

Efectos Del Envejecimiento Estructural durante la Vida Útil de Edificios: Caso de Estudio de un Edificio Educativo

*Effects of Structural Aging during the Useful Life of Buildings:
Case Study of an Educational Building*

*Efeitos do Envelhecimento Estrutural durante a Vida Útil dos Edifícios:
Estudo de Caso de um Edifício Educacional*

Fernando Aguirre Camacho¹, Fernando Treviño Montemayor²,
Carlos Alberto Hoyos Castellanos^{3(*)}, Martín Eduardo García Avilanes⁴

Recibido: 21/02/2024

Aceptado: 08/03/2024

Resumen. - Este artículo presenta los resultados desarrollados en el Instituto Tecnológico de Tepic con el propósito de realizar un dictamen estructural del edificio "Q". Su finalidad fue evaluar las condiciones estructurales del edificio generadas por el uso de este, las cuales pueden ser causal para comprometer la seguridad del edificio, y por lo tanto del personal del Instituto y sus estudiantes como sus usuarios cotidianos. Se discute la culminación del periodo de su vida útil y las características de su envejecimiento. El inmueble en cuestión fue construido en el año 1976, su diseño original fue a base de marcos rígidos de acero estructural, con columnas a base de placas en sección cajón de diversos calibres, utilizando soldaduras en las uniones de los elementos estructurales. Este inmueble corresponde a un modelo de edificio "tipo" diseñado en el año 1966 para el Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE).

En el análisis de las condiciones del edificio se emplearon diversas técnicas para determinar deformaciones, asentamientos, y deterioros en general de los materiales que comprenden la estructura del edificio, encontrando a simple vista alteraciones en algunos elementos estructurales. Se concluye finalmente que a pesar de que el edificio estructuralmente se puede conservar realizando algunas acciones de reparación y mantenimiento, su diseño estructural no cumplía las especificaciones de las normativas actuales, por lo que el organismo responsable de la construcción de la infraestructura educativa determinó que la única solución viable era la demolición total del inmueble y su construcción nueva.

Palabras clave: Envejecimiento de edificios, Seguridad Estructural, Dictamen estructural, Vida útil.

(*) Autor Corresponsal

¹ Maestro en Ingeniería línea terminal en construcción. Tecnológico Nacional de México, plantel Instituto Tecnológico de Tepic, faguirre@ittec.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5965-1375>

² Maestro en Estructuras. Tecnológico Nacional de México, plantel Instituto Tecnológico de Tepic, ftrevino@ittec.edu.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3924-7660>

³ Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales. Tecnológico Nacional de México, plantel Instituto Tecnológico de Tepic, hoyoscarlos@ittec.edu.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5965-1375>

⁴ Ingeniero Civil. Tecnológico Nacional de México, plantel Instituto Tecnológico de Tepic, mgarciaa@ittec.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5238-5033>

Memoria Investigaciones en Ingeniería, núm. 26 (2024). pp. 125-142
<https://doi.org/10.36561/ING.26.8>

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106 – Universidad de Montevideo, Uruguay

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de una licencia de uso y distribución CC BY 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Summary. - This article presents the results developed at the Instituto Tecnológico de Tepic with the purpose of carrying out a structural opinion of the “Q” building. Its purpose was to evaluate the structural conditions of the building generated by its use, which may be a cause for compromising the safety of the building, and therefore of the Institute's staff and its students as its daily users. The culmination of the period of its useful life and the characteristics of its aging are discussed. The property in question was built in 1976, its original design was based on rigid structural steel frames, with columns based on box section plates of various calibers, using welding at the joints of the structural elements. This property corresponds to a “type” building model designed in 1966 for the Administrative Committee of the Federal School Construction Program (CAPFCE).

In the analysis of the conditions of the building, various techniques were used to determine deformations, settlements, and general deterioration of the materials that comprise the structure of the building, finding alterations in some structural elements with the naked eye. It is finally concluded that although the building can be structurally preserved by carrying out some repair and maintenance actions, its structural design did not meet the specifications of the current regulations, so the body responsible for the construction of the educational infrastructure determined that the only viable solution was the total demolition of the property and its new construction.

Keywords: Aging of buildings, Structural Safety, Structural opinion, Useful life.

Resumo. - Este artigo apresenta os resultados desenvolvidos no Instituto Tecnológico Tepic com o objetivo de realizar um parecer estrutural do edifício “Q”. Seu objetivo foi avaliar as condições estruturais do edifício geradas pela sua utilização, que podem ser causa de comprometimento da segurança do edifício e, portanto, dos funcionários do Instituto e de seus alunos como seus usuários diários. Discute-se o culminar do período da sua vida útil e as características do seu envelhecimento. O imóvel em questão foi construído em 1976, seu projeto original era baseado em pórticos estruturais rígidos de aço, com pilares assentes em placas de seção caixão de diversos calibres, utilizando soldagem nas juntas dos elementos estruturais. Este imóvel corresponde a um modelo de edifício “tipo” projetado em 1966 para o Comitê Gestor do Programa Federal de Construção de Escolas (CAPFCE).

Na análise das condições do edifício foram utilizadas diversas técnicas para determinar deformações, recalques e deterioração geral dos materiais que compõem a estrutura do edifício, encontrando a olho nu alterações em alguns elementos estruturais. Conclui-se, por fim, que embora o edifício possa ser preservado estruturalmente através da realização de algumas ações de reparação e manutenção, o seu projeto estrutural não atendeu às especificações da regulamentação em vigor, pelo que o órgão responsável pela construção da infraestrutura educativa determinou que o único A solução viável foi a demolição total do imóvel e sua nova construção.

Palavras-chave: Envelhecimento de edifícios, Segurança Estrutural, Parecer estrutural, Vida útil.

1. Introducción. - En este dictamen técnico se muestran los resultados de la investigación realizada para determinar aptitud estructural para continuar en servicio del inmueble de dos niveles, denominado Edificio “Q”, ubicado dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tepic, con la finalidad de recabar la información necesaria para evaluar si este en su conjunto, o alguno de sus elementos estructurales llegaron al fin de su vida útil.

La vida útil es entendida como el periodo después de la construcción y/o instalación durante el cual el edificio y sus partes cumplen o exceden los requerimientos de rendimiento para lo cual fueron diseñados y construidos [5].

Con el paso del tiempo los edificios sufren deterioros, sus materiales se degradan y consumen su vida útil, este proceso depende de la calidad estructural y constructiva, así como de su mantenimiento, sin dejar a un lado el uso que se le dé y a las condiciones externas a que sea sometido.

Los factores principales que intervienen en el envejecimiento de los edificios pueden clasificarse en factores constructivos, mantenimiento y agentes ambientales exteriores e internos.

Dentro de la investigación para determinar las características del envejecimiento del edificio Q, se realizaron una serie de inspecciones a los elementos estructurales del inmueble, incluyendo las condiciones del acero y sus soldaduras en columnas y vigas, calidad y resistencia del concreto, y evaluaciones en búsqueda de deformaciones y asentamientos.

Cabe destacar la importancia que tiene una oportuna evaluación de manera exhaustiva de las condiciones estructurales del edificio en cuestión, pues conlleva la seguridad de al menos mil personas entre estudiantes, docentes y trabajadores administrativos que a diario hacen uso de este inmueble.

1.1 Descripción del inmueble. - El inmueble se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, plantel Instituto Tecnológico de Tepic, con dirección Avenida Tecnológico #2595, Colonia Lagos del Country, Tepic, Nayarit., México. C.P. 63175.

Se tiene el registro que el edificio en cuestión se construyó en el año de 1976, lo cual representa una vida útil de 47 años al tiempo de las inspecciones.

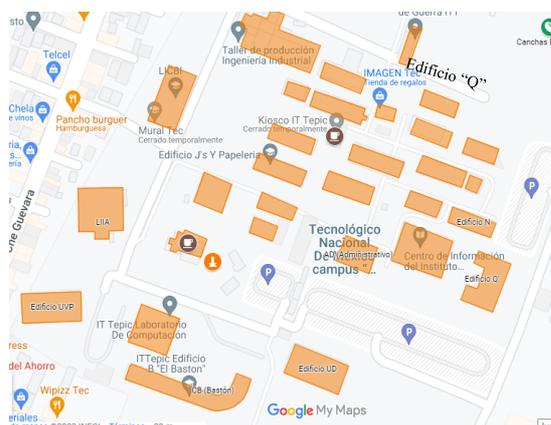


Figura I. Ubicación del edificio dentro de las instalaciones del I. T. Tepic

Figura II. Edificio Q.

Es una construcción de dos niveles, estructura prefabricada consistente en marcos rígidos de acero armado a base de placas en sección cajón, con claros longitudinales de 3.05 m, uno de 4.00 m para el entre eje de escalera y un claro transversal de 8.00 m con voladizos de 2.10 y 0.80 metros en planta baja para andador y marquesina, y de 2.10 metros en la azotea como marquesinas. Las secciones de columnas, traveses y cerramientos son de diseño especial, en cajas formadas con placas de acero de diversos calibres. En nodos, las uniones son soldadas en su perímetro a todo alrededor. Las columnas en su parte inferior se unen a los dados de concreto por medio de anclas y tuercas. La losa de entrepiso y la cubierta de azotea son losas llenas de concreto reforzado, en donde esta última es a dos aguas, con una ligera pendiente del 3%. Los muros son de mampostería de tabique de barro, los cuales actúan como divisorios.

El último registro de mantenimiento que se tiene del edificio fue en el año 2019. Dentro de los conceptos realizados se llevó a cabo la limpieza e impermeabilización de azotea, así como el cambio de puertas multipanel y el recubrimiento con pintura de elementos estructurales, muros divisorios y losa del edificio.

2. Metodología. - Para evaluar el estado estructural y físico del edificio, se realizaron una serie de actividades de revisión al interior y exterior del inmueble evaluando sus condiciones estructurales para conocer el estado real y valorar el grado de riesgo en el que se encontraba la edificación. Se revisó la estructura del edificio, losas, traveses, columnas, pisos y muros.

2.1 Verificación física ocular. - Por las características del método, se buscaron signos evidentes de daño, tales como deflexiones, pandeos, colapsos parciales, inclinaciones, caída de pretilas, agrietamientos severos, entre otros efectos

del envejecimiento del edificio. En adición, se buscaron evidencias de fallas y peligros geotécnicos, como agrietamiento del suelo, asentamientos o indicios de movimiento de laderas, como lo sugieren las normas técnicas de INIFED. [1]

Se identificó el edificio, y se inició con un recorrido alrededor de la estructura con el fin de identificar daños previos a simple vista, como muros con posibles inclinaciones o peligro de desprendimiento, examinando si existen discontinuidades verticales, signos de daño en muros de fachada, fisuras y grietas, deflexiones, asentamientos o emergencias en la cimentación.

En la inspección dentro del edificio se buscaban las zonas visibles del sistema estructural, en especial daños a columnas, traveses, muros y losas. Se buscaron evidencias de columnas deformadas, desplomadas o con signos de daño, incluyendo la verificación de signos de daño en marcos, como pandeo local, general o fallas de conexiones en la unión viga columna.

2.2 Deformación en losas de concreto. - Las deformaciones que se producen dentro de una losa de concreto están determinadas por las condiciones de apoyo y por la posición relativa entre el plano medio y la dirección de las cargas. [3], junto con las cuantías y posición del acero de refuerzo y la calidad del concreto, aunado al historial de cargas permanentes.

Para determinar las deformaciones de las losas de concreto se identificaron los puntos de apoyo de las losas y su plano de deformación. En este caso los tramos de losa estudiados eran losas rectangulares con un volado de 3.06 metros.

Por medio de una estación total marca Leica TS02 se registraron los niveles de las losas en sus apoyos y su parte central (Fig. III), para detectar su deflexión por diferencia de niveles.

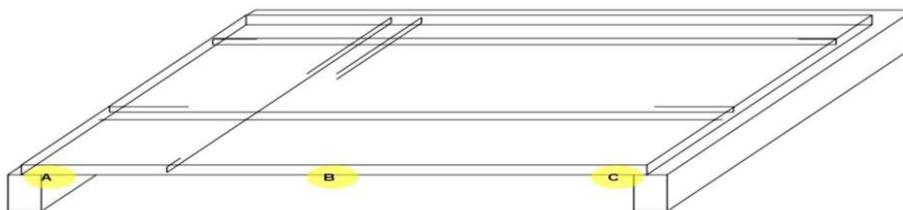


Figura III. Niveles de losa.

De acuerdo con la ACI 318S-05 referente a los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural se calcula la deflexión permisible, tomando en cuenta los criterios de la tabla de deflexión máxima admisible calculada. Utilizando la fórmula:

$$\frac{l}{240}$$

La cual refiere a un sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes, donde comprende la parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional).

Las losas presentan 306 centímetros de claro por lo que la deflexión máxima admisible presentada es:

$$\frac{l}{240} = \frac{306}{240} = 1.275cm$$

2.3 Asentamientos. - Para obtener un diagnóstico de asentamientos del edificio, se realizó un levantamiento topográfico donde se recabaron los niveles de diversos puntos representativos con el fin de buscar las diferencias entre ejes, los que se supone deberían encontrarse en la misma cota.

Se tomó a las columnas como punto referente para la toma de 3 diferentes niveles sobre estas, el primero a nivel de banqueta, el segundo en la axila que se genera en el entrepiso por el encuentro trabe columna y finalmente el tercero en la axila generada por trabe columna de la azotea (Fig. III). Este proceso se repitió en cada uno de los ejes de las columnas tanto en la parte frontal y posterior del edificio.

Al finalizar con la captura de datos se realizó un registro de diferencias de nivel entre los 3 diferentes grupos de cotas horizontales. Tomando en cuenta las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones de la Ciudad de México se observó que los hundimientos diferenciales no excedieran los 2 cm.

Como criterio final se realizó una relación de la distorsión diferencial tolerable la cual refiere a la inclinación que experimenta un elemento estructural, utilizando como permisible para marcos de acero y tomando en cuenta el número de pisos del edificio:

$$\text{Distorsión permisibles} = 0.006(1.255 - 0.0636n)$$

n= número de pisos

$$\text{Distorsión permisibles} = 0.006(1.255 - 0.0636 * 2) = 0.0068$$

Y las distorsiones se calcularon a partir de:

$$\text{Distorsión angular} = \frac{\text{Hundimiento diferencial}}{\text{Distancia entre cotas}}$$

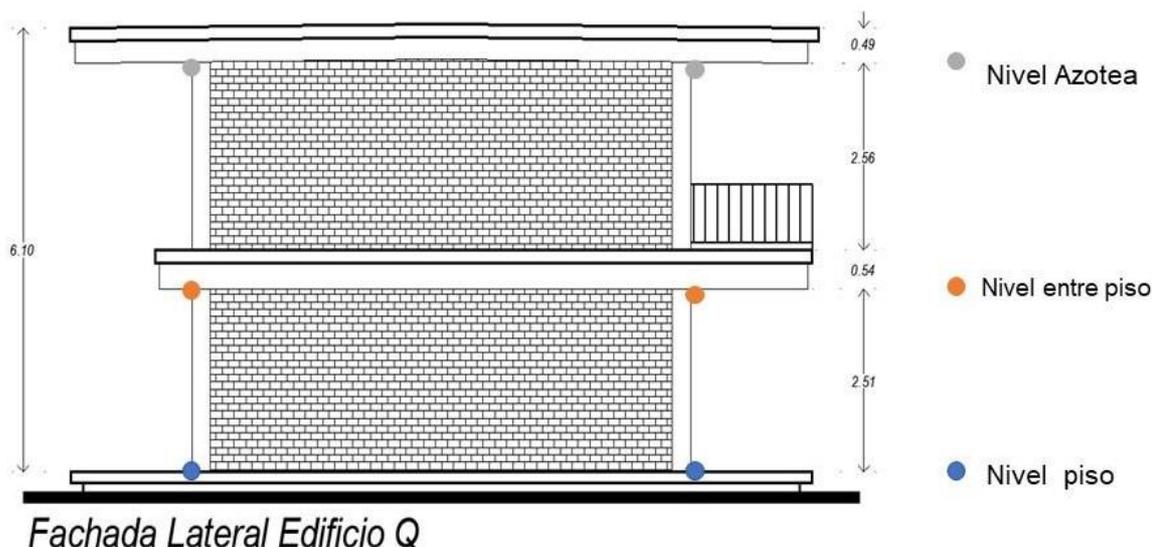


Figura IV. Cotas del edificio.

2.4 Resistencia del concreto. - A partir de la norma ASTM C42, se extrajeron dos núcleos de concreto (muestras, núcleos o corazones) directamente de la losa de entrepiso a través de un equipo de extracción mediante una broca hueca con borde diamantado, las muestras extraídas fueron dos cilindros con 20 centímetros de altura y cuatro pulgadas de diámetro.

Se determinó mediante el apoyo de pruebas de laboratorio la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$), de acuerdo con la norma ASTM C39, este método de ensayo consistió en la aplicación de una carga de compresión uniaxial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada (0.25 ± 0.05 MPa/s).

La máquina de ensayo se equipó con dos bloques de carga de acero, con caras endurecidas, una de las cuales es un bloque con asiento esférico y se apoyó en la parte superior del espécimen, y la otra fue un bloque sólido en el cual descansa el espécimen. Las caras de carga de los bloques tienen una dimensión mínima al menos 3 % mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Se cabecearon las dos caras de los corazones con un mortero de azufre fundido nivelado y perpendicular al eje del espécimen.

Durante la compresión se aplicó carga continuamente y sin impacto, hasta que el espécimen falló. Se tomó nota de la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, detectando tipo de falla y apariencia del concreto, para después realizar los cálculos necesarios para obtener el esfuerzo resistente a compresión de los especímenes a través de la relación de carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo entre el área de la sección transversal promedio determinada.



Figura V. Ensayo del primer espécimen.



Figura VI. Ensayo del segundo espécimen.

2.5 Carbonatación del concreto. - Se realizaron pruebas químicas al concreto hidráulico de la losa de entrepiso, en base a la NMX-C-515-ONNCCE-2016 se utilizó fenolftaleína al 1% en alcohol con el objetivo de determinar la calidad del concreto de las losas de entrepiso. La carbonatación en el concreto determina la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto; dicho fenómeno puede causar problemas de corrosión del refuerzo incluso en un concreto de alta calidad. El ensayo consiste en aplicar el indicador a la superficie de la muestra de concreto, y dejar secar unos minutos, para posteriormente determinar la profundidad de la carbonatación. La reacción que se produce al entrar en contacto la fenolftaleína con el concreto es una coloración rosa oscura cuando está en presencia de un medio básico o de PH alto.



Figura VII. Muestras de concreto



Figura VIII. Solución de fenolftaleína

La prueba del indicador de fenolftaleína es recomendada sólo para establecer un estimado de la profundidad que ha alcanzado la carbonatación. Para llegar a una confirmación de este alcance es preciso la microscopía óptica o bien, la microscopía electrónica, incluso a profundidades superiores a las que evidencia la prueba cualitativa de la fenolftaleína. A través del microscopio se reconoce el fenómeno de carbonatación en el concreto por la presencia de cristales de calcita, y la ausencia de hidróxido de calcio, etringita y granos de cemento deshidratados. Cabe decir que la prueba del indicador de fenolftaleína resulta muy útil como un medio de hacer una evaluación inicial de la presencia de carbonatación en el concreto; es rápida, fácil de ejecutar y ampliamente utilizada en la actualidad. Algunas investigaciones sugieren que en el caso de un concreto más poroso y permeable, en cuya mezcla se haya utilizado una elevada relación agua/cemento, el fenómeno de la carbonatación puede presentarse a razón de hasta 5 mm por año [6]. La parte que toma el color rosáceo no está carbonatada, en cambio la zona que no cambia de color está invadida de carbono.



Figura IX. Aplicación de fenolftaleína al 1% en alcohol en muestras de concreto.

2.6 Oxidación por diferencia de pesos. - Para determinar el daño que se tenía en el acero de refuerzo, en este caso varillas de 3/8" de diámetro (0.95 cm); se obtuvieron muestras de varillas provenientes del concreto armado de la edificación. Se clasificaron a simple vista en varillas sanas (que son las que no contaban con un porcentaje elevado de óxido), y varillas con óxido (varillas oxidadas). Posterior a esto se cortaron en longitudes de 21.43 y 21.8 cm cada una, 9 probetas de acero de varillas sanas y 9 de varillas oxidadas, para un total de 18. Seguido a esto, se obtuvieron los pesos de ambas clasificaciones teniendo así que las varillas sanas pesaban 1,069.7 gr, mientras que las varillas corroídas tuvieron un peso de 1,089.3 gr.

Se dejaron, posteriormente, en una solución de vinagre con bicarbonato sódico por un periodo aproximado de 72 horas con el objetivo de remover la capa corroída de la varilla. Transcurrido ese tiempo, se sacaron las probetas para lavarlas, secarlas y se limpiaron con un cepillo de alambre para retirar el óxido de cada una hasta dejar metal blanco. Una vez terminado el proceso anterior, se volvieron a obtener los pesos de ambas clasificaciones para así determinar el porcentaje en la diferencia de peso.



Figura X. Recolección de muestras de varillas.



Figura XI. Corte y preparación de probetas.



Figura XII. Probetas sumergidas en la solución.



Figura XIII. Limpieza de las probetas



Figura XIV. Clasificación de probetas limpias



Figura XV. Pesaje final de las probetas limpias.

2.7 Sanidad de las soldaduras. - Se empleó la técnica de inspección por el método de líquidos penetrantes con base a la norma AWS D1.1 – 20, para verificación de sanidad de las soldaduras entre traveses y columnas del edificio. La inspección por líquidos penetrantes (PT) es una técnica versátil y de simple aplicación para una gran variedad de materiales y diseños que permite localizar defectos o grietas superficiales. El método se basa en los principios básicos de la acción capilar, y la capacidad de humectación de un líquido de baja viscosidad, propiedades que permiten que éste penetre por hendiduras o grietas imperceptibles a la vista para resaltarlas y evidenciarlas. [2].

Para ello se limpió la superficie a inspeccionar, para liberar de impurezas, polvo, pinturas, recubrimientos, residuos de material, grasas y cualquier otro tipo de sustancia o material que pudiera interferir en la evaluación. Posteriormente se aplicó el líquido penetrante en forma directa sobre la superficie que se desea evaluar. La dosificación se realizó con una brocha o rociado según la zona a aplicar. Una vez aplicado el líquido penetrante, fue necesario dar tiempo para que se infiltre en las grietas e imperfecciones. El tiempo típico fue de hasta 3 horas.



Figura XVI. Soldaduras limpias.

Se procedió a retirar o limpiar de la superficie de la pieza todo el excedente del líquido penetrante, con el fin de evidenciar lo que llegó a infiltrarse por las grietas o defectos. La remoción debe ser antes de que el penetrante seque, pues de lo contrario no va a actuar el revelador, volviéndose necesario reiniciar todo el proceso. [2]

Enseguida se aplica el revelador el cual permaneció sobre la superficie el mismo tiempo que el penetrante, con el objetivo de reaccionar con el líquido penetrante (únicamente presente en las grietas o defectos) para colorear y resaltar las áreas en las que éste se encuentre, es decir, en las que hubo infiltración.

Una vez concluida una inspección con líquidos penetrantes, se limpió la superficie ya que éstos tienden a retener humedad, incrementando el riesgo de corrosión, o bien afectando el uso posterior de la pieza.

Podemos resaltar a manera de resumen que en algunos parámetros obtenidos después de haber realizado las pruebas anteriormente citadas y compararlas con los criterios admisibles, se observa que, por ejemplo, que las de deformaciones de algunas losas de entrepiso son mayores que las permisibles por las normas, asimismo, los asentamientos en algunos de los apoyos apenas cumplen con las normativas aplicables. En relación a la calidad o resistencia a la compresión del concreto hidráulico de la losa de entrepiso, los resultados obtenidos manifestaron que estas son menores a los de las normas aplicables. Estos son los hallazgos más relevantes encontrados.

3. Resultados. - Después de realizar los trabajos descritos, se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1 Deformación en losas de concreto. –

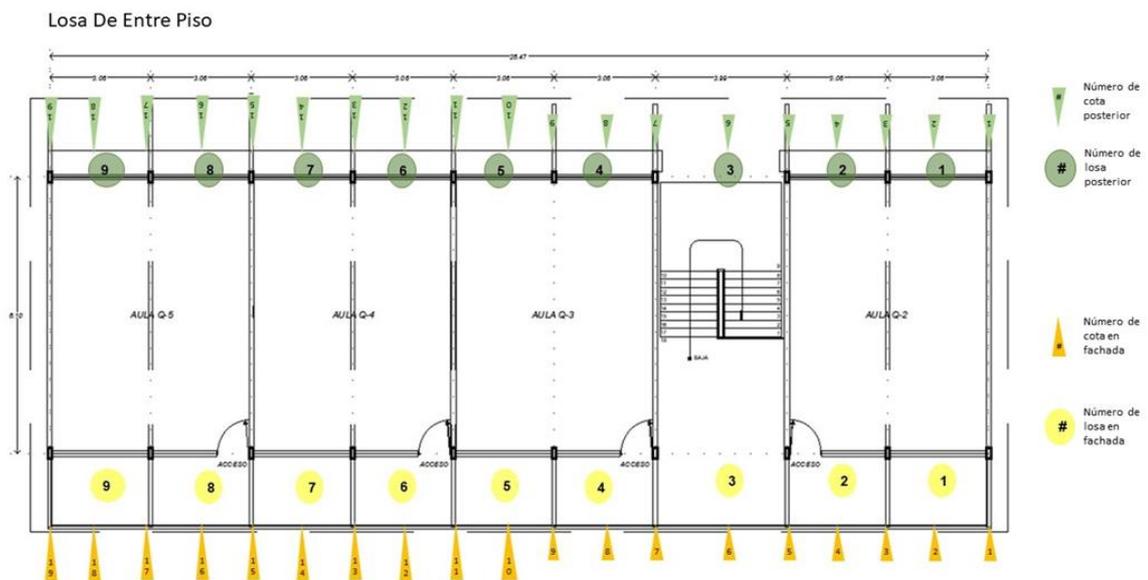


Figura XVII. Ubicación en planta de los puntos de niveles.

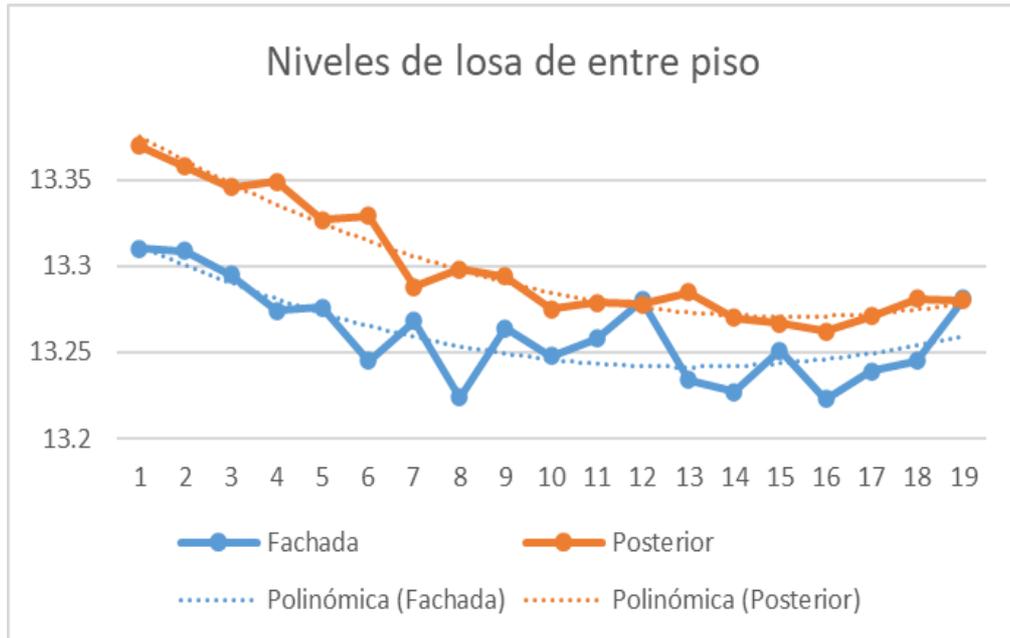


Figura XVIII. Detallado de los niveles de losa detectados

En la siguiente tabla se muestran las diferencias entre el nivel en los apoyos y el centro de la losa representado en metros, el dato superior representando la diferencia respecto al apoyo derecho y el dato inferior la diferencia respecto al apoyo izquierdo, y se marca a los que superan los 0.01275 metros.

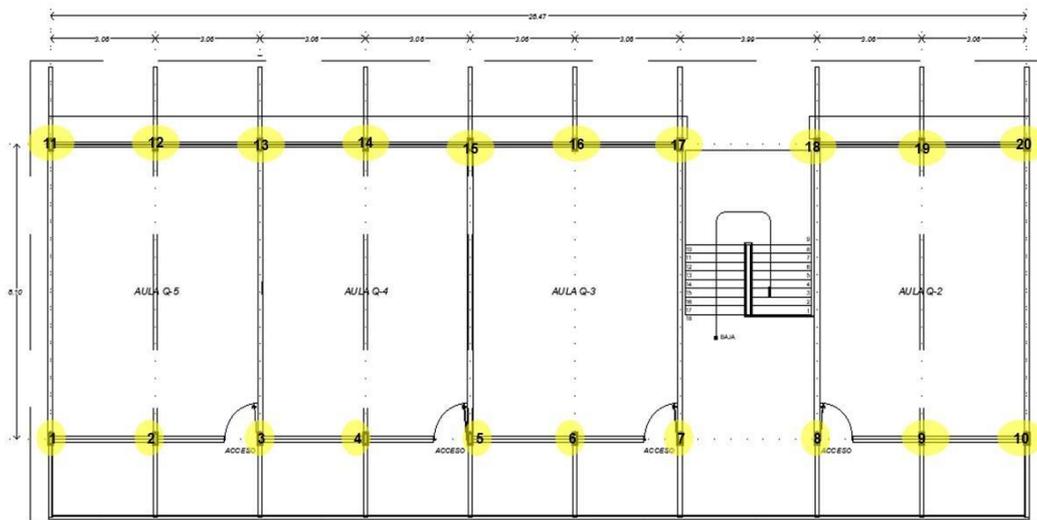
NIVEL DE COTAS (m)			
Número	Fachada	Posterior	
LOSA 1	1	13.31	13.37
	2	13.309	13.358
	3	13.295	13.346
LOSA 2	4	13.274	13.349
	5	13.276	13.327
LOSA 3	6	13.245	13.329
	7	13.268	13.288
LOSA 4	8	13.224	13.298
	9	13.264	13.294
LOSA 5	10	13.248	13.275
	11	13.258	13.279
LOSA 6	12	13.28	13.278
	13	13.234	13.285
LOSA 7	14	13.227	13.27
	15	13.251	13.267
LOSA 8	16	13.223	13.262
	17	13.239	13.271
LOSA 9	18	13.245	13.281
	19	13.281	13.28

Tabla I. Nivel de cotas de cada losa considerada.

Diferencia entre cota de apoyo al centro de losa (m)		
No. De losa	Fachada	Posterior
LOSA 1	0.001	0.012
	-0.014	-0.012
LOSA 2	0.021	-0.003
	0.002	-0.022
LOSA 3	0.031	-0.002
	0.023	-0.041
LOSA 4	0.044	-0.01
	0.04	-0.004
LOSA 5	0.016	0.019
	0.01	0.004
LOSA 6	-0.022	0.001
	-0.046	0.007
LOSA 7	0.007	0.015
	0.024	-0.003
LOSA 8	0.028	0.005
	0.016	0.009
LOSA 9	-0.006	-0.01
	0.036	-0.001

Tabla II. Diferencias entre el nivel en los apoyos y el centro de la losa.

3.2 Asentamientos. -



Planta Arquitectónica Alta Edificio Q

Figura XIX. Localización en planta de los puntos de nivelación de la losa

Niveles del edificio			
FRONTAL			
	A	B	C
1	1585.2	1274.1	1027
2	1583.3	1269.3	1027.8
3	1582.1	1270.2	1023.8
4	1578.8	1265.7	1022.7
5	1578.6	1266	1022
6	1579.3	1264.6	1020.9
7	1580.5	1264.6	1018.3
8	1578.5	1262.3	1018.1
9	1577.5	1263.1	1017.6
10		1261.2	1017.7

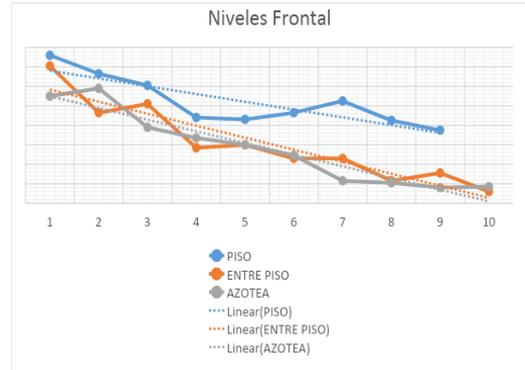


Figura XX. Cotas de la losa en la parte frontal del edificio

Niveles del edificio			
POSTERIOR			
	A	B	C
11	1590.1	1275.8	1039.1
12	1588.8	1276.6	1037.8
13	1588.2	1276.4	1037.1
14	1584.9	1269.3	1035.6
15	1588.3	1270.7	1037.4
16	1585	1269.8	1030.7
17	1584.8	1269.1	1029
18	1583.6	1266.5	1028.7
19	1584.3	1268.5	1029.5
20	1583.6	1265.4	1030

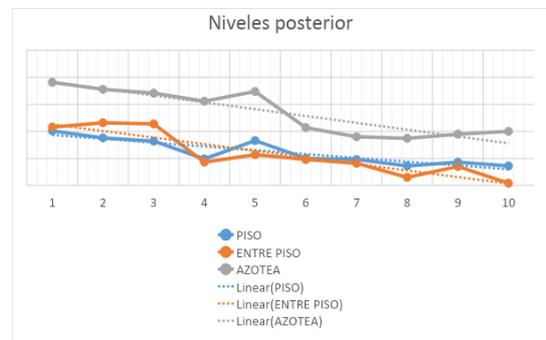


Figura XXI. Cotas de la losa en la parte posterior del edificio

Diferencias en niveles de fachada			
COTAS	PISO	ENTRE PISO	AZOTEA
1--2	1.9	4.8	0.8
2--3	1.2	0.9	4
3--4	3.3	4.5	1.1
4--5	0.2	0.3	0.7
5--6	0.7	1.4	1.1
6--7	1.2	0	2.6
7--8	2	2.3	0.2
8--9	1	0.8	0.5
9--10		1.9	0.1

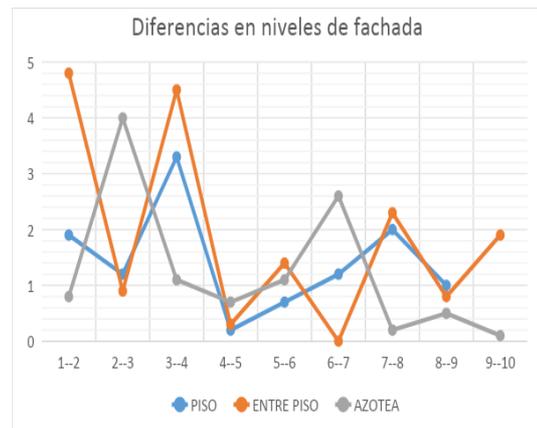


Figura XXII. Hundimiento diferencial en niveles frontales del edificio (en centímetros)

Diferencias en niveles en posterior			
COTAS	PISO	ENTRE PISO	AZOTEA
11--12	1.3	0.8	1.3
12--13	0.6	0.2	0.7
13--14	3.3	7.1	1.5
14--15	3.4	1.4	1.8
15--16	3.3	0.9	6.7
16--17	0.2	0.7	1.7
17--18	1.2	2.6	0.3
18--19	0.7	2	0.8
19--20	0.7	3.1	0.5

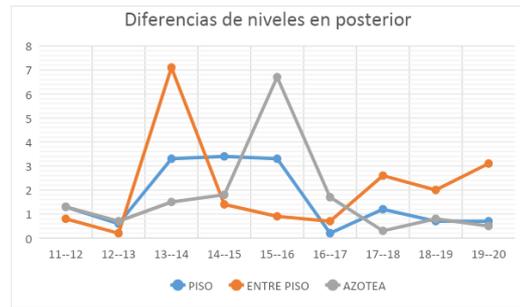


Figura XXIII. Hundimientos diferenciales en niveles posteriores del edificio (en centímetros)

Distorsión angular de niveles frontales			
COTAS	PISO	ENTRE PISO	AZOTEA
1--2	0.00620915	0.01568627	0.00261438
2--3	0.00392157	0.00294118	0.0130719
3--4	0.01078431	0.01470588	0.00359477
4--5	0.00065359	0.00098039	0.00228758
5--6	0.00228758	0.00457516	0.00359477
6--7	0.00392157	0	0.00849673
7--8	0.00501253	0.00576441	0.00050125
8--9	0.00326797	0.00261438	0.00163399
9--10	0	0.00620915	0.0003268

Distorsión angular de niveles posteriores			
COTAS	PISO	ENTRE PISO	AZOTEA
11--12	0.00424837	0.00261438	0.00424837
12--13	0.00196078	0.00065359	0.00228758
13--14	0.01078431	0.02320261	0.00490196
14--15	0.01111111	0.00457516	0.00588235
15--16	0.01078431	0.00294118	0.02189542
16--17	0.00065359	0.00228758	0.00555556
17--18	0.00300752	0.00651629	0.00075188
18--19	0.00228758	0.00653595	0.00261438
19--20	0.00228758	0.01013072	0.00163399

Figura XXIV. Distorsión angular en niveles frontal y posterior del edificio

3.3 Resistencia del concreto. - En el primer núcleo, corazón o muestra resultó de 174.42 kg/cm² y el segundo de 137.35 kg/cm², muy por debajo de lo que estipula la norma que es de un mínimo de 250 kg/cm².



Figura XXV. Ensaye de 1er espécimen dando una resistencia de 174.42 kg/cm²

Figura XXVI. Ensaye de 2do espécimen dando una resistencia de 137.35 kg/cm²

3.4 Carbonatación del concreto. - Los fragmentos de muestra más representativos fueron los que tenían el espesor de la losa completos y presentaron lo siguiente:

3.4.1 Muestra 1. - Este fragmento pertenece a un cilindro extraído de la losa de entrapiso del salón Q5 del edificio el cual contaba con una losa llena de 16 centímetros de espesor.

La muestra logra rescatar 13 centímetros de la losa y se muestra que en su parte central 9 centímetros presentan coloración rosácea lo que nos indica que esta zona no se encuentra carbonatada.



Figura XXVII. Muestra 1 de concreto, estudio de carbonatación.

3.4.2 Muestra 2. - Este fragmento pertenece a un cilindro extraído de la losa del pasillo de entrapiso del salón Q2 del edificio el cual contaba con una losa llena de 10 centímetros de espesor.

La muestra de la losa se rescató en su espesor total y se muestra que en su parte central 7.5 centímetros presentan coloración rosácea lo que nos indica que esta zona no se encuentra carbonatada.

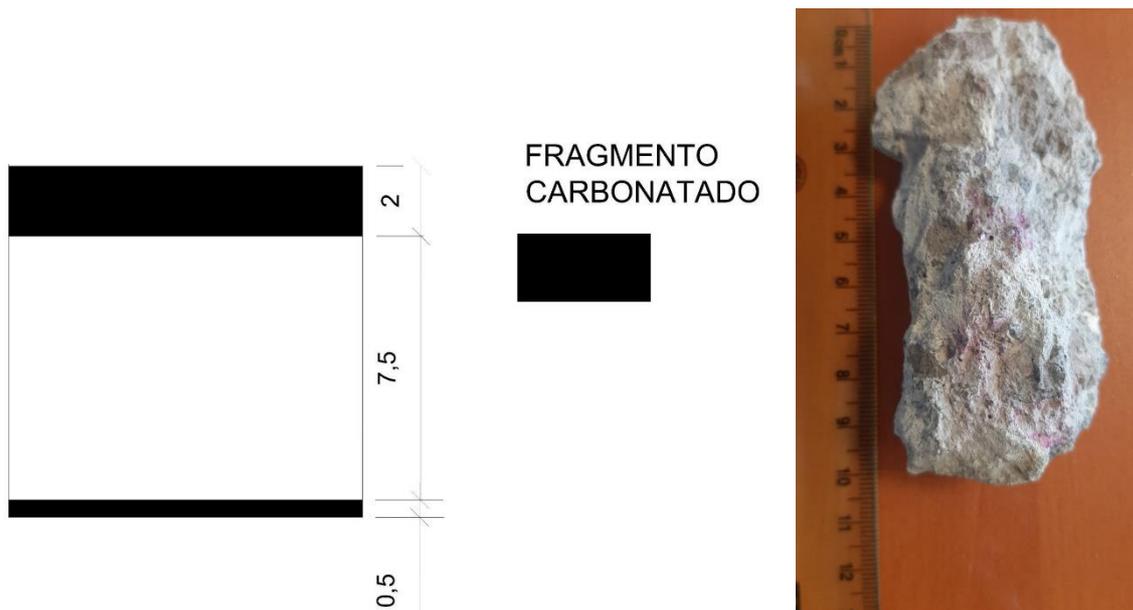


Figura XXVIII. Muestra 2 de concreto, estudio de carbonatación.

3.5 Oxidación por diferencia de pesos. - Dentro de la tabla 1.1 se puede observar la diferencia de pesos presentada en cada conjunto de muestras. Las varillas que se presentaban con óxido perdieron un 2.27% de pérdida de peso, mientras las varillas más sanas solo un 0.22% de pérdida.

Peso total de las probetas	
Varillas sin óxido (sanas)	
Antes de remoción de óxido	1069.7 gr
Después de la remoción de óxido	1067.3 gr
Diferencia	2.4 gr
Varillas con óxido	
Antes de la remoción de óxido	1089.3 gr
Después de la remoción de óxido	1064.6 gr
Diferencia	24.7 gr

Tabla III. Pérdida de peso por oxidación.

3.6 Sanidad de las soldaduras. - Se aprecia aplicación de soldadura de manera irregular, así como áreas con defectos de soldadura tales como: socavación, falta de fusión y cráteres, esto posiblemente por la inadecuada calibración de maquinaria y/o habilidad del soldador. Dichos defectos se presentan de manera general en todos los cordones de soldadura aplicada en conexiones existentes entre traves y columnas.

Se presentan áreas en las cuales se omitió la aplicación de soldadura, esto de manera general en las que se encuentran los marcos de ventanas en conexiones entre traves y columnas. Cabe mencionar que este laboratorio desconoce el motivo de dicha omisión de soldadura, puesto que la misma no obstruía ni generaba problemas para el injerto de dichos marcos de ventana.

Se observan áreas en las cuales se encuentran residuos de material, esto posiblemente por elementos los cuales fueron utilizados como provisionales para el izaje o montaje de los elementos estructurales.

Se presentan áreas en las cuales existen principios de oxidación de material base.

Las áreas mencionadas con anterioridad fueron señaladas físicamente por el laboratorio “Cárdenas Inspectores en Soldaduras” ubicada en Guadalajara, Jalisco, la cual notificó al personal correspondiente quedando de manera pendiente su reparación.

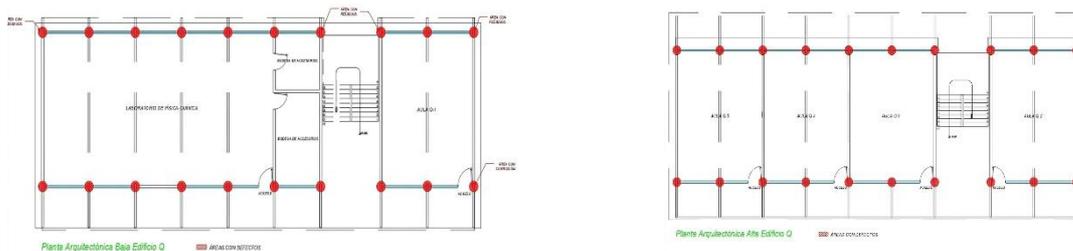


Figura XXIX. Plantas arquitectónicas del edificio Q.

4. Conclusiones. –

4.1 Deformación de las losas. - La mayoría de las losas del pasillo de la fachada, es decir de la losa de entrepiso, superan la deformación máxima permisible en la losa. Esto se podía observar a simple vista en el edificio y se verificó con los resultados de diferencia de niveles entre sus apoyos y el centro de losa. Es notoria la presencia de deflexiones positivas en el centro de la marquesina posterior del entrepiso, pues al ser tan corto el voladizo, adyacente a un tablero grande, los efectos hiperestáticos se alcanzaron a manifestar en varios entre ejes.

Todo esto no sólo representa un impacto en la estética del edificio, pues además de afectar la funcionalidad por la apreciación de los usuarios, tanto de la deformación como de la flexibilidad, se reduce la reserva de capacidad estructural.

Se puede deducir que el tiempo de vida de la estructura estaba en su límite de seguridad, ya que las deformaciones observadas hacen inferir que el material usado ya había cumplido su utilidad, lo que originó que se perdiera la confiabilidad estructural del edificio. Al ser un plantel educativo, usado por un gran número de jóvenes durante todo el día, no era posible tomar el riesgo de seguir usando el edificio de manera segura.

4.2 Asentamientos. - Más notorio que las deformaciones de las losas de tablero a tablero, es la distribución de los niveles de la estructura del edificio. Las cotas tanto de piso en planta baja, como de la estructura en primero y segundo piso, confirman una tendencia de asentamientos totales crecientes de izquierda a derecha.

En cuanto a los asentamientos diferenciales, se evaluaron las diferencias entre los niveles de las cotas citadas tomando en cuenta que no sobrepasan los 2 cm de diferencias entre ellas y se corroboró por medio de la distorsión angular que esta irregularidad se presentaba en las mismas cotas, este fenómeno es perceptible en las cotas 3-4 y 13-14 las cuales se encuentran en el mismo eje transversal y presentan la mayor distorsión angular.

4.3 Resistencia del concreto. - Los dos especímenes de concreto se encontraron por debajo de los resultados esperados y al ser un parámetro crítico en la estructura ve reducida, aunque de manera local, la seguridad e integridad del edificio. La resistencia actual del concreto es muy baja, reduciendo la capacidad de carga de las losas, poniendo en peligro la seguridad de los usuarios y las actividades que se realizan en la estructura. Además de que es un indicador de ser más propenso a la corrosión, la erosión y otros tipos de deterioro, lo que reduce la vida útil de la estructura.

4.4 Carbonatación. - Se concluye que existe carbonatación de las capas superficiales superior e inferior de la losa en espesor variable entre 25% y 44% de su espesor, deteriorando la capacidad pasivadora de la corrosión del acero de refuerzo por el concreto.

En suma, la baja resistencia del concreto, la potencial corrosión del acero estructural dentro del concreto que ya se ha iniciado conlleva a la aparición de fisuras y grietas, pérdida de adherencia entre concreto y refuerzo, concluyendo en la reducción de la vida útil, integridad y seguridad de la losa.

4.5 Oxidación del acero de refuerzo estructural. - Las varillas con óxido experimentaron una pérdida de peso del 2.27%, mientras que las varillas en mejores condiciones solo mostraron una pérdida del 0.22%. Esta diferencia sugiere que el óxido presente en las varillas afecta negativamente su peso, su sección transversal y su integridad estructural. Estos hallazgos indican la importancia de mantener protegida la estructura y monitorear periódicamente las varillas, tomar acciones para prevenir problemas relacionados con la corrosión, garantizar su rendimiento y seguridad a largo plazo.

4.6 Sanidad de las soldaduras. - En resumen, se han identificado varios problemas en las conexiones existentes entre trabes y columnas en relación con la soldadura y la integridad estructural en un sitio o estructura. Estos problemas incluyen, soldadura irregular y defectuosa, estos problemas pueden deberse a una inadecuada calibración de maquinaria y/o a la falta de habilidad por parte del soldador durante el proceso constructivo; también la omisión de soldadura en algunas áreas, aunque se ha señalado que no obstruía ni generaba problemas para el montaje de los marcos de ventana; así como residuos de material por elementos provisionales, lo que en conjunto puede afectar la integridad de la estructura. Por último, se presentaron principios de corrosión en el metal base, lo que es preocupante, ya que la corrosión puede comprometer la resistencia estructural del conjunto con el tiempo.

Es importante abordar estos problemas de manera adecuada para garantizar la seguridad y la integridad estructural a largo plazo.

4.7 Conclusión General. - En general, y de acuerdo con las conclusiones de cada una de las secciones de este estudio, se propone demoler todas las losas de entrepiso y azotea, y en virtud de que los muros divisorios están desplantados sobre la primera, demolerlos igualmente para posteriormente complementar los cordones de soldadura interrumpidos en la estructura de acero y colar nuevas losas, desplantando sobre ellas los muros divisorios.

El deterioro de las estructuras puede ser acelerado por factores como la falta de mantenimiento y la exposición a cargas excesivas, por lo que es importante que se realice un mantenimiento regular y adecuado de la estructura para prevenir el envejecimiento y detectar cualquier problema temprano.

En base a la norma NMX-R-079-SCFI-2015, relativa a los requisitos de seguridad estructural de la infraestructura física educativa, no se cumplen los que deben considerarse para evaluar la seguridad estructural de una edificación como la deformabilidad, los defectos e irregularidades en la estructura y la cimentación, así como el riesgo inherente a su ubicación, la calidad del mantenimiento y el uso para el cuál esté destinado.

Además, el mantenimiento adecuado no sólo conserva la estética del edificio, sino que también garantiza su seguridad. La inversión en mantenimiento es una inversión en el futuro del edificio. Al realizar acciones preventivas y correctivas, se prolonga la vida útil de los materiales, se reduce la necesidad de reemplazos completos y se minimizan los costos a largo plazo.

El edificio Q no cumple con lo establecido en la norma NMX-R-021-SCFI-2013 [4], relativa a los requisitos de calidad de la infraestructura física educativa, y en particular al capítulo 9 sección E sobre los daños en elementos estructurales: asentamientos totales, asentamientos diferenciales, corrosión del acero estructural en perfiles y en acero de refuerzo del concreto armado, deflexiones y vibración en losas, concreto de baja resistencia.

El Volumen 7 Tomo 2 del INIFE se refiere a la conservación de estructuras, aborda aspectos relacionados con la conservación y mantenimiento de estructuras, incluyendo las de acero, en el contexto de la infraestructura educativa. En última instancia, la decisión de demoler y construir un nuevo edificio depende de una evaluación completa de factores financieros, técnicos, de seguridad y funcionales, así como de las regulaciones locales y las necesidades del entorno en el que se encuentra el edificio.

Como resultado de los trabajos realizados durante la inspección y realización de diversos estudios y pruebas aplicados a los diferentes elementos estructurales del edificio citado, por parte de las autoridades responsables de la infraestructura educativa de los inmuebles del sector público y por parte de los participantes especialistas en estructuras, asimismo, debido a factores como el deterioro evidente debido a la edad y además de otros como los climatológicos, se concluyó que la estructura de acero no cumplía con las normativas actuales y representaba un riesgo para la seguridad de los usuarios como estudiantes, docentes y personal administrativo.

Por esta razón, se tomó la decisión de demoler completamente la estructura existente y construir un nuevo edificio con las mismas características arquitectónicas, pero cumpliendo las normativas actuales de construcción y estructuración, en su posición original. Esta medida garantizará que el nuevo edificio cumpla con las normativas vigentes, brindando un entorno seguro para los ocupantes y minimizando cualquier riesgo potencial asociado con la estructura anterior.

Responsable del estudio

M.C. Fernando Aguirre Camacho.

Colaboradores

M.I. Fernando Treviño Montemayor, M.C. Carlos Alberto Hoyos Castellanos, Ing. Martín Eduardo García Avilanes,

Alumnos participantes

Noelia Ortega Bobadilla, Karen Guadalupe Montaña Pelayo, Jonatan Rodríguez Nonato, Estudiantes de Ingeniería Civil del TecNM Instituto Tecnológico de Tepic

Referencias

- [1] Alcocer Martínez de Castro, S. M., Valencia Ronquillo, G. A., & Bautista Monroy, R. (2021). Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México Volumen 1: Metodología. *Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa, en Liquidación*, 95-104. Obtenido de https://www.inifed.gob.mx/tecnica/tiv/Evaluacion_Metodologia_VF_DIGITAL_130221.pdf
- [2] Carrión Viramontes, F. J., Lomelí González, M. G., Quintana Rodríguez, J. A., & Martínez Madrid, M. (2003). La evaluación no destructiva de materiales estructurales y puentes. (C. y. Secretaría de Infraestructura, Ed.) (Publicación Técnica no. 231), 44-52. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt231.pdf>
- [3] Schinca, J., Lassus, O., & Fernández, M. (2007). Estabilidad de las construcciones III Losas 1, Casos de losas aisladas. 17-20.
- [4] Secretaría de Economía. (2013). NMX-R-021-SCFI-2013 Escuelas - Calidad de la Infraestructura Física Educativa - Requisitos. México, Mpxico. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104914/NMX-R-021_Calidad_de_la_INFE_requisitos.pdf
- [5] Universidad Tecnológica de la Mixteca. (2014). Planeación de la Vida Útil en Proyectos Arquitectónicos. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 18(53), 53-58. Obtenido de https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas53/index.html
- [6] Vidaud, I. y. (2012). La carbonatación en el concreto reforzado. *Construcción y Tecnología en concreto*, 20-23. Obtenido de <https://www.imcyc.com/revistacyt/enero2013/pdfs/ingenieria.pdf>

Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

FAC ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

FTM ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

CAHC ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

MEGA ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota de aceptación: Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.