

## DICTAMINACION ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS DE MEDIANA ALTURA AFECTADOS POR EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

*Joel Martinez Martinez<sup>(1)</sup>, Rubén Carrillo Arvayo<sup>(2)</sup>,*

Director, MM ENGINEERS S.C., Av. Lázaro Cárdenas 1810, Torre Capitel, Col. Del Paseo Residencial, CP. 64920, Monterrey, N.L. Tel (81) 1559-9179, joel.martinez@mm-eng.com

<sup>2</sup> Gerente, MM ENGINEERS S.C., Av. Paseo de la Reforma 342, Torre New York Life, Col Juárez, C.P. 06600, Ciudad de Mexico, Tel (55) 2881-6668, ruben.carrillo@mm-eng.com

### RESUMEN

A raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017 observamos discrepancias en los dictámenes visuales elaborados de forma masiva y dictámenes también elaborados por DROs de manera privada, esto debido a diferentes factores que se describen más adelante. Entonces el objetivo de este trabajo, es presentar una evaluación numérica de un edificio mediana altura (17 pisos) localizado en la ciudad de Puebla con el fin de conocer y determinar su estado actual de manera más asertiva, para determina si este se encuentra en condiciones aceptables de seguridad para continuar operando sin necesidad de un reforzamiento o si presenta daños estructurales que comprometan su integridad y por lo tanto debe evacuarse. En este caso se encontró una fuerte discrepancia del estado real de la estructura con lo dictaminado inicialmente.

### ABSTRACT

The objective of this paper is to present a numerical evaluation for a medium-height building (17 stories) located in the city of Puebla to determine its current structural condition, that is, to know if it is in optimal conditions to continue operating without reinforcement or if it presents structural damage that compromises its integrity as a result of the earthquake of September 19, 2017.

### INTRODUCCIÓN

Después de ocurrido el sismo del 19 de septiembre de 2017, protección civil en conjunto con algunas universidades crearon las brigadas para la revisión estructural de inmuebles en las ciudades que presentaron mayor afectación por el sismo, sin embargo al trabajar en varias de estas brigadas surgió una pregunta importante: ¿Tenemos idea del daño que buscamos en los inmuebles?, esta inquietud surgió debido a que gran parte de los brigadistas en esta etapa eran estudiantes, ingenieros, arquitectos, etc, que buscaban apoyar a la autoridad. Sin embargo, aunque se tenga una buena intención, una capacitación rápida y un recuadro para identificación de daños, no es suficiente para realizar un dictamen asertivo sobre el estado actual de un inmueble, ya que además de esto se requiere experiencia y equipo para poder inspeccionar las edificaciones de manera efectiva, ya que en muchos de los casos la estructura cuenta con recubrimientos que no permiten revisar la estructura adecuadamente.

Existieron casos de edificios dictaminados por dos brigadas distintas o DRO, donde un dictamen (elaborado por la brigada o DRO) indicada que el edificio era seguro y el dictamen de la segunda brigada lo determina como inseguro, por lo que es estos casos los dueños quedaron con más incertidumbre sobre la situación real del inmueble.

Adicionalmente, es importante mencionar que una inspección visual llevada a cabo de manera adecuada si puede determinar si el edificio presenta daños o no, sin embargo, esto no determina si el edificio es vulnerable o no

ante algún evento futuro, y de alguna manera los propietarios de los edificios se sienten amparados y seguros porque protección civil ha dado un visto bueno a su estructura, este punto genera un aumento en la confianza de que su edificio puede resistir otro sismo, por el hecho de no haber encontrado daños, interpretación que no es del todo correcta. Esta situación también se puede observar dada la diferencia del sismo del 1985 con el de 2017 los cuales presentan diferentes aceleraciones y frecuencias, lo que hizo que algunos edificios que no se afectaron en el primer sismo si se vieron muy afectados en este, situación que hizo varios dueños de edificios de mediana altura estuvieran reacios a aceptar que su inmueble pudiera tener daño ya que en el sismo de 1985 no habían tenido afectaciones.

Entonces, para la inspección visual se requiere de mucha experiencia y conocimiento para poder tener una idea clara de la situación real del edificio, así como poder tener acceso a las zonas adecuadas del edificio para evaluarlo. Sin embargo, para realizar un dictamen objetivo donde además se pueda determinar que tan vulnerable ante sismos futuros o con respecto a la normas se deben realizar estudios adicionales, los cuales se describen a continuación.

- Levantamientos topográficos para medir asentamientos y desplomes
- En caso de no contar con planos del edificio, complementar con un levantamiento estructural
- Pruebas de los materiales (destructivas o no destructivas)
- Modelado estructural del edificio, para realizar un análisis
- Inspección visual detallada, donde se retiren los acabados del edificio, particularmente de las zonas que presentan más daño según el análisis realizado

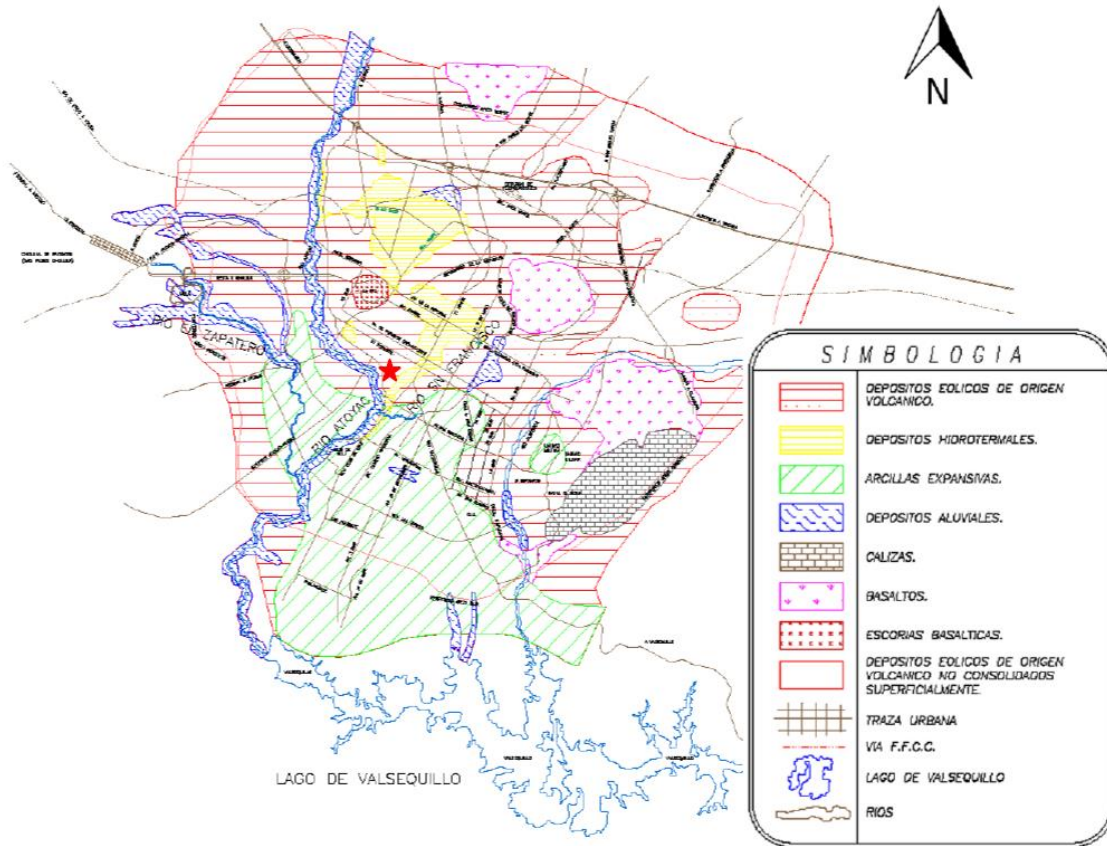
En este artículo se expondrá un edificio ubicado en la ciudad de Puebla, el cual presenta un daño extendido por sismo es su estructura, aun cuando en las brigadas de protección civil y DROs habían comentado que la estructura no presentaba daños, creemos que debido a la situación de emergencia y por no haber retirado acabados como plafones rígidos, no lograron observar los daños en la estructura principal del edificio.

## **REVISION ESTRUCTURAL DE EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA EN PUEBLA**

En este trabajo se busca presentar el estado actual de una edificación de mediana altura en la ciudad de Puebla a consecuencia del sismo del 17 de septiembre de 2017, para ello fue necesario generar una serie de trabajos como son, visitas al sitio, inspecciones a la estructura, revisión de las propiedades mecánicas del concreto por medio de pruebas no destructivas, levantamiento de las cuantías de acero presentes en los elementos estructurales, así como corroboración del daño una vez hecho el análisis al modelo matemático vs los daños observados en sitio. Este edificio había sido revisado en dos ocasiones después del sismo por un DRO y el resultado de su dictamen había arrojado que le edificó se encontraba en buenas condiciones, situación que no tuvo conforme al dueño inmueble y busco una segunda opinión.

### **UBICACIÓN**

El edificio a investigar se encuentra en la colonia “La Noria”, en la ciudad de Puebla y presenta un uso mixto entre hotel y oficinas (figura 1).



**Figura 1** Localización del predio en estudio (estrella roja) con respecto al mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Puebla. Fuente: Azomoza et al., 1998

## GEOMETRÍA

La geometría del edificio utilizada para el análisis y diseño se basó en planos arquitectónicos y especificaciones que nos fueron proporcionados por parte del dueño del inmueble (figura 2,3 y 4), de ellos se obtuvieron los niveles, dimensiones, separaciones y distribuciones de los elementos para el posterior diseño estructural. Las secciones y dimensiones de los elementos finales de la estructura fueron obtenidos con mediciones en campo.

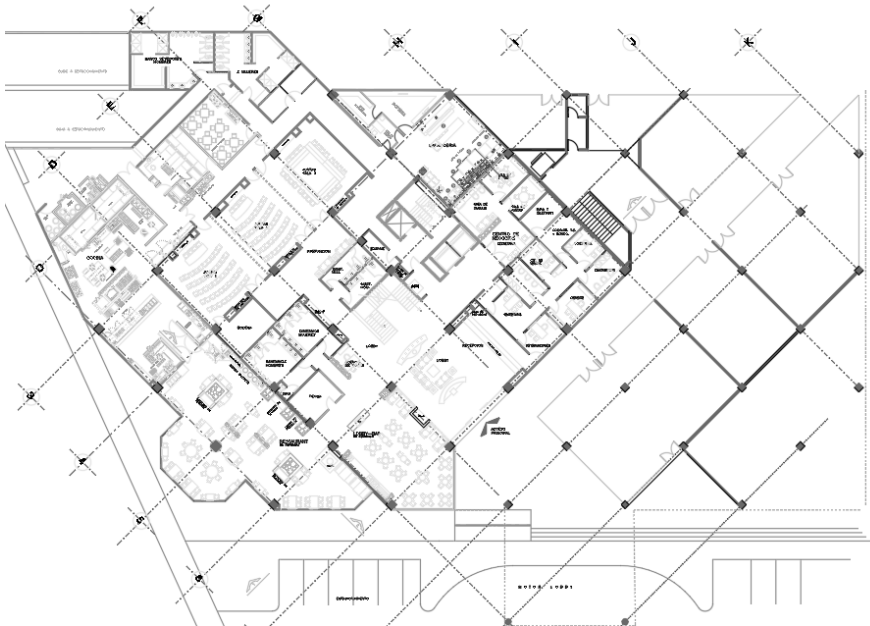


Figura 2 Planta baja, edificio "La Noria".

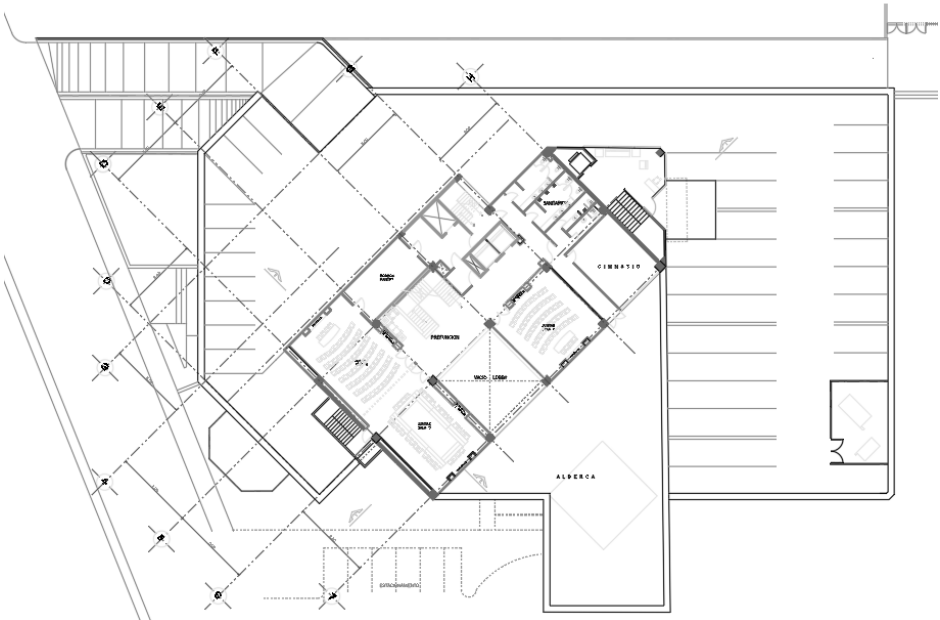


Figura 3 Planta de amenidades, edificio "La noria".



*Figura 4 Planta tipo nivel 2 al 17, edificio "La Noria".*

## ESTRUCTURACION

El edificio está compuesto por marcos de concreto reforzado en dos direcciones, con cuatro crujías en el sentido longitudinal y dos crujías en el sentido transversal, la sección de columnas que se logro medir en varios niveles presentaba un diámetro de 75cm, mientras que las vigas del sistema de piso observadas presentaban una dimensión de 75X30cm. De igual manera se logro detectar la presencia de muros de mampostería en las crujías perimetrales del edificio, elementos que proporcionan rigidez lateral a todo el sistema.

## MATERIALES

Debido a que no se contaba con la información de construcción del edificio fue necesario, realizar pruebas a los materiales como el concreto con la finalidad de determinar su resistencia a compresión, para ello se utilizo un martillo de rebote (esclerómetro), a si mismo para conocer los armados de refuerzo en los elementos estructurales de utilizo el equipo ferroscañ PS200s, de Hilti. Con los cuales obtuvimos la tabla 1.

Tabla 1. Resistencia a compresión de los elementos estructurales

Columna	400 kg/cm <sup>2</sup>
Vigas	320 kg/cm <sup>2</sup>
Firmes	250 kg/cm <sup>2</sup>

## ESTUDIO DE VIBRACION AMBIENTAL

Buscando comprender de mejor manera el comportamiento dinámico de la edificación, se realizó un estudio de vibración ambiental, el cual consistió en un primer paso en determinar el periodo del sitio donde se encuentra desplantado el edificio y posteriormente en la determinación del periodo fundamental de la estructura (Tabla 2).

Tabla 2 Resumen de frecuencias y modos de vibrar de la estructura.

ELEMENTO	MODO DE VIBRAR	# MODO	F (Hz)	T (S)
C. PRINCIPAL	LONGITUDINAL	1	0.58	1.73
		2	1.07	0.94
		3	1.68	0.59
		4	2.94	0.34
C. PRINCIPAL	TRANSVERSAL	1	0.74	1.36
		2	2.79	0.36
C. PRINCIPAL	TORSION	1	1.07	0.94
		2	3.84	0.26
		3	7.67	0.13
		4	17.51	0.06

## ANÁLISIS DE CARGAS

Las cargas permanentes en la estructura se establecieron en función a su uso y estructuración, el uso actual del edificio es hotel y oficinas por lo cual se establecieron los parámetros de carga viva para cada caso, presentes en la reglamentación vigente de la ciudad de Puebla, sin embargo para la revisión sísmica, se utilizó un registro acelerográfico obtenido por medio de la red de registros sísmicos del instituto de ingeniería de la UNAM (2017), utilizando el registro de la estación San Alejandro, la cual se encuentra a 2 km al noroeste del sitio de interés. A continuación, se muestra el acelerograma utilizado. (figura 5)

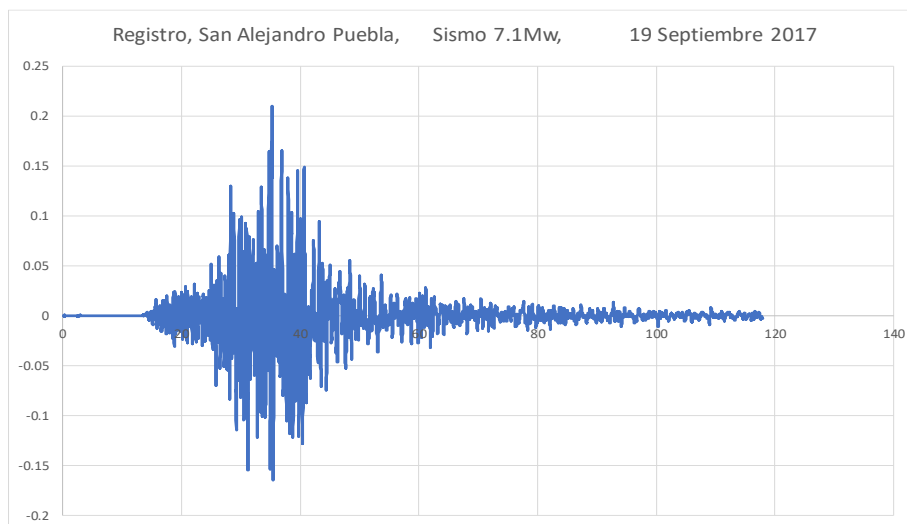
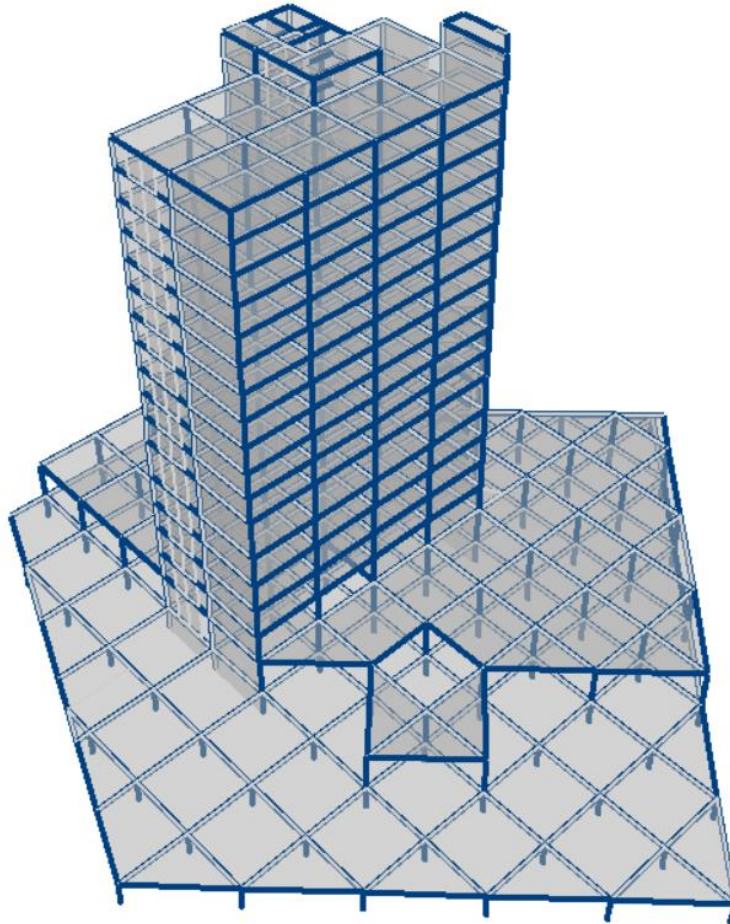


Figura 5. Registro acelerométrico de la estación SAN ALEJANDRO en la ciudad del Puebla, del sismo del 19/sep/17

## MODELACION

Obtenidos los parámetros geométricos y mecánicos de la estructura, se realizó un análisis lineal elástico del edificio con el programa de computo SAP2000, En la próxima figura (figura 6) se presenta un vista en 3D del modelo matemático del edificio donde se incluyen únicamente los elementos estructurales y no estructurales que pudieran afectar de alguna manera la rigidez y resistencia de la estructura.



*Figura 6 Modelo 3d de edificio Puebla.*

Una vez realizado el modelo y calibrado su periodo a los presentes en el estudio de vibración ambiental, procedimos a realizar un análisis tiempo-historia con el registro sísmico de la estación “San Alejandro”, la salida del modelo matemático nos arroja varias secciones sobre esforzadas a consecuencia de las demandas sísmicas del evento del 19 de septiembre de 2017 (figura 7, 8, 9)

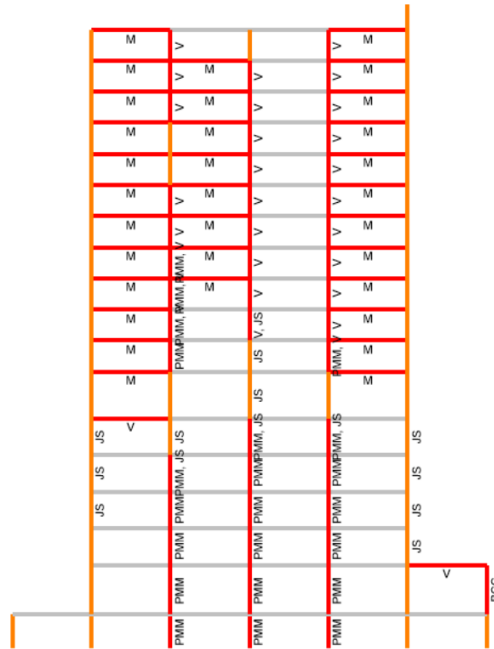


Figura 7 Identificación de fallas estructurales en marco longitudinal.

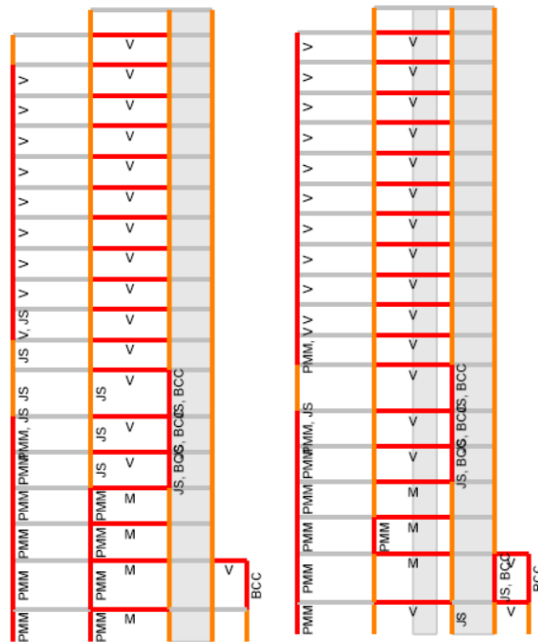
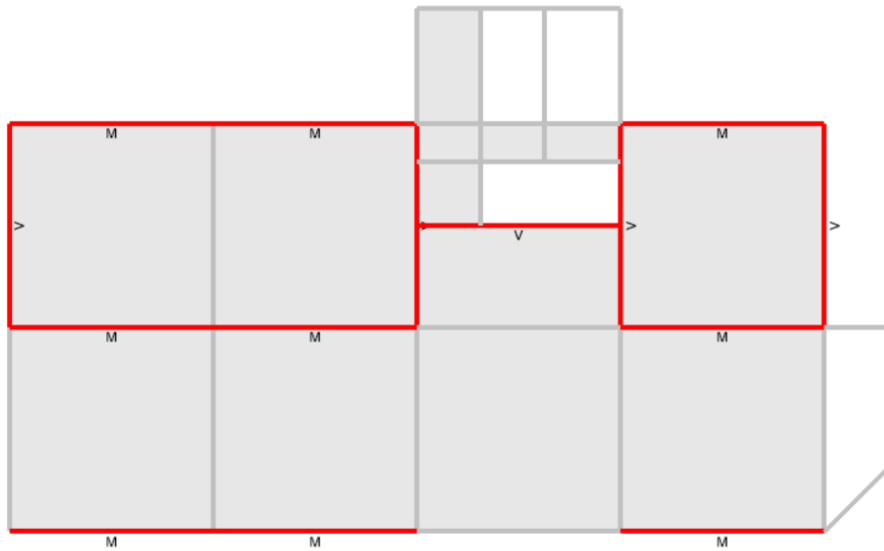


Figura 8 Identificación de fallas estructurales en marco transversal.





*Figura 9 Identificación de fallas estructurales en planta de entrapiso.*

Los daños observados en el modelo estructural presentan gran semejanza con los detectados en los recorridos de inspección visual del edificio, en los que se observaron daños por cortante y flexión en las vigas de entrapiso (figura 10). Se colocó cinta adhesiva a un costado de las fisuras para hacer más fácil su identificación.



*Figura 10 Fallas detectadas en trabes, durante recorridos de inspección visual.*

## CONCLUSION

Los dictámenes por inspección visual solamente suelen tener un alto grado de incertidumbre ya que dependen del conocimiento y experiencia del ingeniero, así como del grado de detalle de la inspección, ya que generalmente no se cuenta con el tiempo ni herramientas para remover acabado. Asimismo, otro aspecto muy importante que típicamente no se clarifica a los dueños es el hecho que el dictamen visual es solamente para encontrar posibles daños y no la vulnerabilidad del edificio. En este artículo se comprueba esto para un caso en particular, donde por inspección visual el edificio aparentemente estaba en buen estado y al hacer la revisión se encontraron daños y deficiencias para el sismo ocurrido, y con un estudio detallado se encontró daño extensivo.

De acuerdo al análisis del modelo numérico y a la evidencia física encontrada en el edificio, es factible determinar que el edificio presenta daño estructural a consecuencia del evento sísmico del 19 de septiembre de 2017, analizando la información que arroja el modelo matemático, se observa un bajo nivel de participación modal en los modos fundamentales (50%), lo que hace que los modos superiores adquieran una mayor relevancia. A si mismo se detecto en el estudio de vibración ambiental un acoplamiento entre el modo fundamental a torsión y el segundo modo longitudinal del edificio lo que pudo derivar en esfuerzos superiores a los previstos durante su diseño, corroborando efectivamente el daño estructural en el inmueble.

Debido al tipo de daño localizado en la mayoría de la estructura (cortante), la vulnerabilidad en la estructura se considera alta, ya que este tipo de falla está catalogada como frágil, **por lo que el edificio podría no ser competente para soportar otro sismo de magnitud severa y es requerido un reforzamiento para su futura operación.**

## REFERENCIAS

Azomoza, G., Vera, A., y Reyes, L. (1998). Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla, memorias del XIX reunión nacional de mecánica de suelos, Noviembre, Puebla; Pue, México.

Departamento del distrito federal. Normas técnicas complementarias para diseño por sismo, Gaceta oficial del departamento del distrito federal 2004.

Departamento del distrito federal. Normas técnicas complementarias para diseño por sismo, Gaceta oficial del departamento del distrito federal 2017.

Instituto de ingeniería de la universidad autónoma de México. (2017). Base de datos de registros acelerograficos de la RAII-UNAM. CDMX: <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/Consultas/FiltroAv.aspx>

Ismael, E. (2019) Informe técnico edificio la noria.

Martinez, J., Carrillo, R., Carrillo, V. (2018). Reporte de inspección de daños en edificio Cuauhtémoc 614.

Martinez, J., Carrillo, R., Carrillo, V. (2019). Reporte de inspección de daños en edificio Insurgentes 149.