he considerado muy importante precisar el uso y el significado de vocablos asociados a la patología, terapéutica y profilaxis estructural en un glosario incluido al final de este trabajo.

Nadie somos hombres verdaderamente auto formados. Todos somos, al menos en parte, lo que otros han querido que seamos. Por ello, quiero expresar mi gratitud a las muchas personas e instituciones de quienes he recibido formación, apoyo, estímulo y ayuda a lo largo de mi vida.
En particular quiero agradecer su ayuda para la culminación de este trabajo al Dr. Ricardo González Alcorta por su asesoría y estímulo; al Ing. Héctor Buentello Bazán por sus opiniones, consejos y enseñanzas en la ciencia y arte de la ingeniería estructural; a Luis Alberto Rodríguez Luna por su ayuda en la elaboración de las tablas, cuadros, gráficas y figuras de los Anexos B y C; a todos mis compañeros y colaboradores del Departamento de Estructuras y Materiales del Instituto de Ingeniería Civil por permitirme encontrar el tiempo para elaborar este trabajo. A las autoridades universitarias agradezco el apoyo económico y facilidades recibidas.

Agradecimiento muy especial a mi esposa por su ayuda continua en la captura y formato de la totalidad del texto, y a nuestras hijas, quienes siempre nos han brindado su ayuda incondicional, especialmente en estos últimos meses en que se han multiplicado nuestras ocupaciones, al agregarse a las tareas de rutina, las propias de este trabajo y las de la organización del XI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.