Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

# TÉCNICAS DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL FORENSE PARA IDENTIFICAR CAUSAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UN EDIFICIO EDUCATIVO EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

## FORENSIC STRUCTURAL ENGINEERING TECHNIQUES TO IDENTIFY CAUSES OF SEISMIC VULNERABILITY OF AN EDUCATIONAL BUILDING IN THE STATE OF GUERRERO, MEXICO

**Daniela Vázquez Adán**
Universidad Autónoma de Guerrero

**Christian Hernández Ruiz**
Universidad Autónoma de Guerrero

**Severino Feliciano Morales**
Universidad Autónoma de Guerrero

**Alfredo Cuevas Sandoval**
Universidad Autónoma de Guerrero

**Joaquín Hernández Rodríguez**
Universidad Autónoma de Guerrero

**Odilon Franki Ramirez Onofre**
Universidad Autónoma de Guerrero

**DOI:** https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17213

# Técnicas de ingeniería estructural forense para identificar causas de vulnerabilidad sísmica de un Edificio Educativo en el Estado de Guerrero, México

**Daniela Vázquez Adán**[1]
14420830@uagro.mx
https://orcid.org/0009-0003-9849-8969
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**Christian Hernández Ruiz**
18909@uagro.mx
https://orcid.org/0009-0001-0892-9960
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**Severino Feliciano Morales**
09552@uagro.mx
https://orcid.org/0000-0002-3257-002X
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**Alfredo Cuevas Sandoval**
08721@uagro.mx
https://orcid.org/0000-0001-5829-7546
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**Joaquín Hernández Rodríguez**
13208@uagro.mx
https://orcid.org/0009-0005-4617-6823
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**Odilon Franki Ramirez Onofre**
16256250@uagro.mx
https://orcid.org/0000-0003-4330-4816
Universidad Autónoma de Guerrero
Facultad de Ingeniería
México

**RESUMEN**
Este trabajo se enfoca en el estudio de caso de un edificio educativo, el Edificio denominado "C" que pertenece a la Unidad Académica de Derecho de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), ubicado en Av. Lázaro Cárdenas S/N, Ciudad Universitaria Sur, Chilpancingo, Gro. Tras los acontecimientos sísmicos de los días 19 y 7 de septiembre del 2017 y 2021 respectivamente, personal calificado de la Coordinación General de Infraestructura (UAGro) y la Coordinación de Protección Civil (UAGro), realizaron una evaluación para determinar el nivel de daño de la estructura. Una vez conociendo los resultados de dicha evaluación, se tomó la decisión de demoler y reconstruir el edificio escolar, contemplando que se descartó el riesgo por colapso inmediato. El presente artículo aborda la línea de investigación de ingeniería estructural forense que comprende los antecedentes, descripción del evento, análisis de las causas que originaron el problema (vulnerabilidad) y la conclusión, tomando la decisión derivada de un exhaustivo análisis de los resultados obtenidos. El objetivo de esta investigación se centra en conocer las causas y factores que propiciaron y contribuyeron a la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura física de esta obra civil.

***Palabras clave:*** Ingeniería estructural forense, estructura, evaluación postsísmica, vulnerabilidad

[1] Autor principal
Correspondencia: 14420830@uagro.mx

# Forensic structural engineering techniques to identify causes of seismic vulnerability of an educational building in the State of Guerrero, Mexico

**ABSTRACT**

This work focuses on the case study of an educational building, the building called "C" that belongs to the Academic Unit of Law of the Autonomous University of Guerrero (UAGro), located at Av. Lázaro Cárdenas S/N, Ciudad Universitaria Sur, Chilpancingo, Gro. After the seismic events of September 19 and 7, 2017 and 2021 respectively, qualified personnel from the General Coordination of Infrastructure of the UAGro and the Coordination of Civil Protection conducted an assessment to determine the level of damage to the structure. Once the results of this assessment are known, the decision was made to demolish and rebuild the school building, contemplating that the risk of immediate collapse was ruled out. This article deals with the research line of the forensic structural engineer that includes the background, problem statement, analysis of the causes that originated it and the conclusion, taking the decision derived from an exhaustive analysis of the results obtained. The purpose of this research focuses on knowing the causes and factors that led to and contributed to the seismic vulnerability of the building physical infrastructure.

***Keywords:*** forensic structural engineering, structure, postseismic assessment, vulnerability

*Artículo recibido 13 marzo 2025*

*Aceptado para publicación: 19 abril 2025*

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería estructural forense se ha considerado como una disciplina derivada de la ingeniería civil, que mediante una metodología de investigación con enfoque estructural busca entender mejor las causas que dieron origen a un estado límite de falla o de servicio en una infraestructura.

Según Sánchez (2012), la ingeniería estructural forense es una ciencia que se encarga del estudio de siniestros asociados a los accidentes, crímenes, catástrofes, fallos en la degradación de bienes y pérdidas humanas. El estudio se basa en la aplicación de la crítica y el saber tecnológico mediante la investigación visual y objetiva de los actores que intervienen en un suceso causante de daños, haciendo uso del método científico, normativa y el conocimiento técnico, para la investigación de los siniestros y deliberación de la causa raíz.

Tomando en cuenta que los factores que propician el estado límite de una estructura, pueden estar presentes en cualquiera de las fases de un proyecto de construcción: planificación, construcción, operación y mantenimiento, existe la necesidad de realizar diligentemente cada una de las etapas anteriores para que la edificación pueda ofrecer seguridad, funcionalidad y comodidad a sus usuarios, de lo contrario, si no se ejecutan correctamente cada una de las etapas, se harán presentes los factores de riesgo que conducen a la vulnerabilidad de la estructura y pone en peligro a las personas que hacen uso del edificio.

El presente artículo aborda la perspectiva del trabajo que realiza un ingeniero forense a través de una investigación descriptiva y exploratoria aplicada al estudio de caso del Edificio “C” de la Facultad de Derecho en la UAGro, que fue afectada por acciones sísmicas y que posteriormente fue sometida a una evaluación postsísmica, cuyos resultados precisaron demoler y reconstruir el edificio.

Cabe mencionar que esta investigación fue apoyada por la Coordinación General de Infraestructura de la UAGro y la mayoría de la información en campo, fue recabada con el aval de esta misma Institución de la UAGro.

Finalmente, este caso destaca la importancia de la ingeniería forense en el ámbito educativo y profesional, no sólo para conocer las causas de origen de la falla, sino para asegurarse de no cometer los mismos errores o incurrir en malas prácticas constructivas en el futuro y tomar conciencia sobre aplicar

la ética profesional para que los procesos de ingeniería se efectúen de la mejor manera y sean congruentes con las decisiones que se tomen.

## METODOLOGÍA

En este trabajo se decidió aplicar la ingeniería forense, dado que ofrece las herramientas para detectar la vulnerabilidad en las edificaciones, en este caso con enfoque al ámbito estructural. Asimismo, se optó por implementar un estudio de caso para realizar la investigación, dado que un estudio de caso es una herramienta valiosa para explorar y comprender la complejidad de situaciones del mundo real, además de que permite obtener información detallada y profunda, la cual es de mucha utilidad para la toma de decisiones.

Se hizo una investigación documental a conciencia de reglamentos, libros y otras fuentes de tal manera que, al tener la información recabada del edificio durante su proceso de demolición, se pudieran analizar los criterios de vulnerabilidad de esta edificación, además de que para edificios educativas existen reglas establecidas que se tienen que cumplir.

"Mantenerse actualizado no solo es una responsabilidad profesional, sino también una manera de garantizar edificaciones más seguras y eficientes, promoviendo el bienestar de la sociedad y la sostenibilidad de nuestras ciudades" (Ruiz, 2023).

### Antecedentes

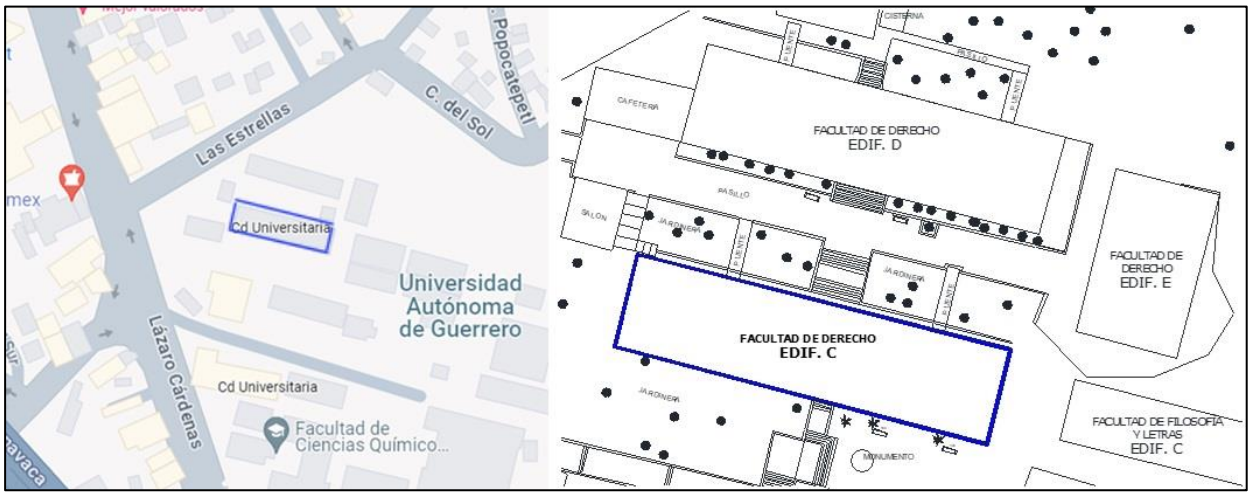
Uno de los sucesos más controversiales y que más impacto ha causado en la historia del país, fue el sismo del 19 de septiembre de 1985, con magnitud de 8.1 grados, escala Richter, que inesperadamente sacudió a la Ciudad de México, causando gran destrucción y la pérdida de muchas vidas. Un número elevado de construcciones sufrió falla por torsión y muchas más experimentaron daños de diversos grados (CENAPRED, 2023). Este evento llegó a cambiar los procesos de diseño y de construcción para salvaguardar la seguridad de la población, puesto que la intensidad del sismo fue mucho mayor y destructivo, debido a que se tenían criterios carentes de diseño sismo-resistentes. El análisis de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones a través de la **ingeniería estructural forense** de este caso, permitió la creación de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el D.F. publicado el 19 de noviembre de 1987 en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

**Análisis estructural durante el proceso de demolición**

El 7 de septiembre de 2021 se registró un sismo de magnitud 7.1 ubicado a 11 km al sureste de Acapulco (Servicio Sismológico Nacional, UNAM, 2021). Los edificios que resultaron afectados por el sismo fueron sometidos a evaluación postsísmica por la Coordinación de Protección Civil, en colaboración con la Coordinación General de la Infraestructura de la UAGro, tiempo después se dio a conocer que diferentes edificios universitarios debían ser demolidos y reconstruidos, entre ellos el edificio de estudio, aclarando que ninguno representó riesgo de colapso inmediato.

La ubicación del edificio de estudio se encuentra ubicado en Av. Lázaro Cárdenas S/N, Ciudad Universitaria Sur. Chilpancingo, Gro. (Figura 1).

**Figura 1**. Ubicación espacial del Edificio "C" de la Facultad de Derecho. (Elaboración propia).




Haciendo una investigación, se tuvo acceso a los datos acerca del estado en que se encontraba este edificio educativo antes del siniestro. La construcción del edificio data desde 1982, desplantado sobre la Zona II en Chilpancingo, que corresponde a un suelo de baja rigidez, tal como arcillas expansivas de acuerdo al Reglamento de Construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, y posterior al sismo de 1985, en 1986 se realizó un reforzamiento. La información recabada se plasma en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Datos generales del Edificio “C” de la Facultad de Derecho. (Elaboración propia).

**DATOS GENERALES DEL EDIFICIO**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Edificio:** | **EDIFICIO "C" FACULTAD DE DERECHO** | | | **Coordenadas** | | **Dimensiones Generales** | |
| **No. De niveles:** | **2** | **Año de construcción:** | **1982** | **Longitud** | **-99.496511** | **X= Frente** | **50.34 m** |
| **No. de entre ejes:** | **7** | **Año de rehabilitación:** | **1986 Y 2017** | **Latitud:** | **17.537308** | **Y= Fondo** | **13.20 m** |
| **Tipología INIFED:** | **U2C (70´s)** | **Clasificación de construcción:** | **Grupo A** | **Tipo de Suelo:** | **Zona II: Suelo de baja rigidez (Arcillas expansivas)** | | |

**ESTRUCTURA DEL EDIFICIO**

| | |
|---|---|
| NO | Marcos de concreto |
| NO | Marcos de acero |
| NO | Marcos y muros de concreto *(Dual)* |
| NO | Marcos y contaventeos |
| NO | Marcos y muros diafragma *(ligados a la estructura)* |
| NO | Marcos y contraventeos de acero |
| NO | Mamposteria confinada |
| SI | Columnas interconectadas con losa plana *(Sin trabes)* |

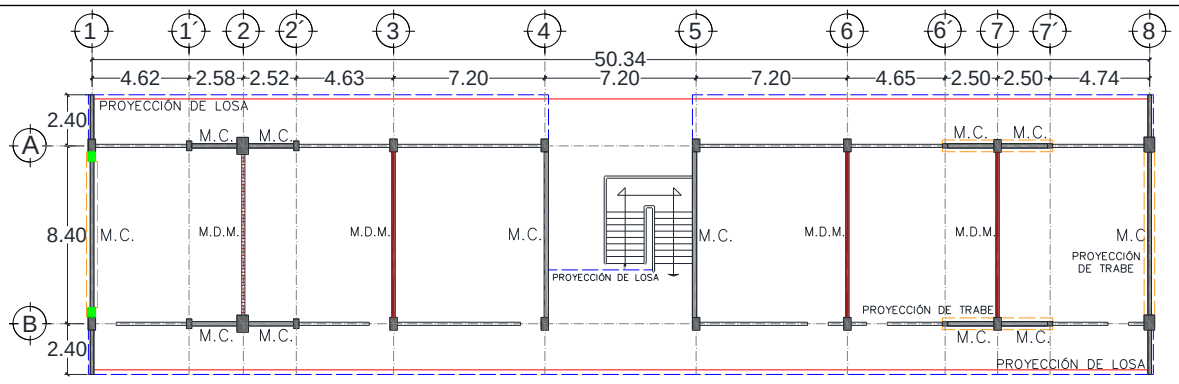
**ESPACIOS DEL EDIFICIO**

| Planta | Número de espacios | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aulas | C. de computo | Laboratorio | Biblioteca | Usos múltiples | Cubículos | A. Administrativa | Talleres | Auditorio | Escaleras | Sanitarios | Portón de acceso | Cafetería | | |
| **P. Baja** | **6** | | | | | | | | | **1** | | | | | |
| **Nivel 1** | **6** | | | | | | | | | | | | | | |

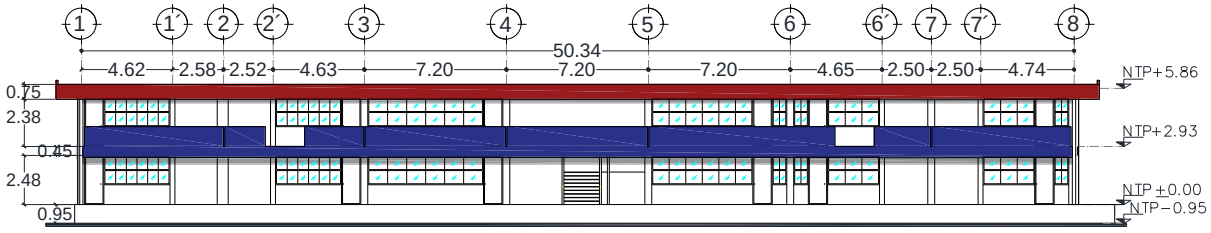
**Tipo de Rehabilitación:**

Columnas de refuerzo adicionadas a columnas existentes en muro cabecero (eje 1), trabes en muros cabeceros (eje 1 y 8) y trabes en sentido longitudinal (6´ - 7´), muros de concreto reforzado en sentido longitudinal (ejes 1´ - 2´ y 6´ - 7´).

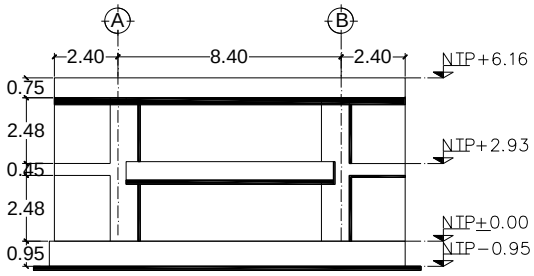
**CROQUIS DEL INMUEBLE**




PLANTA ARQUITECTÓNICA – PLANTA BAJA




FACHADA PRINCIPAL

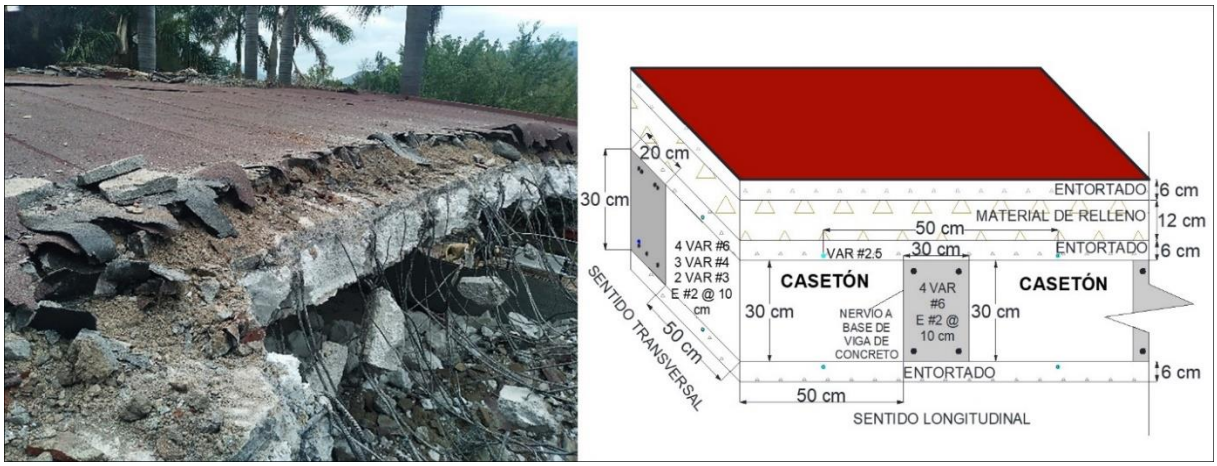



FACHADA LATERAL (EJE 1)

De acuerdo al catálogo del INIFED se buscó identificar la tipología de la infraestructura física educativa y se clasificó como U2C (70), urbana de 2 niveles Concreto (diseño de 1970), que consiste en un sistema de marcos rígidos de concreto armado, sin embargo, difiere en geometría de sus elementos estructurales y características principales, así como el propio sistema, por lo tanto, se puede concluir que es un edificio **U2C (70) Atípico**.

El sistema que representa el edificio estudiado pertenece a una estructura a base de columnas de concreto interconectadas con losa plana. La losa es de tipo aligerada, conformada por casetones de unicel de 50x50 cm y nervaduras a base de vigas de concreto de 30x30 cm (longitudinales) y 20x30 cm (transversales), varillas del No. 2.5 con corrugación horizontal (ya no utilizadas en el ámbito constructivo) en ambos sentidos y un material de relleno que impacta en la carga muerta con 0.19 Ton/m$^2$ (127 .60 Ton) aproximadamente para losa de azotea y 0.096 Ton/m$^2$ (58.36 Ton) para losa de entrepiso. (Figura 2).

**Figura 2.** Losa aligerada de nervaduras en Edificio "C" de la Facultad de Derecho. (Elaboración propia).

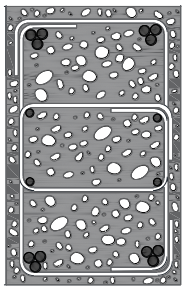



Una característica adversa de diseño estructural a considerar, es la **condición de irregularidad por discontinuidad en el diafragma** que presenta el edificio, ya que pudo afectar el desempeño de la estructura durante un sismo al no transmitir las fuerzas laterales correctamente por el sistema de piso a los elementos estructurales verticales para resistir las cargas.

En la investigación de campo, la demolición del edificio permitió conocer el armado, materiales, secciones geométricas, entre otras características de los elementos estructurales, sin, embargo, en

algunas situaciones no se pudo rescatar el elemento para ser estudiado. En la Tabla 2 se presenta la información recopilada de la investigación realizada en este proceso.

**Tabla 2**. Reporte de secciones geométricas y propiedades mecánicas del acero, concreto y agregados de columna principal. (Elaboración propia).

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | REPORTE DE SECCIONES GEOMÉTRICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO, CONCRETO Y AGREGADOS | | FECHA: 30/06/2023 | |
| INFORMACIÓN GENERAL | | | | |
| EDIFICIO: FACULTAD DE DERECHO | | UBICACIÓN: AV. LÁZARO CÁRDENAS S/N, CIUDAD UNIVERSITARIA SUR. CHILPANCINGO, GRO. | | |
| TIPO DE CIMENTACIÓN | | SISTEMA ESTRUCTURAL | SISTEMA DE LOSA | |
| ZAPATAS CORRIDAS Y ZAPATAS AISLADAS | | COLUMNAS INTERCONECTADAS CON LOSA PLANA (SIN TRABES) | LOSA ALIGERADA | |
| ELEMENTO: | COLUMNA 35 X 60 CM | | UBICACIÓN<br>PLANTA BAJA | |
| ACERO LONGITUDINAL | DESCRIPCIÓN | | FOTOGRAFÍA | CROQUIS |
| | CALIBRE | $Ø_1$= No.8 (1") | $Ø_2$= No.6 (3/4") | |
| | ÁREA TOTAL DE ACERO | $A_s(Ø_1) = 60.84cm^2$ | $A_s(Ø_1) = 11.48cm^2$ | |
| | DISTRIBUCIÓN | 12 VARILLAS NO. 8 (1") EN PAQUETES DE 3 Y 4 VARILLAS NO. 6 (3/4") | | |
| | CORRUGACIÓN | DIAGONAL | | |
| | CUANTÍA DE ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL ρl | ρl= 0.036 | | |
| ACERO TRANSVERSAL | DESCRIPCIÓN | | FOTOGRAFÍA | CROQUIS |
| | CALIBRE | $Ø_1$= No.3 (3/8") | | |
| | ÁREA TOTAL DE ACERO | As= 1.42 $cm^2$ | | |
| | SEPARACIÓN | 2 ESTRIBOS NO. 3 @ 5CM L/4 Y @ 10CM L/2 | | |
| | CORRUGACIÓN | DIAGONAL | | |
| | DOBLEZ | DOBLEZ DE 10 CM A 90° | | |
| CONCRETO | DESCRIPCIÓN | | FOTOGRAFÍA | CROQUIS |
| | RESISTENCIA | $f'c = 220\ Kg/cm^2$ | | |
| | CLASE DE CONCRETO | CONCRETO CLASE 2 | | |
| | MODULO DE ELASTICIDAD | $E_c = 8,000\sqrt{f'c}$ | | |
| | RECUBRIMIENTO | 3 cm | | |
| AGREGADOS | DESCRIPCIÓN | | FOTOGRAFÍA | CROQUIS |
| | T.M.A. | IRREGULAR | |  |
| | TIPO DE AGREGADO | CANTO RODADO | | |
| | FORMA | REDONDEADA | | |
| | TEXTURA | LISA | | |
| | ADHERENCIA | NO BUENA | | |

## 1. Análisis de criterios estructurales que originaron la

## Análisis de criterios estructurales que originaron la vulnerabilidad del edificio

El análisis de cumplimiento con los criterios estructurales se describe en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3**. Comparativa de criterios estructurales. (Elaboración propia).

| | COMPARATIVA DE CRITERIOS ESTRUCTURALES | FECHA: 30/06/2023 | |
|---|---|---|---|
| **INFORMACIÓN GENERAL** | | | |
| **EDIFICIO:** FACULTAD DE DERECHO | **UBICACIÓN:** AV. LÁZARO CÁRDENAS S/N, CIUDAD UNIVERSITARIA SUR, CHILPANCINGO, GRO. | | |
| **TIPO DE CIMENTACIÓN** | **SISTEMA ESTRUCTURAL** | **SISTEMA DE LOSA** | |
| ZAPATAS CORRIDAS Y ZAPATAS AISLADAS | COLUMNAS INTERCONECTADOS CON LOSA PLANA | ALIGERADA | |
| **CRITERIOS ESTRUCTURALES PRE-85** | **CRITERIOS ESTRUCTURALES NTC 2023** | | **COMPARATIVA DE CRITERIOS** |
| **ACERO** | | | |
| 1. Paquetes de tres varillas en Columnas (Acero longitudinal) | **NTC-DCEC (2023)**<br>**8.4.4.3** Sólo se permitirá formar paquetes de **dos barras** (Refuerzo longitudinal).<br>**14.6.1.1** Los paquetes de barras en contacto con la intención de que trabajen como una unidad estarán limitados a **dos barras en columnas** y tres barras en vigas, con excepción de lo señalado en 8.3.3.5. | | **NO CUMPLE** |
| 2. Cuantía de acero longitudinal en columna de 35x60cm, con 12 varillas No. 8 (1") en paquetes de 3 Y 4 varillas No. 6 (3/4") . **ρl= 0.036** | **NTC-DCEC (2023)**<br>**8.4.4.1** La cuantía de refuerzo longitudinal no será menor que 0.01, ni mayor que 0.04. | | **CUMPLE (SOBREREFORZADO)** |
| 3. Cuantía de acero longitudinal en columna de refuerzo 25x45 cm, con 6 varillas del No.8 (1"). **ρl= 0.0289** | **NTC-DCEC (2023)**<br>**8.4.4.1** La cuantía de refuerzo longitudinal no será menor que 0.01, ni mayor que 0.04. | | **CUMPLE** |
| 4. Dobleces de 10 cm en columnas a 90° (Acero transversal) | **NTC-DCEC (2023)**<br>**8.4.5.2** Cada extremo de los estribos rectangulares y de las grapas deberá abrazar a una barra longitudinal de la periferia con **un doblez de 135 grados** que satisfaga 14.3.2.<br>**14.3.2** El tramo recto $L_{ext}$ *(mm)* para un tamaño de barra del No. 3 debe ser mayor de 6 $d_b$ y 80 mm (mayor que 5.7 cm y 8 cm). | | **NO CUMPLE** |
| 5. Refuerzo transversal del No. 3 | **NTC-DCEC (2023)**<br>**8.4.5.2** a) El refuerzo transversal podrá ser a base de refuerzo helicoidal sencillo o sobrepuesto, de estribos circulares, o de **estribos rectangulares cerrados** de una pieza sencillos o sobrepuestos, con o sin grapas, de **diámetro no menor que No. 3** y rematados como se indica en 14.3. | | **CUMPLE** |
| 6. Separación de estribos No. 3 en columna 35x60 cm, @ 5cm en L/4 y 10cm en L/2. Armado con 12 varillas No. 8 (1") en paquetes de 3 Y 4 varillas No. 6 (3/4") | **NTC-DCEC (2023)**<br>**S1 Zona de confinamiento (L/4* Anterior) (≥ bmáx, H/6, 600 mm* Actual)**<br>**8.4.5.5** La separación del refuerzo transversal no deberá exceder el menor de a) a e):<br>a) La cuarta parte de la menor dimensión transversal del elemento $b_{mín}$**/4**<br>35/4 = **8.75 cm**<br>b) 6db de la barra longitudinal más delgada del refuerzo primario a flexión Grado 42. (6)(1.91cm)=**11.46 cm**<br>e) ***so*** no deberá exceder 150 mm y **no deberá ser menor que 100 mm**.<br><br>**S2 Zona central (L/2* Anterior)**<br>**8.4.5.5** La separación ***s*** no deberá exceder la menor de a) a d), a menos que se requiera una mayor cuantía de refuerzo transversal<br>a) **150 mm**<br>b) 8*db* de la barra longitudinal más delgada, para barras Grado 42 (8)(1.91cm)= **15.28 cm** | | **CUMPLE** |

**Tabla 4.** Comparativa de criterios estructurales. (Elaboración propia).

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **COMPARATIVA DE CRITERIOS ESTRUCTURALES** | **FECHA: 30/06/2023** | |
| **INFORMACIÓN GENERAL** | | | |
| **EDIFICIO:** FACULTAD DE DERECHO | **UBICACIÓN:** AV. LÁZARO CÁRDENAS S/N, CIUDAD UNIVERSITARIA SUR, CHILPANCINGO, GRO. | | |
| **TIPO DE CIMENTACIÓN** | **SISTEMA ESTRUCTURAL** | **SISTEMA DE LOSA** | |
| ZAPATAS CORRIDAS Y ZAPATAS AISLADAS | COLUMNAS INTERCONECTADAS CON LOSA PLANA | ALIGERADA | |
| **CRITERIOS ESTRUCTURALES PRE-85** | **CRITERIOS ESTRUCTURALES NTC 2023** | | **COMPARATIVA DE CRITERIOS** |
| **CONCRETO** | | | |
| 1. Resistencia del concreto $f'c = 220\ Kg/cm^2$ en columnas. | **NTC-EREEE (2023)**<br>**Tabla 3.4.5.8.2.a -** Valores históricos de la resistencia a compresión f´c en MPa (Kg/$cm^2$).<br>Época 1900 - 1987: Columnas 20 MPa (200 Kg/$cm^2$)<br>Época 1987 - Fechal: **Columnas** 25MPa (**250 Kg/$cm^2$**) | | **NO CUMPLE** |
| 2. Concreto en columnas **Clase 2** con un módulo elástico de<br>$E_c = 8,000\sqrt{f'c}$ | **NTC-DCEC (2023) Y NMX-C-083-ONNCCE-2020**<br>**Tabla 2.2.1 Clases y propiedades de los concretos estructurales convencionales**<br>**Concreto Clase 1 - Obras dentro del Grupo A, B1, B2**<br>1A : Con resistencia a la compresión en el intervalo comprendido entre 25 MPa y 40 MPa (250 kg/cm2 y 400 kg/cm2).<br>1B: Con resistencia a la compresión en el intervalo comprendido entre 25 MPa y 40 MPa (250 kg/cm2 y 400 kg/cm2).<br>$E_c = 14\ 000\sqrt{f'c}\ \ Kg/cm^2$<br>**Concreto Clase 2**<br>Con resistencia a la compresión en el intervalo comprendido entre **20 MPa y 35 MPa (200 kg/cm2 y 350 kg/cm2).**<br>$E_c = 8,000\sqrt{f'c}\ \ Kg/cm^2$ | | **NO CUMPLE PARA GRUPO A** |
| 3. Recubrimiento de **3cm** en columnas de 35x60 cm con 12 varillas No.8 y 4 varillas No.6 | **NTC-DCEC (2023)**<br>**4.13.2.2** El recubrimiento libre de toda barra de refuerzo no será menor que su diámetro, ni menor que lo señalado en a) a d):<br>a) En columnas y vigas, 20 mm<br>b) En losas, 15 mm<br>c) En cascarones, 10 mm<br>d) Si las **barras forman paquetes**, el recubrimiento libre, además, no será menor que **1.5 veces** el diámetro de la barra más gruesa del paquete.<br>(1.5) (2.54cm) = **3.81 cm** | | **NO CUMPLE** |
| **CRITERIOS ESTRUCTURALES PRE-85** | **CRITERIOS ESTRUCTURALES NTC 2023** | | **COMPARATIVA DE CRITERIOS** |
| **AGREGADOS** | | | |
| Agregado pétreo de tamaño irregular de tipo **canto rodado** (procedente de depósitos fluviales) en columnas. | **NTC-DCEC (2023)**<br>**2.2.5 Materiales componentes para concreto Clases 1 y 2**<br>**2.2.5.2.2** El concreto Clase 1 se fabricará con agregados gruesos con peso específico superior a 2.6 (como caliza, basalto, etc.) y el concreto Clase 2 con agregados gruesos con peso específico superior a 2.3 (como andesita). | | **NO CUMPLE** |
| **CRITERIOS ESTRUCTURALES PRE-85** | **CRITERIOS ESTRUCTURALES NTC 2023** | | **COMPARATIVA DE CRITERIOS** |
| **ESTRUCTURA** | | | |
| **CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL** | Tipología INIFED **U2C(70)** Urbana de 2 niveles a base de Concreto armado (diseño de 1970) , basado en un sistema de marcos rígidos. El sistema estructural del Edificio "C" es a base de columnas de concreto interconectadas con losas planas. | **NTC-SISMO (2023)**<br>**Tabla4.3.1** Columnas de concreto interconectadas con losas planas:<br>Es un sistema diseñado para resistir cargas gravitacionales y laterales, que sólo permite usar ductilidad baja, ya que el sistema no puede aceptar grandes deformaciones. | **SISTEMA OBSOLETO** |
| **CONDICIÓN DE IRREGULARIDAD** | Discontinuidad en el diafragma por abertura entrante en losa de entrepiso. | **NTC-SISMO (2023)**<br>**5.2.5.1** Se considerará que una estructura es irregular por discontinuidad en el diafragma cuando en cualquiera de las plantas de la estructura exista una reducción brusca de más de 40 por ciento en el ancho de diafragma provocado por aberturas en el mismo.<br>a > 0.4A y b> 0.4B<br>6.85 > 0.4 (50.34) Y 8.26 > 0.4(13.2)<br>**6.85 > 20.136** Y **8.26 > 5.28**<br>La reducción excede más del 40% del ancho del diafragma. | **ESTRUCTURA IRREGULAR** |

## CONCLUSIONES

El análisis realizado arrojó que el Edificio "C" de la Facultad de Derecho, pertenece al Grupo A, con una tipología U2C (70) Atípico. Se construyó en 1982 y su sistema estructural se basó en columnas de concreto interconectadas con losas planas; tres años más tarde, el sismo de 1985 disipó su energía a través del sistema estructural poniendo a prueba su capacidad de resistencia, tomándose la decisión de que fuera reforzado. Resistió los sismos siguientes sin daños severos, hasta que se presentó el sismo del 19 de septiembre de 2017, fue en ese punto que la Coordinación General de Infraestructura de la UAGro emprendió un programa de verificación de seguridad en edificios, se realizó una evaluación postsísmica, llegando a la conclusión de que ya presentaba cierto riesgo, por lo que se tomó la decisión de que se reforzaran las columnas existentes. El sismo del 7 de septiembre del 2021, provocó daños ligeros sin riesgo de colapso inmediato, sin embargo, al considerar que había estado ya 35 años en servicio a partir de su primer reforzamiento, se decidió que era ya necesaria su demolición y la construcción de un edificio nuevo.

Con la investigación realizada, podemos darnos cuenta de que existen varios criterios que indican vulnerabilidad en la edificación, de modo que la deficiencia de una o más propiedades conduce a la imperfección de las demás, poniendo en riesgo a los usuarios del edificio, los principales factores que propician este estado son los siguientes:

1. Sistema estructural de columnas de concreto interconectadas con losas planas, considerado obsoleto, son susceptibles a fallar por cortante tras agotar la capacidad de rotación de la conexión losa-columna debido a los desplazamientos laterales, así como fallar por punzonamiento (Instituto de Ingeniería, UNAM, Enero 2021). Actualmente se implementan sistemas basados en marcos de concreto con losa maciza utilizando las NTC actualizadas donde se implementa el diseño y construcción sismo-resistente.
2. La cimentación mixta de zapatas corridas y aisladas no son la mejor opción en un suelo de baja rigidez (arcillas expansivas), actualmente para este tipo de suelo se utilizan zapatas corridas o losas de cimentación, por lo que a mayor área de contacto mejor estabilidad tendrá la estructura.
3. Presenta irregularidad por discontinuidad en el diafragma, una abertura alargada puede ser deficiente para la transmisión de fuerzas, ya que un porcentaje importante de las fuerzas laterales

que se producen durante un sismo se generan en el sistema de piso y deben ser transmitidas por el diafragma a los elementos verticales.

4. Propiedades mecánicas inadecuadas de acero, concreto y agregados utilizados en los elementos estructurales.

La ingeniería estructural aplicada realizada permitió la reconstrucción de los hechos sobre el ciclo de vida del edificio, y se pudo reconocer que fue diseñado y construido bajo requisitos reglamentarios y normativos carentes de criterios sismo-resistentes que impactan de manera directa en la seguridad estructural. Por lo que se concluye que la decisión de demoler y reconstruir el edificio, fue la opción más adecuada. La importancia de esta disciplina en la ingeniería civil refiere a que hay mucho por aprender en cualquier tipo de obra, un buen análisis del problema con bases técnicas y científicas, conlleva a la actualización de información, conocimiento y práctica sobre algo que se creía correcto/incorrecto o hacia el hallazgo de nueva información que resulta más eficaz para aplicarse en la resolución de problemas.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**


Catalytic Generators. (25 de 02 de 2021). *Poscosecha.com*. Recuperado el 2 de octubre de 2024, de https://www.poscosecha.com/catalytic-generators/no-use-carburo-de-calcio-para-madurar-la-fruta

CENAPRED. (Septiembre de 2023). *mexicox.gob.mx*. Obtenido de https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:CENAPRED+CBDE23039X+2023_03/courseware/b7cfcd6139e84142ac082d0715c9d57f/cf0edd2f907a4084ab110e37a181490d/?child=last

DM Plast Group. (s.f.). *Caja Bananera para Plátano*. Recuperado el 6 de octubre de 2024, de https://dmplast.mx/caja-bananera-para-platano/

FrioVizcayaFreire. (5 de julio de 2021). *GRUPO BILCOSA*. Recuperado el 5 de octubre de 2024, de https://friovizcaya.com/camaras-de-maduracion-platano-aguacate-bilcosa/

Industrial Leridana del Frío S.L. (s.f.). *Poscosecha.com*. Recuperado el 3 de 10 de 2024, de https://www.poscosecha.com/ilerfred

Instituto de Ingeniería, UNAM. (Enero 2021). *Rehabilitación Sísmica de la infraestructura física educativa de México. Guía técnica.* Ciudad de México.

Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura S.C. (2024). *Intagri*. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulacion-de-la-maduracion#

NTC-DCEC. (2023). *"Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto"*. Gobierno de la Ciudad de México. Ciudad de México.

NTC-EREEE. (2023). *Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes.* Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.

NTC-SISMO. (2023). *"Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo"*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.

RCMCB. (1999). *Reglamento de Construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.* Chilpancingo de los Bravo: Gaceta Municipal.

Ruiz, R. B. (2023). *Proceso de actualización de las Normas Técnicas Complementarias para las construcciones en la Ciudad de México*. Obtenido de HILTI INGENIERÍA: https://ask.hilti.com.pa/article/proceso-de-actualizacion-de-las-ntc-para-las-construcciones-en-la-ciudad-de-mexico/jatu7b

Sánchez, L. I. (2012). Investigación de siniestros mediante métodos de ingeniería forense. Valencia, España.

Servicio Sismológico Nacional, UNAM. (02 de 09 de 2021). *Servicio Sismológico Nacional*. Recuperado el 1 de 09 de 2024, de Servicio Sismológico Nacional: http://www.ssn.unam.mx/