

MEDIDAS TENDIENTES A PREVENIR UNA FALLA FRÁGIL EN COLUMNAS

LUIS GONZALO MEJÍA C., I.C.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las más importantes lecciones aprendidas en los sismos recientes, es la referente a la gravedad de la ocurrencia de fallas frágiles en las estructuras. Estas están asociadas, generalmente, con deficiencias de refuerzos para resistir los esfuerzos inducidos por los sismos, que pueden ser de tracción diagonal en vigas, punzonamiento en placas sin vigas y corte en los extremos de las columnas. Esta última, es la más azarosa, pues produce el colapso súbito de la estructura y, por lo tanto, su prevención es uno de los mayores retos de la ingeniería, especialmente en construcciones diseñadas con anterioridad a la vigencia de las normas sísmicas.

Por este motivo, durante la

ejecución de un análisis rutinario para la determinación de la carga viva máxima de uso de una losa construida como cubierta en los años 50, se vio la necesidad de ejecutar un trabajo de mejoramiento de la resistencia a cortante de las columnas de soporte de la losa. Se describen en este artículo los aspectos más sobresalientes de este trabajo.

2. CASO DE ESTUDIO

La Cadena de Almacenes Exito buscaba ampliar el área de ventas de su almacén de la calle Colombia en Medellín y requería, para este efecto, utilizar la losa de cubierta como bodega para mercancías livianas pero que ocupaban gran volumen, para lo cual era necesario determinar las cargas seguras de almacenamiento, con el

fin de llevar a cabo, sin riesgo, el proyecto mencionado.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El almacén fue construido en el año 1952 y su estructura está formada por una losa de cubierta de 0,4 m de espesor armada en dos direcciones, sin vigas, del tipo "waffle-slab" usual en esa época, con luces de 7,90 m x 7,90 m (Figuras 1a y 1b) y con columnas de 0,4 m x 0,4 m y 4,5 m de altura, cimentadas en zapatas aisladas. Este sistema estructural ha mostrado un pobre comportamiento en eventos sísmicos severos presentando, básicamente, dos tipos principales de falla⁽¹⁾: Una por conformación de líneas de rotura en las caras de las columnas y otra por punzonamiento (Figura 2).

La primera de éstas es ideal pero ocasiona momentos desbalanceados importantes en la unión losa-columna los cuales deben ser resistidos por cortantes y momentos en ésta que, de no estar suficientemente reforzada, puede fallar en forma frágil.

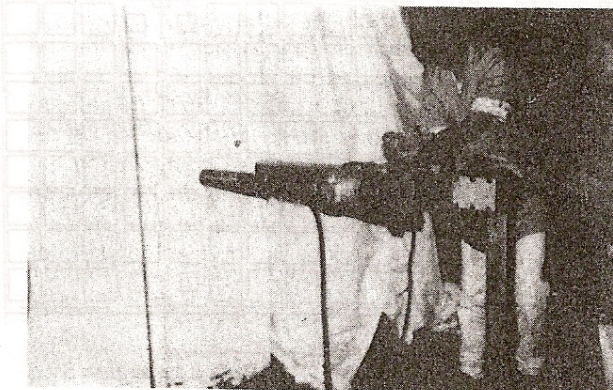


Foto 1. Toma de núcleos.

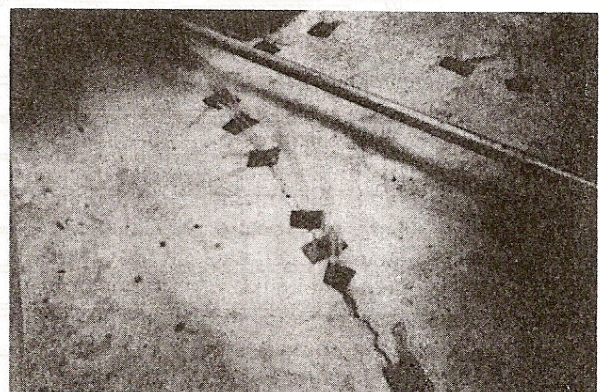


Foto 2. Inyección de grietas.

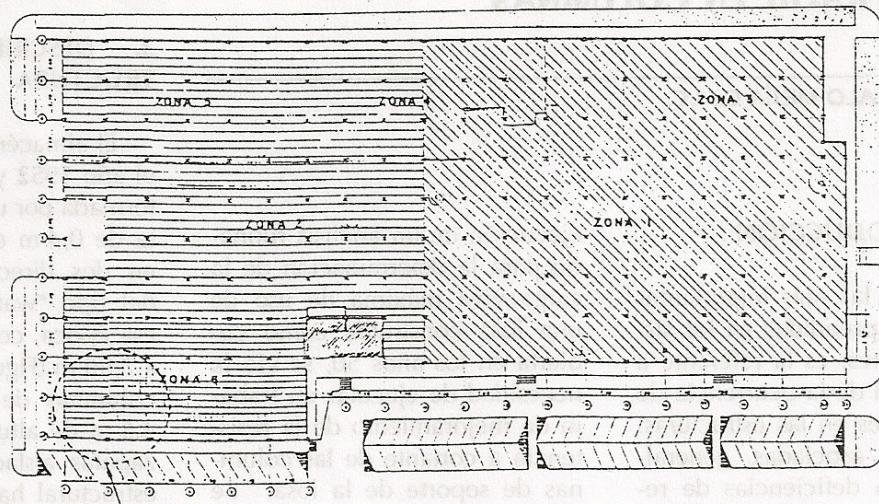


Figura 1b

FIGURA 1A. Planta general del almacén.

Según Meli⁽¹⁾ "Debido al gran número de repeticiones de las cargas cíclicas producidas por los sismos, y en vista del pobre confinamiento lateral dado al núcleo de las columnas

cuando existe poco refuerzo transversal, la resistencia de la columna se degrada rápidamente y su capacidad de carga desaparece dando lugar, en varios casos, al colapso completo del

edificio"; y concluye, que la colocación de una cantidad suficiente de estribos en las columnas es fundamental para garantizar el buen comportamiento de estas estructuras y, de esta

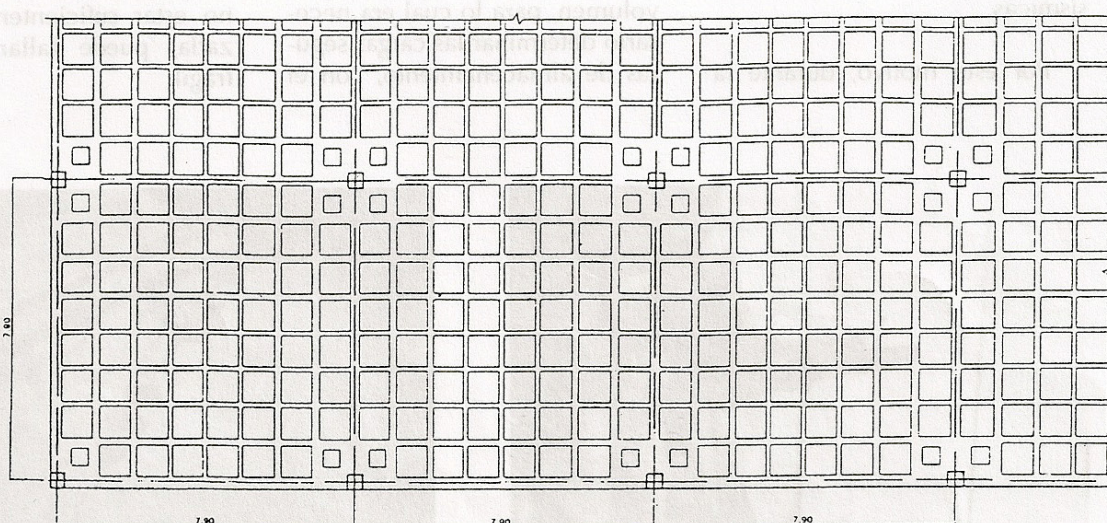


FIGURA 1B. Planta típica de la losa.

forma, evitar una falla frágil con sus graves consecuencias.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los pasos seguidos durante la elaboración de este estudio, fueron los siguientes:

- ♦ Recopilación de los planos existentes y de toda la información sobre eventos importantes o situaciones especiales observadas en los años pasados.
- ♦ Revisión detallada del estado de la estructura, para determinar si existían indicios patológicos que pudieran aportar elementos de juicio para este estudio.
- ♦ Ejecución de un estudio de suelos, con el fin de determinar las características y los parámetros para la revisión.
- ♦ Toma de núcleos en columnas y losas con el fin de ob-

tener el $f'c$ del concreto (Foto 1).

- ♦ Revisión teórica, análisis de datos, obtención de resultados y recomendaciones.

5. ASPECTOS RELEVANTES DEL ESTUDIO

La revisión analítica de una losa con el fin de determinar su capacidad de carga es una labor rutinaria y, aunque extensa, no presenta grandes dificultades. Por el contrario, la correcta interpretación y evaluación del estado de la estructura, así como la toma de decisiones acerca de si es necesario efectuar algún tipo de refuerzo, es una labor que exige profundos conocimientos y experiencia. Por estos motivos no se entrará a tratar los aspectos referentes a la determinación de la carga segura de uso y más bien se describen, en este artículo, los aspectos más importantes encontrados en la ejecución de los trabajos para incrementar la ca-

pacidad a cortante de las columnas que soportan la losa objeto de este estudio; mejoramiento sísmico sin el cual, todas las conclusiones teóricas, aunque válidas para la losa, hubieran sido falsas para el comportamiento general de la estructura.

5.1 Evaluación del estado de la estructura

En estos casos, todo un extenso estudio de computador, carece de fundamento sin una revisión exhaustiva de la estructura real, de tal forma que se puedan garantizar las hipótesis supuestas en la revisión teórica. Se procedió por lo tanto a evaluar el estado de la estructura, la cual se encontró en buenas condiciones, para sus más de 40 años de funcionamiento, resaltando que, en general, la vida útil de una obra, desde el punto de vista de la ingeniería, es de 50 años.



Foto 3. Anclaje del refuerzo en la fundación.

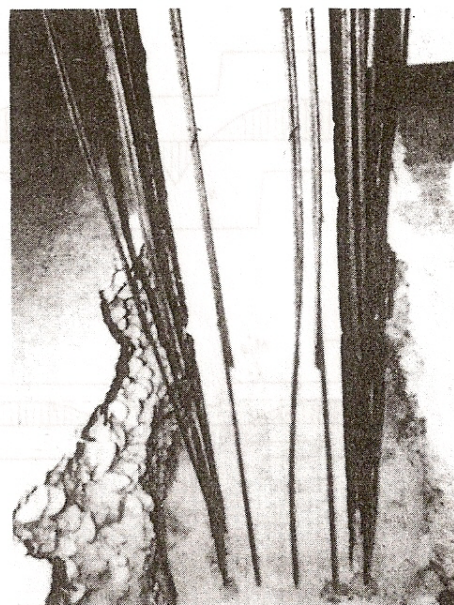


Foto 4. Colocación del refuerzo longitudinal.

La inspección detenida de la estructura, permitió, no obstante, detectar agrietamientos en las zonas de capitel en algunas áreas específicas, para lo cual previamente se habían removido llenos variables entre 100 y 300 mm de sucesivas impermeabilizaciones. Como se sabe, una grieta puede tener una o varias causas y es a veces difícil, o aún imposible, definir su origen. En este caso, sin embargo, se conocía de la ocurrencia de un incendio años atrás, que había afectado la estructura con diferentes grados de severidad.

El fuego produce un aumento importante en los momentos negativos, que puedan llevar,

inclusive, a la fluencia del refuerzo (Figura 3⁽²⁾) presentándose un estado tensional (Figura 4⁽³⁾) que aclaraba el agrietamiento radial existente. Con el fin de devolverle a la estructura su condición inicial, se procedió a inyectar todas las grietas existentes como se puede ver en la Foto 2. La tipicidad del agrietamiento y el buen estado del concreto, no hicieron necesaria la utilización de métodos de ultrasonido en este proceso de evaluación.

Unas pocas columnas presentaban grietas de cortante debidas a las deformaciones térmicas ocasionadas durante el incendio, las cuales fueron igualmente inyectadas. Fuera de los

agrietamientos descritos, no se detectaron señales de daños por asentamientos, sismos u otras causas.

5.2 Mejoramiento sísmico

Como ya se mencionó, la insuficiencia de estribos en las columnas puede conducir a graves fallas por cortante y al colapso de la construcción, pues su ocurrencia impide la formación del mecanismo de falla ideal del tipo 1 (Figura 1), que posee una gran capacidad de disipación de energía y equivale al mecanismo con formación de rótulas plásticas, que se presenta en los pórticos convencionales con columna fuerte y viga débil⁽¹⁾. A pesar del buen com-

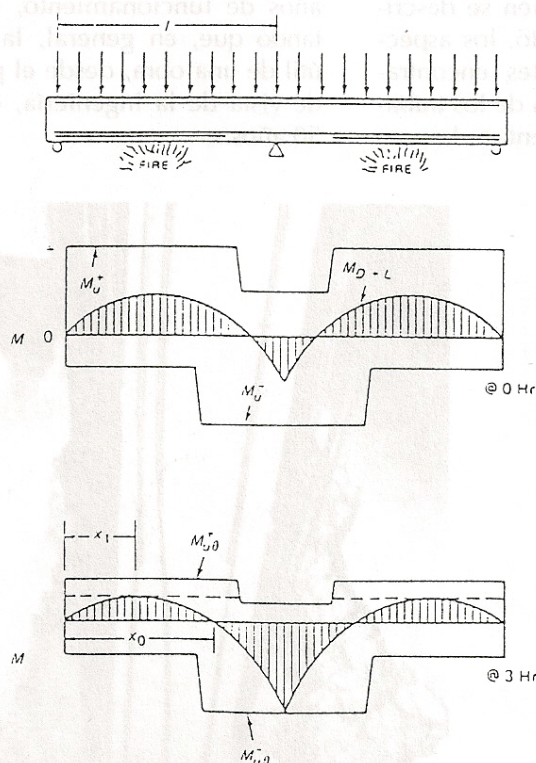


FIGURA 3. Diagramas de momento para una viga continua de dos tramos antes y durante un incendio⁽²⁾.

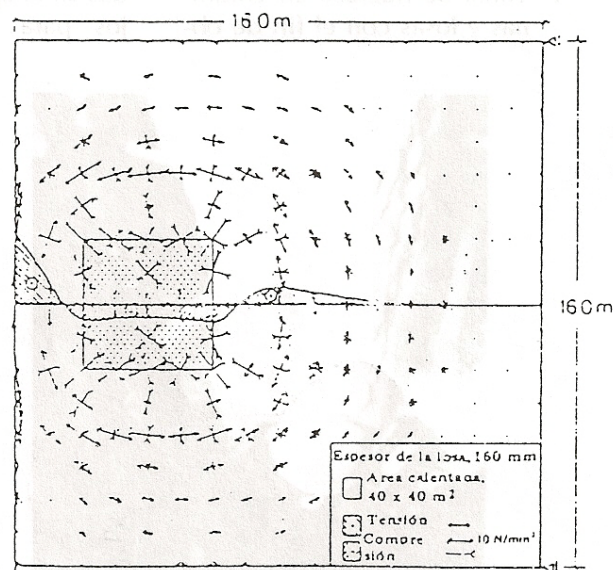


FIGURA 4. Estado tensional en una losa de concreto calentada parcialmente⁽³⁾.

PATOLOGIA

portamiento sísmico que la estructura había exhibido, se considera conveniente, por las razones expuestas, mejorar el estribamiento de las columnas que consistía en varillas de 1/4" liso cada 300 mm con gancho a 90°.

Para el diseño del refuerzo, se efectuaron extensos estudios de computador en los cuales se analizaron situaciones extremas con el fin de evaluar diferentes mecanismos de falla.

5.3 Descripción del mejoramiento sísmico

En principio el confinamiento con estribos podía efectuarse:

- ♦ Retirando el recubrimiento en las columnas, adicionando los nuevos estribos y volviendo a rehacer el recubrimiento, procedimiento que fue desechado por estar las columnas cargadas, sin po-

sibilidad de descargarlas y por el riesgo que se corre de dañar, con el cincel, los estribos existentes.

- ♦ Encamisando la columna, al ensanchar la sección 100 mm pasando de 0,4 m x 0,4 m a 0,6 m x 0,6 m; alternativa adoptada, para la cual se diseñó un refuerzo que constaba de varillas longitudinales y estribos transversales como se indica en sección en la Figura 5 y en elevación en la Figura 6.

El refuerzo longitudinal recibió un anclaje para tracción en la parte inferior, para lo cual fue necesario excavar hasta las fundaciones (Fotos 3). En la parte superior se ancló el refuerzo solo a cortante (Foto 4), pues el anclaje a tracción exigía perforaciones profundas que podrían causar un debilitamiento, en el perímetro de las columnas, exageradamente peli-

groso. Este anclaje a cizalladura está en posibilidad de transmitir a las columnas, por cortante directo, todas las fuerzas inerciales que se originan en la losa.

Bett, Kligner y Jirsa⁽⁴⁾ estudiaron este tipo de encamisamiento (Jacketing) sin anclaje del refuerzo longitudinal, con el fin de no incrementar el refuerzo a flexión en las zonas críticas. Sus investigaciones concluyeron que "Ni los especímenes reparados, ni los reforzados exhibieron la severa degradación de rigidez que se presentaba en los especímenes originales a niveles de deriva del 1%⁽⁴⁾".

Finalmente vale la pena mencionar, que en el núcleo de las columnas mejoradas, se ancló el refuerzo para las columnas que recibirían la estructura metálica de cubierta de la losa estudiada, como se indica en la Figura 6.

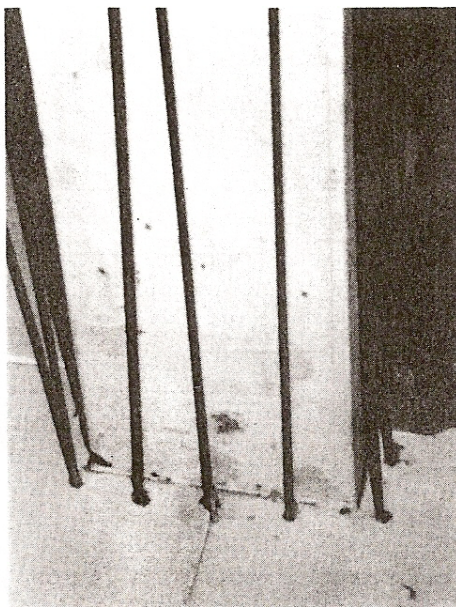


Foto 5. Anclaje del refuerzo en la zona de capitel de la losa.

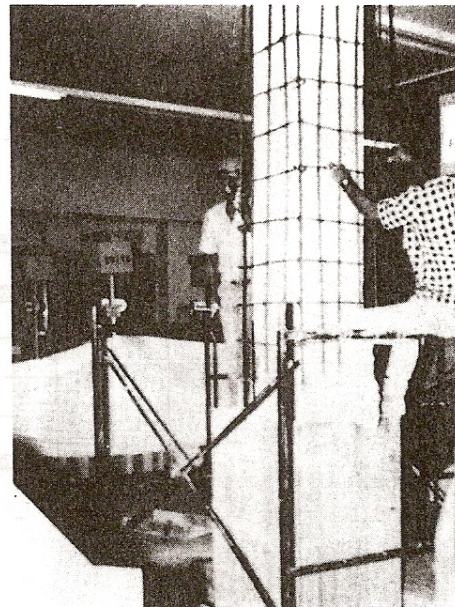


Foto 6. Preparación de la columna para el vaciado.

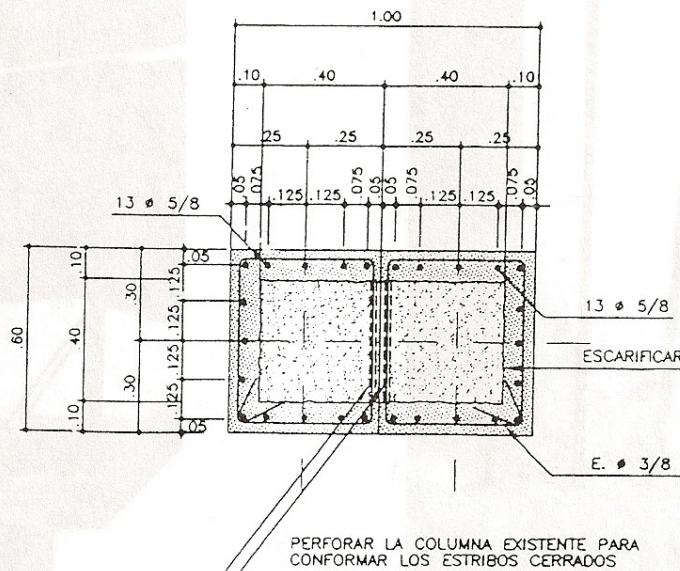
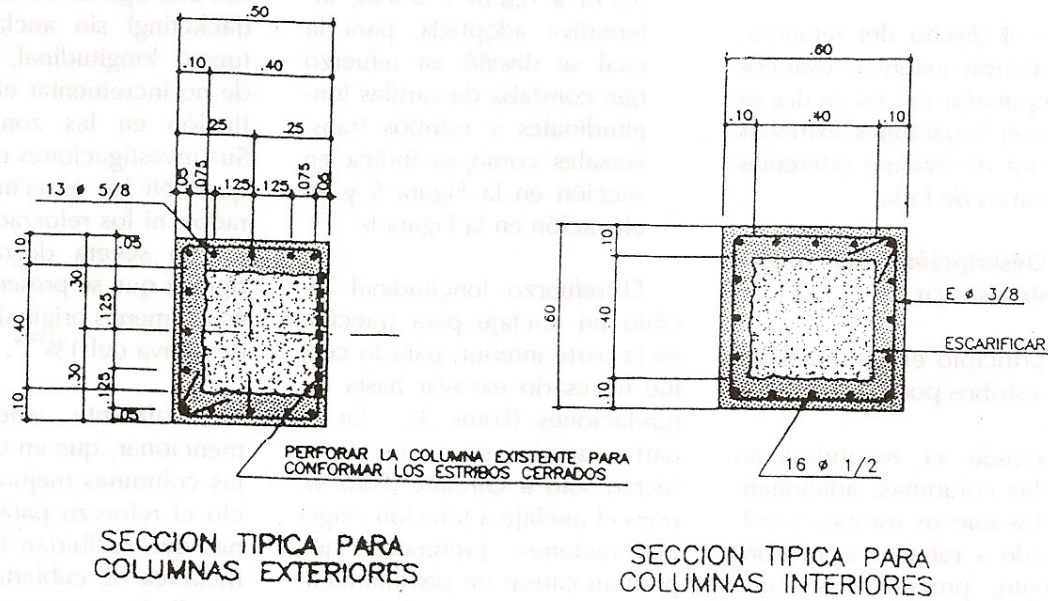


FIGURA 5. Secciones típicas del refuerzo adicional para el mejoramiento sísmico a cortante de las columnas.

5.4 Aspectos constructivos

Uno de los condicionamientos básicos de este trabajo, era el referente al funcionamiento del almacén, que no se podía interrumpir en ningún momento por lo cual fue necesario programar todo el trabajo en jornadas nocturnas, organizando cuadrillas especializadas en cada actividad. Vale la pena hacer notar que, por razones de facilidad constructiva, se trasladó todo el refuerzo a la salida del piso y por debajo de la losa (Figura 6) utilizando un empalme superior al tipo C, dadas las incertidumbres presentes en el vaciado y el limitado espesor del concreto nuevo, el cual fue preparado en su totalidad con agregado con tamaño máximo de 20 mm (3/4").

El empate entre la columna y la viga se inyectó con el fin de garantizar la unión del concreto de la columna con la losa. A

pesar de las dificultades inherentes a este tipo de trabajos, su ejecución se pudo hacer sin grandes contratiempos y en los plazos estipulados.

6. CONCLUSIÓN

Toda modificación, ampliación o cambio de uso de una estructura, exige su estudio como un todo. El mejoramiento de la capacidad de cortante de las columnas es un trabajo fundamental y su realización urgente en todas las estructuras construidas antes de la aparición de las normas sísmicas. Conocimientos, experiencia y sentido común son las principales herramientas para abordar no solo este tipo de trabajos, sino en general todos los de patología estructural.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. MELI, R., and RODRIGUEZ, M.
Seismic behavior of waffle-flat

plate buildings. // En : Concrete International. -- Vol.10, No.7 (Jul., 1988); p.33-41.

2. GUSTAFERRO, Armand. Fire resistance. // En : _____. Handbook of concrete engineering. -- New York : Van Nostrand, 1974. -- P.224.
3. KRAMPF, L. Comportamiento estructural de edificios de concreto expuestos al fuego. // En : Revista Imcyc. -- Vol.21, No.143 (Maz., 1983); p.59-64.
4. BETT, J. KLINGER, R., and JIRSA, J. Lateral load response of strengthened and repair reinforced concrete columns. // En : ACI Structural Journal. -- Vol.85, No.5 (SP/OC, 1988); p.409-508.
5. ROSENBLUETH, E. Seguridad y diseño estructural en concreto reforzado en ingeniería. -- México : Limusa, 1974. -- P.V. ☞

LA ÉTICA DEL PATÓLOGO

Por: *Alvaro García M.*

En patología son pocas las veces en que la situación es de una claridad meridiana. La obligación del patólogo es reflejar la situación tal y como él la ve, con sus luces y sus sombras, lo cual es tarea difícil por lo que antes o después aparecerán en el horizonte dudas de carácter ético, especialmente cuando existen partes en litigio: ¿Hasta qué punto es verdad lo que digo en esta frase? ¿No será más verdad, o al menos igual verdad, decir la frase contraria? Estas dos interrogantes sirven para ejemplificar las dudas a las que me refiero.

Es obvio que se parte de la base de que el patólogo dirá siempre lo que su leal saber y entender le dicte. Pero aún así pueden subsistir dudas en la práctica (zonas de sombra). Cuando actúa como árbitro entre dos partes es claro que debe ser absolutamente imparcial.

Por el contrario, cuando actúa a instancia de una parte, puede aceptar o rechazar el encargo y, pactar con las partes las condiciones, económicas y otras, de su actuación. Aquí la ética consiste en decir la verdad, toda la verdad y nada más que la verdad, presentando las zonas de sombra de ma-

nera que no perjudiquen a su cliente.

Si en vez de escribir que no perjudiquen se hubiese escrito que benefician a su cliente habría incurrido en ligereza, dando pie a que más de un lector pensara que beneficiar al cliente no es siempre ético.

Este juego lógico-lingüístico que se acaba de exponer, es decir, la diferencia que existe entre afirmar una cosa y negar su contraria, es de importancia a la hora de redactar expedientes difíciles. ☞