







Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad Evaluation level of Failure Mechanism in a 20-year-old construction

M. Hernández-Cid ^a, J. E. Cerón-Carballo ^{b,*}, Y. S. Beltrán-Martínez ^c, E. Pérez-Isidro ^b, M. Guerrero-Rodríguez ^b
C. A. Cerón-Castelán ^d

^a Alumna de la Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

^b Ingeniería Civil Forense, AAIyA, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

^c Arquitectura y Estudios Urbanos, AAIyA, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

^d Escuela de Arquitectura y Diseño, Universidad La Salle, 42160, San Juan Tilcuautla, Estado de Hidalgo, México.

Resumen

El impacto y las consecuencias visibles que muestra el daño en la estructura de una edificación posterior a fenómenos naturales o antropogénicos causado por fuerzas de reacción como respuesta a las cargas recibidas, son tipificadas de acuerdo a la zona de aparición, su presencia da indicios de vulnerabilidad. Los sistemas estructurales seguros son aquellos que mantienen un tipo de estructura adecuada construidos con materiales de óptima calidad y procedimientos constructivos inmersos en las normas vigentes, dando como resultado un desempeño favorable ante cualquier amenaza, en el presente estudio se realizó la evaluación de una estructura con edad de 20 años, se utiliza el método del análisis modal experimental implementado en sitio, se observó que las condiciones de la estructura ante la respuesta de vibraciones mantiene un nivel estructural de riesgo nulo, resultado posterior a la realización de un levantamiento estructural para encontrar las magnitudes de los criterios de servicio.

Palabras Clave: Daño estructural, Análisis modal, Riesgo, Vibraciones, Inestabilidad.

Abstract

The impact and visible consequences of damage to the structure of a building after natural or anthropogenic phenomena caused by reaction forces in response to the loads received, are typified according to the area of occurrence, their presence gives indications of vulnerability. Safe structural systems are those that maintain a suitable type of structure built with high quality materials and construction procedures immersed in current regulations, resulting in a favorable performance against any threat, in the present study the evaluation of a structure with age of 20 years, the method of experimental modal analysis implemented on site is used, it was observed that the conditions of the structure before the response of vibrations maintains a structural level of zero risk, result after carrying out a structural survey to find the magnitudes of the service criteria.

Keywords: Structural damage, Modal analysis, Risk, Vibrations, Instability.

1. Introducción

La exposición de la estructura de las edificaciones a un fenómeno natural o antropogénico es superado sin complicaciones, en caso contrario, los daños pueden ser leves o desastrosos, muchos de estos son notables a simple vista (Marroquin, 2017).

El impacto y las consecuencias visibles que los desastres naturales han dejado sobre las estructuras son variados en relación a las fuerzas internas que provocan daño, la causa de ello son las acciones por cargas variables o accidentales desmedidas, estos daños son identificados en primera instancia

por medio de una revisión de la estructura del edificio, para ello se realiza una inspección visual para identificar posibles fisuras o grietas en tres zonas de impacto visible (ZIV), estas son; pisos, muros y techos. Para identificar el daño se debe realizar una evaluación en sitio y determinar las condiciones de la estructura, la presencia de daño indica inestabilidad estructural (Proteccion_civil, 2016).

En los años `80s los procesos constructivos no eran sustancialmente diferentes a los de la actualidad y los procedimientos para fabricar los materiales son similares a los de la época actual, sin embargo, en este trabajo de investigación la evaluación consiste en localizar las

*Autor para la correspondencia: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: he429505@uaeh.edu.mx (Montserrat Hernández-Cid), jesus_ceronc@uaeh.edu.mx (Jesús Emmanuel Cerón-Carballo), yoans@uaeh.edu.mx (Yoan Saidt Beltrán-Martínez), eber_perez@uaeh.edu.mx (Eber Pérez-Isidro), mgr@uaeh.edu.mx (Mauricio Guerrero-Rodríguez), 162292@lasallep.mx (Carlos Abraham Cerón-Castelán)

afectaciones clasificándolas en función del daño presente, su escala mayor puede ser crítica como se determina en el documento del (CENAPRED, 2018), en caso contrario, la configuración del edificio se encontrara en buen estado y ahora proceder a revisar el sistema de estructuración del tal modo que cumpla con los lineamientos mínimos del reglamento de construcciones del municipio de Pachuca de Soto vigente en la época de construcción y en la época actual.

1.1. *Sistemas estructurales*

La estructuración vertical y horizontal que presenta la edificación tiene gran importancia para soportar los efectos de un desastre natural, la estabilidad y resistencia de la edificación son los principios básicos que se deben evaluar para construir un sistema estructural eficiente (Milián, 2019).

Los materiales utilizados en la cimentación y estructura en la construcción de la obra civil están directamente vinculados a la vida de la edificación, por consiguiente, visualmente el sistema estructural debe presentar nulos indicios de daño crítico, por consiguiente, soportará las solicitaciones necesarias adecuadamente, es decir, aun no alcanza el límite de servicio, por consiguiente, no será necesario realizar pruebas mecánicas destructivas, de tal manera que, se buscó una construcción que cumpliera con esta característica utilizándola como estudio de caso. Por otra parte, las solicitaciones pueden ser de cuatro tipos; la primera es las cargas vivas, la segunda es la carga permanente, la tercera es la carga accidental y la última es la carga variable o bien, la combinación de cualesquiera (Gutierrez, 2013).

La seguridad del lugar está en función de tres factores; el primero es el tipo de estructura, que debe ser adecuado de acuerdo al proyecto arquitectónico para soportar las solicitaciones, el segundo será los materiales utilizados en la construcción, los cuales deben tener la calidad de fabricación óptima, la tercera es la disposición de los estándares de procedimientos constructivos del lugar que serán acordes a las normas vigentes establecidas para la zona de estudio, dicho lo anterior la falta de seguridad puede activar la presencia del límite de servicio. El estado límite de falla inicia cuando la estructura presenta agotamiento de la capacidad de carga y se detectan deficientes condiciones debido a la presencia desmedida de las magnitudes de los criterios de servicio, por tal situación se descartan las construcciones en estos términos para cumplir con las expectativas propuestas en la investigación (Escamilla, 2018).

La capacidad del sistema estructural sirve para soportar todo estado límite de servicio, así como, los esfuerzos internos presentes en la construcción, cuando esta es rebasada se presenta el límite de falla (Proteccion_civil, 2016). El desempeño de una construcción es favorable de acuerdo a la ductilidad de los materiales y a los procedimientos constructivos empleados, el límite del desempeño de la construcción es análoga al límite de falla, es decir, cuando una construcción ha alcanzado el límite de falla, se debe reconstruir o rehabilitar para que su desempeño sea óptimo (Carrión, 2001).

1.2. *Análisis modal*

El análisis modal puede ser teórico o experimental, el teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones, mientras que, el experimental se basa en ensayos y tiene cuatro pasos fundamentales, los cuales son: el primer paso es la excitación de la estructura, el segundo será la medición mediante acelerómetros, el tercer paso se refiere al tratamiento digital y el último paso será el análisis de las señales y aplicación de modelos. Este proceso sirve para determinar las características dinámicas del sistema, como por ejemplo la respuesta de movimiento e identificar los factores de amortiguamiento, por otro lado, se puede utilizar para la creación de un modelo matemático que represente el comportamiento de la respuesta dinámica de la estructura (White, 2010).

Al someter la estructura a una excitación, sin provocarle daño, ésta responderá vibrando de una manera propia y exclusiva. La mayoría de los sistemas tienen varios modos de vibración y el objetivo de realizar una captura de la respuesta dinámica es realizar el análisis modal para identificar daños internos de la construcción (Pérez, 2014).

El principio de superposición de la respuesta en un sistema lineal dinámico permite transformar la solución en un sistema lineal fácil de comprender (Jerónimo, 2016). Esta solución es obtenida debido a la información captada por el acelerómetro y por los datos modales de la respuesta del sistema, la magnitud de la aceleración es la respuesta de la presencia de la falla debida a los efectos de agotamiento interno, que pueda provocar un mecanismo de falla visual, aparente u oculto. El Mecanismo de Falla [MF] aparece como consecuencia de eventos actuales o pasados que provocaron algún daño y en consecuencia aparece una fisura, una falla o el colapso de la estructura. Estos pueden ser internos, externos o ambos que concluyeron en una falta de continuidad del sistema estructural como por ejemplo: alabeo, aplastamiento, colapso, corte, deformación, deslizamiento, fisuras, flexión y pandeo, llamados indicios de inestabilidad estructural (Escamilla, 2018).

1.3. *Estados de fase de emergencia*

Los estados de la fase de emergencia son tres del subprograma de auxilio, estos son: prealerta, alerta y alarma, como se observa en la **Figura 1**.

Texto sacado de la ley de protección civil Artículo 2 y 3:

El primero se refiere a la vigilancia y atención que se debe tener ante la inminente ocurrencia de una calamidad, las afectaciones llegan a un grado de daño menor. El segundo, cuyos daños pueden llegar al grado de desastre, debido a la forma en que se ha extendido el peligro o en virtud de la evolución que presentan, y el tercero es un momento acústico, óptico o mecánico que avisa de la presencia o inminencia de una calamidad, de tal manera que es muy posible la aplicación del subprograma de auxilio, dependiendo del agente perturbador que puede ser un fenómeno de origen natural o antropogénico con potencial de producir efectos adversos. (Proteccion_civil, 2016).

Dichos estados se pueden representar en forma visual, utilizando los colores designados por el CENAPRED. El riesgo indicativo de los estados de la fase de emergencia, tiene niveles crecientes identificados con colores, donde el verde indica prealerta, el amarillo indica alerta y el rojo indica alarma, (CENAPRED, 2018).

por traves de concreto armado, sistema estructural usado como se realizó en (Ortega, 2020).

El objetivo del estudio es revisar la estructura física, para ello, se propone realizar la evaluación en tres fases: la primera es analizando los pisos; en donde, se incluye la revisión del sistema de cimentación, la segunda es analizar los muros, incluyendo las cadenas de desplante, castillos, cerramientos y columnas y, por último, la tercera en el análisis de la losa, incluyendo el sistema de piso, formado por traves y faldones (Morejón, 2017).

Riesgo estructural		
Orden de la fase	Estado de la fase de emergencia	Color indicativo
1	Pre-alerta	Mínimo o nulo
2	Alerta	Medio
3	Alarma	Alto

Figura 1: Esquema del riesgo estructural



Figura 3: Esquema de la edificación de estudio.

1.4. Zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra en el municipio de Mineral de la Reforma en el estado de Hidalgo, se trata de una construcción existente. La **Figura 2** muestra que es ocupada para labores de prácticas de laboratorio, utilizado por estudiantes de estudios a nivel profesional.

La **Figura 2** muestra la planta arquitectónica de la zona de estudio, donde se observan catorce zonas, compuestas por dos aulas, dos laboratorios, cinco clínicas y cinco zonas de administración, las cuales forman veintiún espacios estructurales.

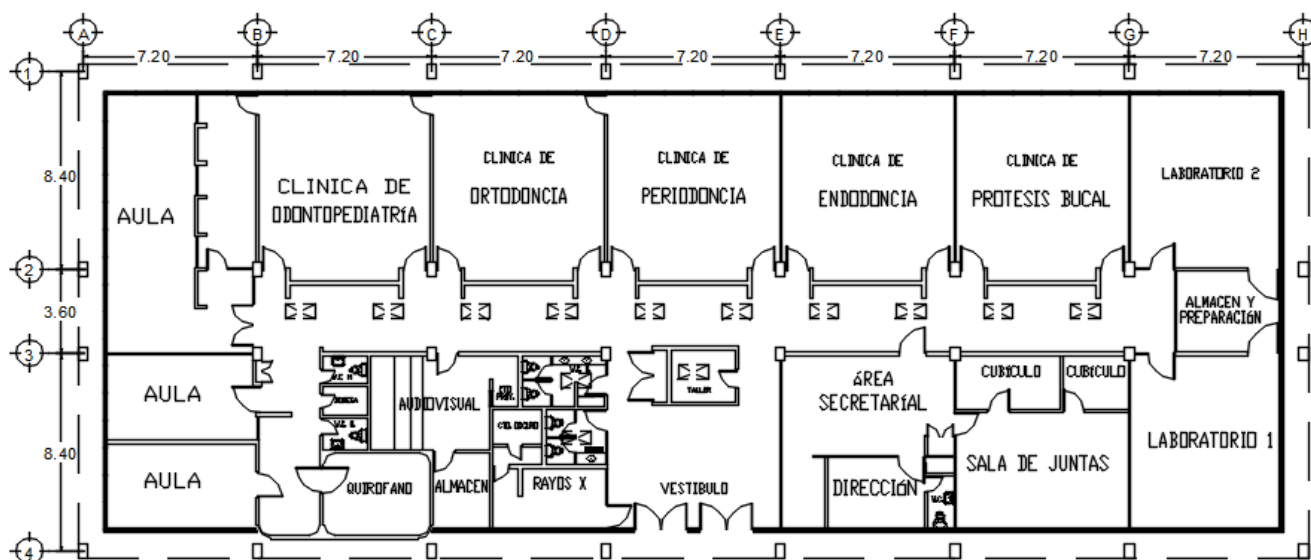


Figura 2: Esquema de la geometría en planta de la edificación de estudio.

Fuente: división académica

La edificación está formada por 32 columnas de concreto armado, las cuales forman cuatro marcos estructurales verticales longitudinales y 8 marcos estructurales verticales transversales, el sistema de piso a nivel cimentación lo forman veintiún tableros estructurales horizontales formados por traves de cimentación y el sistema de piso a nivel azotea lo forman veintiún tableros estructurales horizontales formados

La construcción consiste en un edificio de un nivel de veintiún metros de ancho y cincuenta y un metros de largo, su altura es de tres metros. La **Figura 3**, muestra columnas de concreto, los frentes muestran materiales combinados, la cancelería observada, demuestra que el sistema de estructuración es a base de marcos rígidos, el sistema de piso se percibe que fue construido con concreto armado.

En la zona se carece de existencia de exposición a amenazas naturales de alguna parte de la cimentación, puesto que, las lluvias no producen afluentes de agua o zona de riesgo, además, la estructura presenta un estándar común de acuerdo a la época de construcción y comparándola con los métodos de construcción actuales como se realiza en (Ortega, 2020).

La construcción se elige para su análisis e investigación con la finalidad de aplicar una metodología de evaluación de la seguridad del lugar y poder mostrar los criterios utilizados en la evaluación con el objetivo de compararlos con el reglamento de construcciones de la región, en consecuencia, si la edificación cumple con la normativa, se permite prestar servicio a la población estudiantil, aún posterior, de que, algún fenómeno amenazante o desastre natural (Peces, 2008), se presente.

La investigación se centra en la actividad en la zona de estudio principalmente porque se han presentado los efectos amenazantes del ciclón Grace (2021), que acompañaron ráfagas de viento de 75 kilómetros por hora y lluvias de 98.5 milímetros, así mismo, el sismo presentado en septiembre de 2017 y los posteriores 2020, 2021 y 2022, (DGOARN, 2023).

Se realiza la identificación de los criterios de servicio a través de la evaluación de la seguridad relativa al tipo de diseño, estructura, materiales de construcción y elementos de la estructura.

2. Métodos y materiales

La metodología propuesta parte del estudio del sitio de investigación, este consiste en dos pasos los cuales el primero es identificar los criterios de servicio y el segundo es determinar las condiciones de la estructura (CENAPRED, 2018). Es este documento se realizar el análisis modal experimental del sistema dinámico, determinando la aceleración. Esta respuesta se obtiene de las ecuaciones diferenciales no parciales captadas por el acelerómetro (Andrés, 2014).

2.1. Condiciones de la estructura

La revisión de las condiciones de servicio en la estructura ante combinaciones de acciones es: la aparición de desplazamientos, agrietamientos o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas y que correspondan a minimizar los criterios normales de operación.

La **Figura 4**, muestra los ejes locales (i, j, k) y los ejes globales (x, y, z) de análisis, los primeros son utilizados para determinar los esfuerzos internos y los segundos se utilizan para conseguir la continuidad estructural entre los elementos estructurales contiguos (Morejón, 2017).

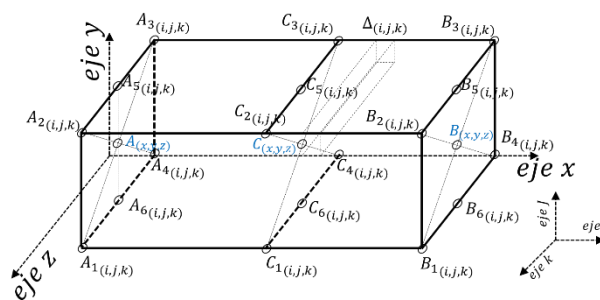


Figura 4: Modelo de las condiciones de servicio [MCS].

Se realiza mediante un levantamiento en sitio utilizando la **Tabla 1**, realizando la medición de las dimensiones de los diferentes elementos constructivos, además de, realizar mediciones de verticalidad o desviaciones por desplomes de muros, así como, los desniveles en losa en el lecho inferior y superior, nivelación de trabes, cerramientos y distorsiones, este procedimiento tiene la finalidad de encontrar indicios de inestabilidad estructural visiblemente (Carrión, 2001).

Tabla 1: Levantamiento estructural de las ZIV

Zona de Impacto Visual [ZIV]	Dimensiones locales (i, j, k)				Dimensiones globales (x, y, z)
	Largo	Ancho	Espesor	Altura	
Piso	A ₁ – B ₁	A ₁ – A ₄	A ₁ – A ₂	---	A - B
Muros	A ₁ – B ₁	A ₁ – A ₄	---	A ₁ – A ₂	A - B
Losa	A ₁ – B ₁	A ₁ – A ₄	A ₁ – A ₂	---	A - B
Estructura	A ₁ – B ₁	A ₁ – A ₄	---	A ₁ – A ₂	A - B

Los indicios de inestabilidad estructural encontrados son los mostrados en la **Tabla 2** (ISCDF, 2018):

Tabla 2: Condición de los MF

MF	Descripción	Condición [MCS]
Agotamiento estructural:	Esfuerzo durante un determinado número de ciclos de repetición de carga.	Aceleración
Alabeo:	Giro lateral de la sección transversal del elemento estructural provocado por momento torsional.	Giro en “A” o “B”
Aplastamiento:	Compresión del elemento estructural al soportar carga de tipo axial.	Deformación en “A”, “B” o “C”
Colapso:	Esfuerzo interno superior al límite de falla en el elemento estructural provocado por esfuerzo cortante severo.	Desprendimiento en “A”, “B” o “C”
Corte:	Desplazamiento vertical de una sección transversal por efecto de carga perpendicular.	Desplazamiento en “A”, “B” o “C”
Deformación:	Desplazamiento nodal de diferenciales de sección al soportar carga axial, momento flector, esfuerzo cortante, esfuerzo normal o compresión.	Desplazamiento en “A”, “B” o “C”
Deslizamiento:	Cambio abrupto de posición longitudinal o transversal provocado por fuerzas tangenciales.	Deslizamiento en “A”, “B” o “C”
Fisura:	Separación de material provocada por esfuerzos internos, pueden ser de tipo estructurales o por cambios abruptos de temperatura.	Separación en “A”, “B” o “C”
Flexión:	Deformación longitudinal, se observa debido a los efectos de carga puntual o uniforme repartida.	Deformación en “A”, o “B”
Pandeo:	Deformación longitudinal, se presenta debido a los efectos que provocan la carga axial de compresión.	Deformación en “A”, “B” o “C”

2.2. Criterios de servicio

La revisión de los criterios de servicio, se realiza por medio del análisis modal en la losa de concreto, sirve para comprobar que la edificación cuenta con un sistema estructural que permite mantener el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño de manera continua hasta la cimentación. Así mismo, asegura que la estructura en general y cada una de sus partes permanece intacta utilizando la **Figura 4** se realiza el levantamiento en los ejes locales y globales y se construye la **Tabla 4** (EERI, 2015), a continuación se describen los pasos del método de análisis modal implementado en la losa:

- Se realizó inspección visual en la construcción realizando un inventario de los pisos, muros y losas, además de identificar las variables a medir utilizando el MCS de la **Figura 4** con el objeto de encontrar indicios de inestabilidad estructural (Pérez, 2014).
- Se realizó inspección con instrumentación, iniciando con la calibración del acelerómetro, se prepara para el inicio de ciclo de medición, se coloca la calibración en magnitud igual a cero, posterior se procede a aplicar el impacto y simultáneamente se comienza con la toma de lectura de la aceleración, para posterior extraer la información a un ordenador y poder realizar la gráfica correspondiente a la respuesta dinámica. Se utiliza para este proceso el software Matlab (Marroquin, 2017).

permite obtener un criterio de aceptación o rechazo en cumplimiento de la estabilidad de la estructura (Andrés, 2014).

Tabla 4: Levantamiento e inventario estructural de las ZIV

[ZIV]	Dimensiones locales (i, j, k)			Dimensiones globales (x, y, z)	
	No Elementos	MCS	Variable	Datos	
Pisos	21	9	3	567	189
Muros	34	18	3	1836	612
Losas	21	18	3	1134	378
Columnas	32	18	3	1728	576

2.3. Nivel de evaluación

En el presente trabajo se revisan e inspeccionan los pisos, los muros y la estructura de soporte como son columnas y losas, la detección se analiza de acuerdo a los mecanismos de falla, los valores de referencia son determinados con los límites de distorsión bajo las características de marcos rígidos de concreto armado, cuyos valores son límite inferior = **0.001** y límite superior = **0.003**, debido a que la construcción presenta una altura de 300 cm., el límite inferior será de **0.3** y el límite superior calculado es de **0.9** cm. cómo se observa en la **Tabla 3**, (ISCDF, 2018).

Tabla 3: Levantamiento de deformaciones de la edificación de estudio en los ejes locales.

Orden	Mecanismos de falla	Deformación de inspección (cm)			Valores de referencia (cm)		
		Piso	Muros	Estructura	Nulo	Medio	Alto
1	Agotamiento	0.1	0.3	0.1	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
2	Alabeo	0.2	0.1	0.2	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
3	Aplastamiento	0.2	0.3	0.25	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
4	Colapso	0.1	0.15	0.15	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
5	Corte	0.3	0.35	0.4	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
6	Deformación	0.25	0.25	0.25	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
7	Deslizamiento	0.1	0.2	0.1	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
8	Fisuras	0.3	0.3	0.3	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
9	Flexión	0.1	0.2	0.2	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$
10	Pandeo	0.2	0.3	0.25	$0 < x < 0.3$	$0.3 < x < 0.6$	$0.6 < x < 0.9$

- El proceso de estimulación dinámica se realiza en el sistema de piso a nivel de azotea sobre la losa. El proceso consiste en tres pasos, el primero es fijar el acelerómetro en contacto directo con la losa en la azotea, enseguida se inicia el ciclo de medición, el segundo paso es aplicar un impacto de 100 Lb con un martillo de cabeza de goma con una escala de impacto, como indica el reglamento para la prueba de carga, y el tercer paso es la toma la lectura de respuesta del movimiento vibracional en los ejes (x, y, z).
- Se grafica la respuesta en un ordenador con la ayuda del software Matlab, Los límites de servicio indicados por la norma HIVOSS, es de 0.7 m/s^2 , este límite

La presencia de las características físicas son evaluadas, así como, el desempeño que ha tenido cada elemento y de acuerdo a la capacidad para soportar efectos desfavorables, tales como falla por causa ajenas a su diseño, sin embargo, pueden ser atribuibles al procedimiento de construcción (SGM, 2017).

Se realiza la evaluación de las condiciones de la estructura de acuerdo a tres niveles de análisis, estos niveles son basados en criterios de control como se observa en la **Figura 1**, en el cual se implementa el método de análisis de deformaciones, rigideces, resistencia y elasticidad estructural (ISCDF, 2018), los niveles presentados están clasificados de acuerdo a lo siguiente:

- Riesgo **nulo** presente para clasificar la construcción como segura, debido a que en ningún momento ha alcanzado los límites de servicio, su capacidad y desempeño son óptimos (Vidal, 2013).
- Riesgo **medio** presente para clasificar la construcción como incierta, debido a que ya alcanzo los límites de servicio, pero no se tienen indicios de alcanzar el límite de falla, (en este caso se requieren pruebas de laboratorio para constatar su resistencia, realizar la evaluación acertada correspondiente a utilizar un análisis estructural detallado y emitir recomendaciones de rehabilitación utilizando procedimientos de confinamiento, contención o mallado; en este nivel su desempeño y capacidad ya es limitada (Paz, 2017), y
- Riesgo **alto** presente para clasificar la construcción como insegura. (se requiere realizar una inspección detallada correspondiente a utilizar un análisis estructural detallado y emitir recomendaciones de reconstrucción utilizando procedimientos a base de redes estructurales de confinamiento o contención). En este nivel su capacidad llego al límite y su desempeño es desfavorable (Marroquin, 2017).

$\delta_j = A_{s(j)} - B_{s(j)} > 0$ $\delta_{(i,k)} = A_{s(i,k)} - B_{s(i,k)} > 0$ $\vartheta = \Delta_{(j)} \quad \vartheta : \text{Corte}$ $\varphi = \Delta_{(i,k)} \quad \varphi : \text{Deslizamiento}$	(4)
<p><i>Si</i> $A_{s(i,j,k)} \neq B_{s(i,j,k)} \therefore \text{Alabeo}$</p> $\delta_{(i,j,k)} = A_{s(i,j,k)} - B_{s(i,j,k)} > 0$	(5)

La deformación por pandeo y los efectos de flexión se determinan con la **Ecuación 1**, la deformación por agotamiento estructural se determina con la **Ecuación 2**, la **Ecuación 3** es utilizada para determinar los efectos de compresión y reducción axial del elemento estructural por aplastamiento de la sección transversal. Los efectos de cortante y deslizamiento son determinados con la **Ecuación 4** y por último la deformación causada por alabeo es determinado con la **Ecuación 5**, (ISCDF, 2018).

3. Análisis

Se realiza la evaluación de acuerdo a las condiciones de la estructura y a los criterios de servicio mostrados en color azul en las Figuras 5, 6 y 7, de acuerdo con los valores de la **Tabla 3**, con la finalidad de evaluar y en su caso identificar indicios de inestabilidad estructural (Hurtado, 2008).

3.1. Pisos

La revisión de las condiciones de la estructura ante combinaciones de acciones se determina con las características presentes en la construcción en los pisos, tomando los valores mostrados en la **Tabla 1**, (Proteccion_civil, 2016), se procede a la identificación de acuerdo al levantamiento, se aplica la deformación de inspección posterior se grafican los valores de referencia y por último se colocan los datos de la evaluación aplicando las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 como se observa en la **Figura 5**.

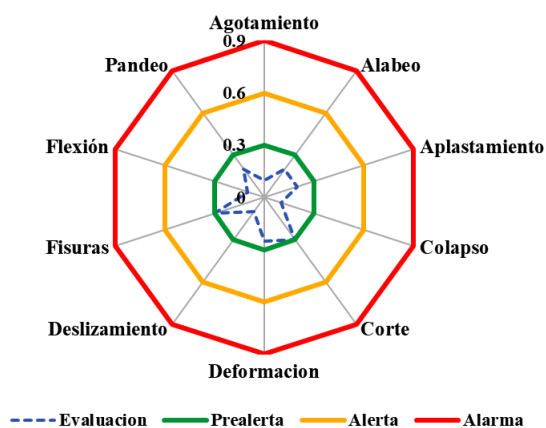


Figura 5: Esquema de las condiciones en el piso.

2.4. Evaluación

En el presente trabajo se realiza la identificación de deformaciones de una edificación con estructura a base de marcos rígidos, encontrando pisos de concreto, cimentación a base de zapatas aisladas y dados de concreto armado, muros y columnas de concreto armado, además, la losa de concreto y trabes tipo invertidas de concreto armado. Se utiliza el MCS del esquema de la **Figura 4** para identificar las **Ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5**, con los mecanismos de falla mostrados en la **Tabla 1**.

<p><i>Pandeo central</i></p> <p><i>Si</i> $A_{s(j,k)} = B_{s(j,k)}$ y $A_{s(j,k)} < C_{s(j,k)}$</p> <p><i>Pandeo lateral</i></p> <p><i>Si</i> $A_{s(j,k)} = B_{s(j,k)}$ y $A_{s(j,k)} > C_{s(j,k)}$</p> <p><i>Flexión:</i></p> <p>$\delta = A_{s(j,k)} - C_{s(j,k)} > 0 \therefore$</p> <p style="text-align: right;"><i>Pandeo central</i></p> <p>s=1,2,3,4,5,6 δ=Deformación</p>	(1)
<p>$\varphi = \delta_{max} / N_c$</p> <p>$\varphi$= Deformacion por agotamiento;</p> <p>N_c = Num. de Ciclos, Se determina en la prueba de vibración.</p>	(2)
<p><i>Si</i> $A_{s(j,k)} = C_{s(j,k)}$ y $A_{s(j,k)} = B_{s(j,k)} + \Delta_{(j)}$</p> <p style="text-align: center;"><i>Compresion y/o Aplastamiento</i></p>	(3)

La **Figura 5**, muestra en color azul las características físicas encontradas en el levantamiento de coordenadas locales de la evaluación general en los pisos de la construcción (Marroquin, 2017).

3.2. Muros

Se observa en la **Figura 6**, las condiciones para los muros, cadenas de desplante, castillos y columnas, se muestra de color azul la evaluación encontrada, además, se presenta en color gris, negro y rojo, las líneas que muestran el nivel de riesgo de magnitud **nulo, medio y alto**, respectivamente, se procede a la identificación de acuerdo al levantamiento, se aplica la deformación de inspección posterior se grafican los valores de referencia y por último se colocan los datos de la evaluación aplicando las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 como se observa en la **Figura 6**, (CENAPRED, 2018).

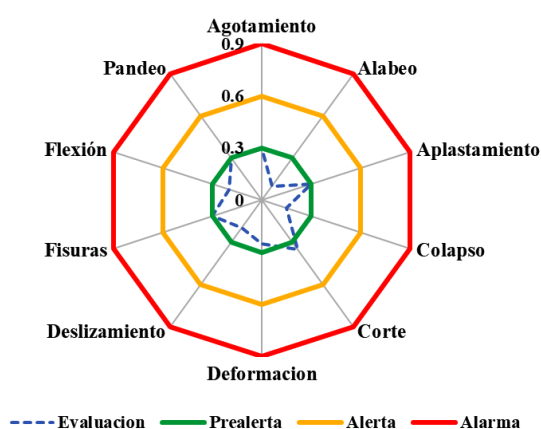


Figura 6: Esquema de las condiciones en muros.

La **Figura 6**, muestra en color azul las características físicas encontradas de acuerdo a la **Tabla 1** y la evaluación general en los muros de la construcción.

3.3. Losa

La revisión en la losa se observa en la **Figura 7**, muestra la evaluación general en la losa de concreto ante la presencia de mecanismos de falla.

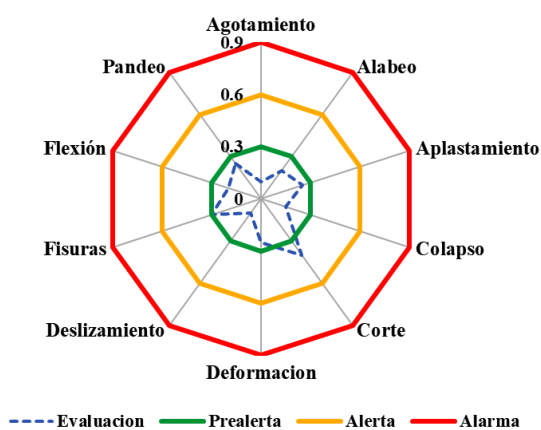


Figura 7: Esquema de las condiciones en losa.

Se procede a la identificación de las deformaciones en el sistema de piso de acuerdo al levantamiento mostrado en la **Tabla 1**, se aplica la deformación de inspección posterior se grafican los valores de referencia y por último se colocan los datos de la evaluación aplicando las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5,

El presente estudio se limita únicamente a determinar las condiciones de la estructura e identificar los criterios de servicio, por tal razón es importante aplicar el método modal experimental en la losa debido a que incumple con los criterios de servicio a nivel nulo y muestra afectaciones de alarma como se realiza en (Jerónimo, 2016).

4. Resultados

4.1. Muestreo de datos

Para el diseño de la muestra se registraron las deformaciones identificando en cada elemento estructural los puntos A, B y C, utilizando el esquema de la **Figura 4**, verificando los ejes globales y ubicarlas en el plano arquitectónico, se realizó la designación de elementos estructurales, cabe hacer mención que en el caso de que las dimensiones de las cotas en el plano arquitectónico tuvieran variación se registraban como posible deformación.

La revisión de las condiciones de servicio se realiza en los nodos de la estructura (Milián, 2019). Se realizó un programa de obra por cobertura de los diferentes elementos estructurales, utilizando el procedimiento de ejes ortogonales para identificar los puntos A, B y C, ubicándolos en los extremos y centros de claro en zonas visibles utilizando la **Figura 4**.

4.2. Adquisición de datos

Se implementó una bitácora de información de los elementos estructurales, inicialmente se realizó una hoja de apertura, donde se estable los ejes posibles a revisar, debido al levantamiento de la selección de la muestra, dicho lo anterior, se procedió a identificar los puntos A_S , B_S y C_S . Identificando la deformación presente y el tipo de mecanismo de daño y se generó la **Tabla 4**.

Posteriormente, se realizó una hoja por cada elemento estructural identificándolo con una numeración continua y ubicándolo en el eje correspondiente y en el tramo analizado.

4.3. Procesamiento de información

Para cumplir con el control de cobertura de la adquisición de datos, se realizó un control de información, este consistió en seleccionar cuales de los mecanismos de falla son relevantes, es decir, las coordenadas de los ejes locales se compararon con la información de los valores de referencia mostrados en la **Tabla 3**, el procedimiento se conformó utilizando las magnitudes máximas de los desplazamientos nodales de las variables de la **Tabla 4**.

Dicho procedimiento se utilizó para identificar los máximos desplazamientos en los pisos, muros y losas, con estos valores de inspección se genera la **Tabla 3** y se realiza la gráfica respectiva como se observa en las **Figuras 5, 6 y 7**.

De la misma forma se realiza la comparación de resultados, por consiguiente, se detecta que la construcción presenta indicios de alerta en una zona de la losa, esto se observa en la **Figura 7**, por lo tanto, se procede a realizar la prueba de vibración en el lugar de referencia para determinar el criterio de servicio en la zona más afectada.

4.4. Criterios de servicio

La evaluación de las ZIV mostro valores de acuerdo al nivel de riesgo, en la losa de concreto armado el nivel sobrepaso el nivel prealerta, por tal motivo los criterios de servicio fueron detectados por medio del análisis modal experimental (Andrés, 2014). Esto se observa en la **Figura 8**.

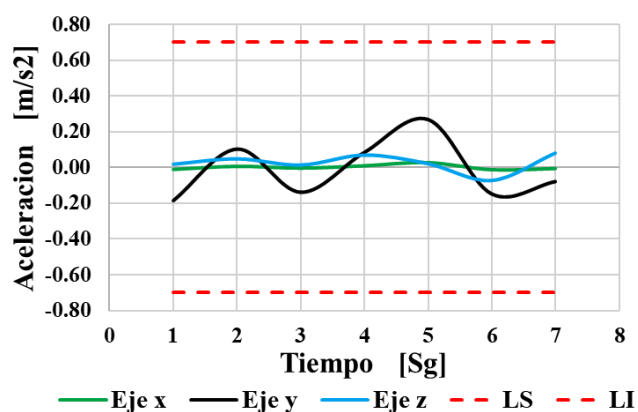


Figura 8: Gráfica de los criterios de servicio.

El criterio de servicio en la losa muestra magnitudes representativas similares a las encontradas en la literatura, debido a que se encuentra dentro de los límites de la normativa HIVOSS, esto demuestra que los efectos de flexión en la losa son medidos por el instrumento, las condiciones son aceptadas debido a que cumplen con los parámetros reglamentarios (SSN_UNAM, 2017), como se observa en la **Figura 8**.

5. Discusión

Se realizó la inspección y levantamiento físico, encontrando nulos indicios de agotamiento de la capacidad estructural (DGOARN, 2023), dicho comprobado con las **Figuras 5, 6 y 7**, no se observan deformaciones de importancia debido a que su magnitud se encuentra por debajo de los valores de referencia mostrados en la **Tabla 3** (Ghasemi, 2021), lo que demuestra desempeño estructural activo.

Se determinó la geometría de elementos estructurales y se observa la presencia de dimensiones con una variabilidad menor a las reglamentarias, con características aceptables para

transmitir de forma eficiente las cargas a la cimentación como se observa en la **Tabla 3**.

Por otro lado, los efectos de las cargas impuestas de la edificación, como son los esfuerzos constante, flexional y torsional (Perez, 2020), son soportados por la geometría de los elementos que forman los tableros estructurales horizontales y verticales, esto se muestra en la **Figura 8**, por lo siguiente (SEGOB_MR, 2006), al momento de planear incrementar la carga por efecto de una construcción adicional en forma vertical u horizontal, se requiere la revisión estructural detallada debido a un posible incremento de la sección transversal de los elementos de soporte o adición (Proteccion_civil, 2016), para asegurarse de cumplir con las magnitudes nominales de esfuerzo resistente.

6. Abreviaciones y Acrónimos

- **CENAPRED**: CENtro Nacional de PREvención de Desastres. (México)
- **CNS**: Centro Sismológico Nacional. (Chile)
- **DGOARN**: Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales. (El Salvador).
- **EERI**: Earthquake Engineering Research Institute (Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica) (EE. UU.).
- **HIVOSS**: Human Induced Vibration of Steel Structures, Vibración inducida por el hombre de estructuras de acero, (Normativa Comisión Europea).
- **IASPEI**: The International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (La Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra) (EE. UU.).
- **ISCDF**: Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal. (México).
- **SEGOB**: SEcretaría de GOBernación. (Hidalgo, México).
- **SGM**: Servicio Geológico Mexicano, (México).
- **SSN_UNAM**: Servicio Sismológico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, (México).
- **ZIV**: Zona de Impacto Visible. (Abreviatura).

7. Conclusiones

La construcción muestra estabilidad y certidumbre en su funcionamiento debido a las ventajas siguientes:

1. Son aceptables las condiciones de la estructura en los pisos, muros y losa, su estructuración de soporte principal es a base de concreto y el sistema de piso se encuentra en condiciones óptimas, debido a que su evaluación muestra condiciones de servicio inmersas en las magnitudes aceptables en la literatura.
2. Los criterios de servicio son aceptables, muestran condiciones con magnitudes por debajo de las reglamentarias, dando como resultado el nivel de riesgo estructural Nulo.

3. Los elementos construidos no presentan deformaciones ni alteraciones, no existe iniciación a límite de falla, la construcción no representa indicios de riesgo estructural.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la colaboración del grupo de investigación ingeniería civil forense del área académica de ingeniería y arquitectura, (ICBI), a la dirección de servicios académicos de la división académica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por su apoyo para la realización de la presente investigación.

Referencias

- Andrés, P. (2014). Análisis modal del banco de ensayo de vibraciones del Laboratorio del Departamento de Ingeniería Mecánica. *Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica Análisis*, 72.
- Carrión, J. (2001). Evaluación y detección de daño en estructuras utilizando un método inverso por sub- dominios. *Publicación Técnica No. 166 Sanfandila, Qro, 2001, 166, 52*. <https://doi.org/https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt166.pdf>
- CENAPRED. (2018). Evaluación de la seguridad estructural de edificios. *Centro Nacional de Prevencion de Desastres CENAPRED, MEXICO*, 1–83.
- DGOARN. (2023). Escalas de Magnitud. *Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales SIHI*, 503, 9631. <https://doi.org/https://www.snet.gob.sv>
- EERI. (2015). Estados de daño Anexo C. (*Earthquake Engineering Research Institute, Con Sede En Oakland, California*, 10. https://doi.org/https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/13ANE_XO_C.pdf?jsessionid=C34BEC2DA80A20F7A12E60E09D4C186F?sequence=13
- CNS. (2016). *Escalas de magnitud sísmica Notas Enlaces externos*. (n.d.). 4.
- Escamilla, J. (2018). Caracterización Geoestadística de una Probable Intrusión Magmática Activa , a Partir de la Sismicidad Reciente en el Estado de Hidalgo. *Boletín Científico Del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI)*, 11(11), 43–47. <https://doi.org/https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/7633/>
- CNS. (2016). *Fórmulas para estimar la magnitud de un sismo 20*. (2016). 29784000.
- Ghasemi, A. (2021). Wellington building inventory: rapid earthquake response framework. *NZSEE, New Zealand Society*, 8. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/10092/101528>
- Gutierrez, F. (2013). Leyes de atenuación de desplazamientos para sismos asociados al proceso de subducción. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 124. https://doi.org/http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4049/FIC-M-2013-1000.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hurtado, J. (2008). Relacion de la escala de intensidad de Mercalli y la informacion instrumental como una tarea de clasificacion de patrones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Volumen 7, No. 13, Pp. 71-84 - ISSN 1692-3324 - Julio-Diciembre de 2008/164 p. Medellín, Colombia*, 13, 71–84.
- ISCDF. (2018). Estadística, analisis y acciones resilientes del Sismo del 19 de septiembre de 2017. *ISCDF CDMX*, 42. <https://doi.org/https://www.ern.com.mx/web/sites/default/files/convencion2018/pdf/04.pdf>
- Jerónimo, G. (2016). Parámetros de diseño sísmico para algunos estados del pacífico mexicano: Michoacán, Guerrero y Oaxaca. *Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco*, 228. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11191/6196>
- Marroquin, R. (2017). Reporte estructural Unidad Cuajimalpa. *UAM, Unidad Cuajimalpa*, 6. <https://doi.org/https://www.uam.mx/sismo/dictamenes/docs/Cuajimalpa/Reporte-estructural-Unidad-Cuajimalpa.pdf>
- Milián, G. A. (2019). Foro internacional de edificaciones sustentables y la normalizacion. *Instituto de Ingeniería de La UNAM*, 30. <https://doi.org/http://www.alianzaifiidem.org/II-foro-2021.html>
- Morejón, G. (2017). Evaluación de la seguridad estructural de edificaciones posterremotos. *Ciencia En Su PC, Núm. 4, 2017, Pp. 78-90*, 14. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/1813/181353794006.pdf>
- Ortega, J. (2020). Mineral de la Reforma, un municipio en su centenario. In *Lagarto Libros | Mina Editorial*. <https://doi.org/http://www.mineraldelareforma.gob.mx/>
- Paz, G. (2017). Determinación de una escala de magnitud local para el noreste de México. *Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias de La Tierra*, 87. <https://doi.org/http://eprints.uanl.mx/id/eprint/14366>
- Peces, R. (2008). Evaluación regional de inestabilidades de ladera por efecto sísmico en la Cuenca de Lorca (Murcia): Implementación del método de Newmark en un SIG. *Boletín Geológico YMinero*, 119 (4): 459-472. *Moderada*, 459–472. <https://doi.org/https://core.ac.uk/download/pdf/19722595.pdf>
- Pérez, L. (2014). Análisis sismotectónico regional fuentes sismogénicas locales en la zona. *Boletín de Geología*, 25.
- Perez, X. (2020). Magnitud local y parámetros de atenuación para el estado de Hidalgo Índice. *Ingeniera Geofísica*, 101. <https://doi.org/http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/17316/Tesis.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Proteccion_civil. (2016). Evaluación de la seguridad estructural de edificios. *SEGOB*, 296.
- SEGOB_MR. (2006). Plan municipal de desarrollo 2003-2006, mineral de la reforma, hidalgo. *SEGOB Mineral de La Reforma*, 90. https://doi.org/http://planestataldesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/PMD/051-MINERAL_DE_LA_REFORMA/PMD_Mineral_de_la_Reforma.pdf
- SGM. (2017). Sismología de México. *Museo Virtual de Geología Del SGM*, 12. <https://doi.org/https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- SSN_UNAM. (2017). Magnitud de un sismo Cálculo de la magnitud Tipos de magnitud. *Servicio Sismologico Nacional de La UNAM*, 4. <https://doi.org/http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>
- Vidal, A. (2013). Escala de magnitud Richter. *Ciencia y Desarrollo 2013*, 7. <https://doi.org/https://resnom.cicese.mx/sitio/images/Richter.pdf>
- White, G. (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. *Azima DLI 300 TradeCenter, Suite 4610, Woburn, MA 01801 U.S.A p. 781-938-0707, f: 781-935-0179, 148*.