

Propuesta metodológica para la evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica de hoteles construidos antes de 1985 en la zona tradicional de Acapulco, Guerrero, México.

LÓPEZ-GAMA, Roberto*†, ARROYO-MATUS, Roberto, GUINTO-HERRERA, Esteban Rogelio, CUEVAS-SANDOVAL, Alfredo.

Universidad Autónoma de Guerrero.

Recibido: Agosto, 22, 2017; Aceptado Febrero 9, 2018

Resumen

Las costas de Guerrero se localizan en una zona con alta actividad sísmica. Según estudios recientes, la ausencia de eventos sísmicos importantes en esta región ha acrecentado la probabilidad de que ocurra un sismo de magnitud 8.0 Richter o superior. Por este motivo, es urgente tomar medidas para identificar si la infraestructura civil presenta un adecuado desempeño estructural –sobre todo, la hotelera de ciudades situadas en la franja costera, como el Puerto de Acapulco–. Estas edificaciones, construidas mayoritariamente antes de 1985, comúnmente presentan, deficiencias estructurales, de construcción y de mantenimiento.

En este trabajo se presentan los resultados de una metodología novedosa, de tipo cualitativo (basada principalmente en las características geométricas de la edificación), para realizar evaluaciones estructurales rápidas. Ésta fue aplicada en una población de 154 hoteles –de la Zona Tradicional de Acapulco–, permitiendo definir su nivel de seguridad estructural actual, en tres categorías: Baja, media o alta.

La metodología propuesta permite, en caso de resultar necesario, definir de forma directa y preliminar el tipo de estrategia para rehabilitar o reforzar al edificio. Así, este trabajo presenta dicha metodología aplicada a uno de los edificios estudiados y se incluye su modelado, para su posterior análisis por un método dinámico detallado.

Palabras clave: Evaluación, vulnerabilidad, Acapulco, sismo.

Abstract

The coast of Guerrero is located in an area with high seismic activity. According to recent studies, the absence of major seismic events in this region has increased the probability of an earthquake of a Richter magnitude 8.0 or higher. For this reason, it is urgent to take into account, measures to identify if the civil infrastructure has an adequate structural performance –mainly, hotel buildings of cities located in the coastal strip, like the Port of Acapulco–. These structures, mostly built before 1985, have in most cases, structural, construction or maintenance deficiencies.

In this paper, the results of a new qualitative methodology (based mainly on the building geometric characteristics) to perform rapid structural evaluations, is presented. It was applied in a group of 154 hotels, –from the traditional zone of Acapulco–, allowing to define its current level of structural security, in three categories: Low, medium or high.

The proposed methodology allows establishing, in a direct and preliminary way, the need to implement strategies, if necessary, for their rehabilitation and / or reinforcement. Thus, the process, that includes the modeling of the building for its subsequent analysis by a detailed analysis method, is presented as an example.

Keywords: Evaluation, vulnerability, Acapulco, earthquak

Citación: LÓPEZ-GAMA, Roberto*†, ARROYO-MATUS, Roberto, GUINTO-HERRERA, Esteban Rogelio, CUEVAS-SANDOVAL, Alfredo. Propuesta metodológica para la evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica de hoteles construidos antes de 1985 en la zona tradicional de Acapulco, Guerrero, México. Foro de Estudios sobre Guerrero, 2017. Mayo 2018- Abril 2019 Vol.4 No.5 93-105

*Correspondencia al Autor: rlgama@uagro.mx

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Durante su existencia, el hombre tiene la necesidad de desarrollarse en grupos sociales, tales como comunidades o ciudades. Para esto ha tenido que proveerse de refugios en donde protegerse de los peligros naturales. Al inicio utilizó refugios rústicos como cavernas; después, pequeñas casas de madera, lodo, piedras, etc.; y, actualmente, complejas estructuras elaboradas con materiales combinados, como cemento, agregados y acero. Estas estructuras están, sin embargo, también expuestas a los efectos producidos por los fenómenos naturales, como los sismos.

El estado de Guerrero se encuentra ubicado en una zona de alta actividad sísmica debido a la interacción entre la placa de Cocos y la de Norteamérica, por lo que existe un riesgo constante de que se origine un sismo de magnitud 8.0 Richter o más. La probabilidad de que éste suceda ha crecido por la ausencia de actividad sísmica de los últimos 110 años en esta zona, a la que se le ha denominado “Brecha de Guerrero”, (González, J. R, 2008).

Existen diversos ejemplos de la fuerza destructiva que puede generar un sismo; los efectos más desastrosos de un terremoto se producen en lugares densamente poblados, por ejemplo, en 1906 San Francisco fue sacudido por un terremoto de magnitud 8.3 Richter. Éste causó la muerte de 1,500 habitantes, 300,000 quedaron sin hogar y provocó pérdidas económicas alrededor de los 5 billones de dólares.

Otro ejemplo similar fue en Japón en 1923, donde se produjo un terremoto en la isla de Honshu, con una duración de 16 segundos y una magnitud de 8.3 Richter. Este sismo destruyó 450,000 edificios en Tokio y Yokohama, ciudades pobladas por siete millones de habitantes. Causó la muerte de 150,000 personas, 1.9 millones quedaron sin hogar y la cifra por pérdidas económicas fue de alrededor de 1,000 millones de dólares.

En la ciudad de México, el 19 de septiembre de 1985, a las 7:17 horas ocurrió un terremoto de magnitud 8.1 Richter. Este causó la muerte de aproximadamente 11,000 habitantes, 30,000 heridos, 95,000 perdieron su hogar y las pérdidas económicas fueron alrededor de los 1,000 millones de pesos.

El sismo sucedido en Haití en el año 2010, con una magnitud de 7.0 Richter, demuestra que un sismo no causa daño por su alta magnitud, sino que produce más daño en lugares donde existe una mayor vulnerabilidad sísmica, asociada al alto nivel de marginación. Este sismo causó más de 230,000 muertes y una pérdida económica que supero el Producto Interno Bruto de este país.

Así, los sismos de San Francisco, Japón y México, con magnitudes Richter mayores a 8, provocaron juntos menos muertes y daños que el sismo de Haití de 2010.

El sismo originado en Sumatra de magnitud 9.0 en la escala de Richter en el 2004, causó la muerte de 230,507 personas aproximadamente y daños económicos incalculables; datos similares a los causados por el sismo de Haití en el 2010 (Pellini, C. 2015). Estos datos refuerzan la teoría de que los sismos producen mayores daños en zonas de alta vulnerabilidad sísmica, y no necesariamente debido al tamaño de su magnitud.

Por todo esto, es importante implementar medidas para prevenir futuros desastres, como construir edificios sismo-resistentes, revisar de forma continua los reglamentos de construcción, realizar trabajo de investigación para la innovación de procesos constructivos y materiales de construcción; pero sobre todo, desarrollar programas de evaluación de vulnerabilidad sísmica, la cual se define como la predisposición de una edificación a sufrir daños debido a la interacción con un sismo.

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una metodología cualitativa rápida de evaluación estructural, a través de un formato de fácil aplicación, que determine de forma acertada el grado de vulnerabilidad estructural; y además, permita identificar las estructuras que posean un alto potencial de sufrir daños ante los efectos de un sismo importante. Se plantea que la metodología permita también identificar si es necesaria una intervención profesional para realizar un estudio de tipo cuantitativo y detallado.

El método propuesto es de tipo cualitativo, ya que toma en cuenta las características geométricas-estructurales del edificio. El uso de este tipo de método tiene ciertas ventajas: a) Permite una evaluación estructural rápida de la vulnerabilidad sísmica, permitiendo realizar evaluaciones de forma masiva, b) Se puede aplicar en diferentes tipos de edificaciones, c) Identifica a las estructuras que necesitan un análisis más detallado y d) Permite una evaluación preliminar y sienta las bases para una evaluación analítica a detalle.

Ejemplos de este tipo de método para la evaluación de la seguridad estructural de edificaciones, son: a) El método japonés, (Ministerio de Construcción de Japón, 2001), b) El método mexicano, (Iglesias, J., 1986), empleado para evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México tras el terremoto de 1985, y c) el método ATC-21, (FEMA Report 154. 1988). Dichos métodos consisten básicamente en establecer el nivel de vulnerabilidad sísmica basándose en la configuración en planta y en elevación, la ubicación, así como el comportamiento de la cimentación y el nivel de deterioro o daño de la edificación.

Con el empleo de este tipo de método, se tiene la posibilidad de integrar un diagnóstico de vulnerabilidad sísmica de las estructuras existentes, y diseñar estrategias que permitan evitar o mitigar los probables daños producidos por sismos futuros y pueden establecerse programas de rehabilitación y/o refuerzo de las estructuras que resulten con alta vulnerabilidad sísmica, los cuales podrían ser desarrollados por los gobiernos o la iniciativa privada.

El Puerto de Acapulco constituye el motor económico del estado de Guerrero, pues la actividad turística es su principal fuente de ingreso nacional y extranjero. En el 2011, Acapulco aportó el 53% de ingresos brutos por impuestos federales en Guerrero, generados por el sector turismo, entretenimiento, comercial y bancario (Serna, S., 2012).

La zona tradicional de Acapulco es la parte más antigua del puerto. Se desarrolló entre 1930 y 1960, por lo que la mayor parte de las estructuras fueron construidas antes de 1985 (Alcaraz, O. 2002). Tras el terremoto de México, se actualizó el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-2004), por lo que la mayoría de estas construcciones no cumplen con la normativa vigente.

Por estos motivos es necesario prevenir cualquier contingencia relacionada con la seguridad estructural de la infraestructura hotelera acapulqueña, y es imperante mitigar los probables daños materiales y económicos, así como el deterioro de la imagen turística que un sismo pudiese provocar.

Objetivos

Evaluar la vulnerabilidad sísmica, con una nueva metodología cualitativa rápida, de una muestra representativa de los hoteles ubicados en la zona tradicional de la ciudad de Acapulco, entre 3 y 5 niveles, que se construyeron antes de 1985 a fin de proponer su rehabilitación, en los casos que ésta se requiera.

Metodología

La metodología propuesta consta de dos partes principales: a) Un método cualitativo, basado en las características geométricas de la estructura y el año de construcción, y b) Un método cuantitativo basado en un análisis dinámico.

El método cualitativo se fundamenta en las relaciones geométricas en planta y elevación de la estructura, ya que las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Por Sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (NTCDS-RCDF-2004) establecen que las estructuras con irregularidad tienen un comportamiento sísmico inadecuado. Ya que estas presentan concentraciones de esfuerzos, generados por torsiones y momentos de volteo significativos, y en una regular estas torsiones y momentos son de baja magnitud y pueden despreciarse según el método simplificado de análisis sísmico descrito en el capítulo 7.

Los requisitos de regularidad están en el capítulo 6.1 de las NTCDS-RCDF-2004, asignándole un valor por cada requisito de regularidad que no se cumple, donde la sumatoria total sea igual a 100, estos parámetros de evaluación fueron establecidos de acuerdo a su incidencia en la respuesta sísmoresistente de la estructura; clasificando a las estructuras en rangos de baja, media y alta vulnerabilidad sísmica según la sumatoria de cada uno.

Posteriormente se eligió una muestra de hoteles para aplicar el método cuantitativo, esta se obtuvo de las estructuras clasificadas en el rango de alta vulnerabilidad. Se realizó un levantamiento arquitectónico para cada hotel y se le aplicó un análisis dinámico, a través de un programa de análisis y diseño de edificios de concreto, ECOgcW; calibrando los modelos analíticos con el periodo fundamental de la estructura obtenido por medio de la vibración ambiental.

Para elegir la muestra primero se delimitó como sitio de investigación a la Zona Tradicional del puerto de Acapulco, ubicada frente a la bahía (Figura 1). Ésta es la más antigua de la ciudad y está formada por la península de Caleta, Caletilla, Barrios históricos, Centro y la Costera, hasta el parque papagayo.

El desarrollo del puerto inició con el comercio marítimo entre México y el Oriente. De aquí nació la necesidad de brindar servicios de hospedaje, para posteriormente convertirse en un destino turístico mundial. En la actualidad, los servicios turísticos en Acapulco representan la actividad económica que genera el mayor ingreso al estado de Guerrero.

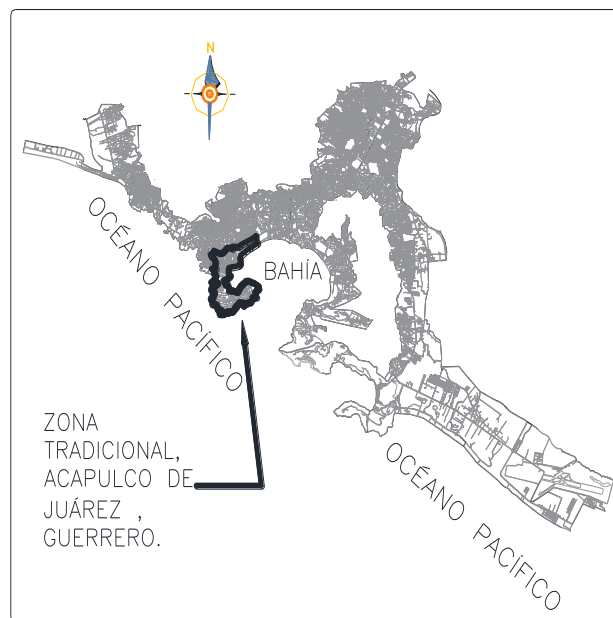


Figura 1: Zona Tradicional de Acapulco (fuente propia).

La Zona se dividió en cuatro secciones para facilitar la investigación:

Sección A: Franja costera, entre el parque Papagayo y Barrio de la Cuerería.

Sección B: Barrios históricos, Centro y Malecón.

Sección C: Península, hasta playa Caletilla.

Sección D: Punta de la Península, desde Caleta.

En la figura 2 se muestran las secciones en las que se dividió la Zona Tradicional.

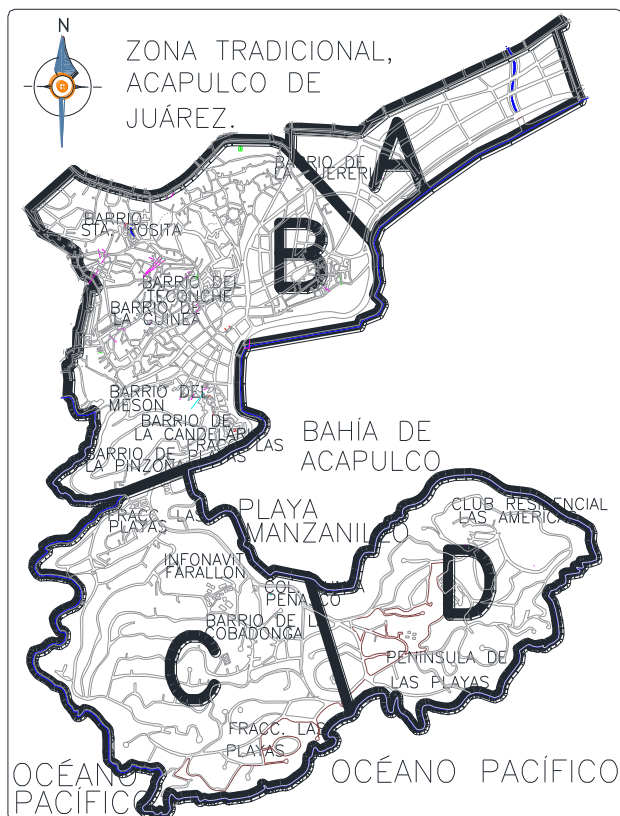


Figura 2: Secciones de la Zona Tradicional de Acapulco (fuente propia).

Utilizando la aplicación de internet Google Earth®, se realizó un censo electrónico para conocer el parque o población de hoteles existente en las cuatro secciones previamente definidas, así como sus características geométricas. Esta actividad se complementó con visitas de campo para corroborar los datos obtenidos.

Es importante mencionar que el uso de Google Earth facilitó y agilizó de manera importante el proceso del censo, así como la obtención de las características geométricas aproximadas de los edificios de hotel, en planta y elevación.

Esta aplicación tiene la ventaja de mostrar vistas en 3D, vistas aéreas, fotografías, vistas en sitio, medición de longitudes, entre otras, permitiendo minimizar el tiempo que es invertido para trasladarse físicamente, por lo que resulta una herramienta muy útil para la pre-evaluación estructural.

La ubicación de los hoteles de la Zona Tradicional se muestra en las figuras 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

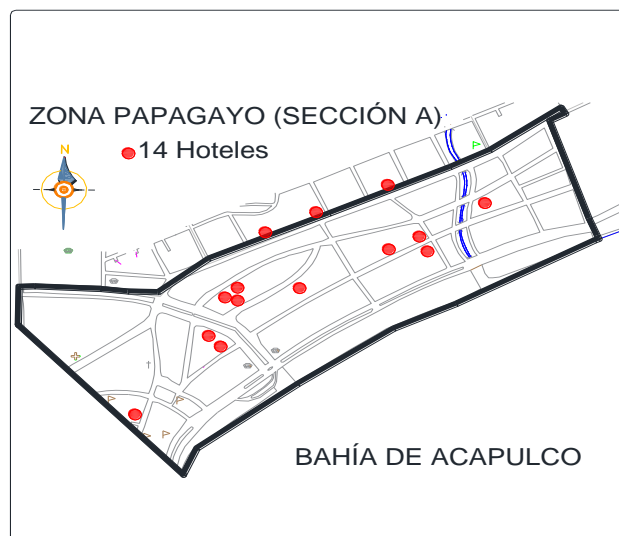


Figura 3: Ubicación de hoteles en sección A (fuente propia).

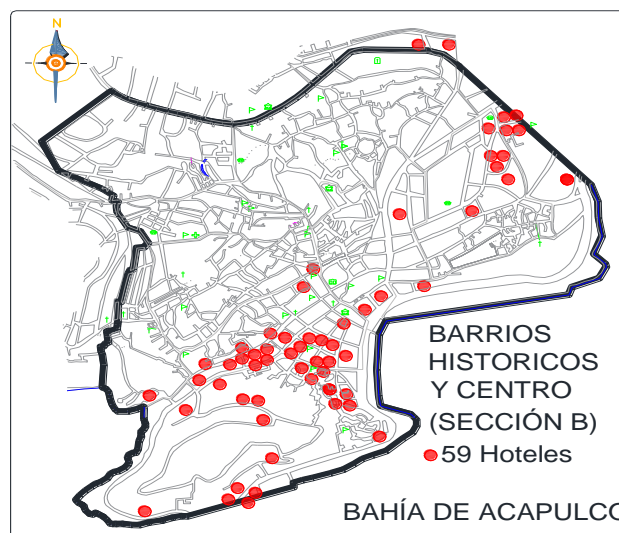


Figura 4: Ubicación de hoteles en la sección B (fuente propia).

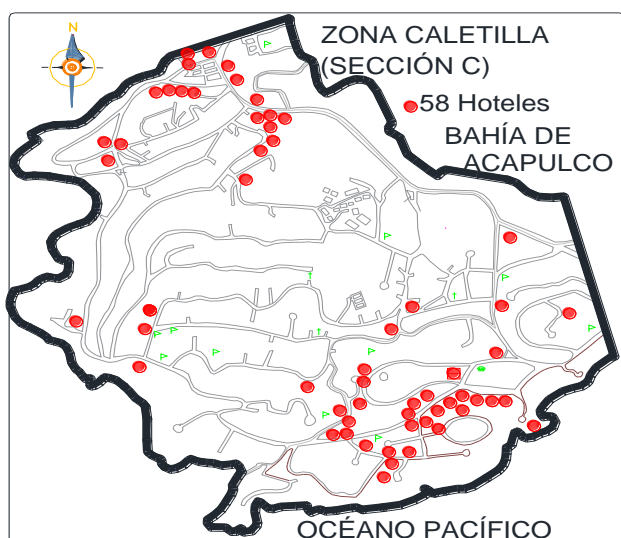


Figura 5: Ubicación de hoteles en la sección C (fuente propia).

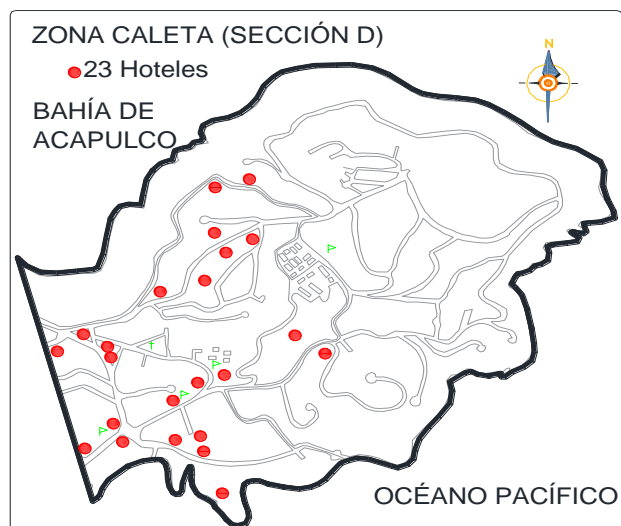
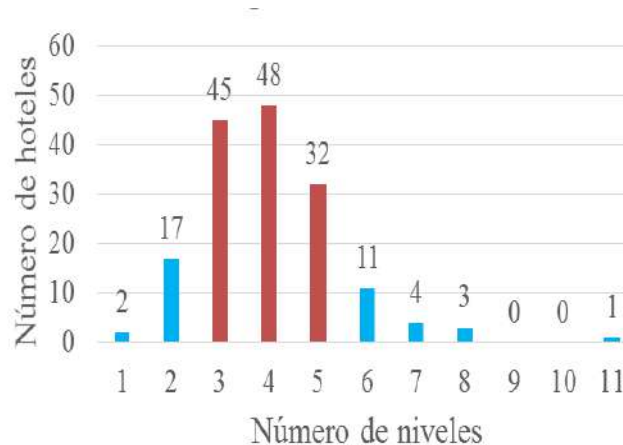


Figura 6: Ubicación de hoteles en la sección D (fuente propia).

De esta forma, se determinó que la población total de hoteles en la Zona Tradicional de Acapulco es 161 edificios, pero se descartaron 7 que no están en funcionamiento, siendo en total 154 hoteles (Secciones A, B, C y D con 14, 59, 58, y 23 hoteles, respectivamente).

Del censo se obtuvo también el número de niveles de cada uno de los hoteles. La gráfica 1 muestra la clasificación de las estructuras por número de niveles.



Gráfica 1: Clasificación de hoteles de la Zona Tradicional por número de niveles (fuente propia).

De acuerdo a la gráfica 1, donde se clasificaron de acuerdo al número de entrespisos, los edificios que predominan son de 3 a 5 niveles, representando el 81% de la población de hoteles. Es por esta razón que la muestra estudiada ulteriormente, se eligió de entre este rango.

Una estructura regular en planta y elevación tiene siempre un mejor comportamiento sísmico que una estructura irregular. Al conocer las características geométricas en planta y elevación de la edificación se puede determinar preliminarmente el grado de vulnerabilidad de la estructura utilizando las relaciones entre el largo, ancho y altura del edificio, así como la forma en planta y en elevación. Esto puede verificarse en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Por Sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (NTCDS-RCDF-2004), (Gobierno del Distrito Federal, 2004). En el capítulo 7, el Método sísmico simplificado permite despreciar los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo, si se cumplen las condiciones de regularidad especificadas ya que una estructura regular sometida a sollicitación sísmica no genera momentos de volteo, desplazamientos ni torsiones peligrosas.

Por esta razón las estructuras se clasificaron tomando en cuenta las condiciones previamente citadas, así como las de regularidad marcadas en el capítulo 6 de las NTCDS-RCDF-2004, del (Gobierno del Distrito Federal, 2004). Así, se definieron las estructuras de la muestra total que presentaban un alto grado de vulnerabilidad sísmica por irregularidad en planta y en elevación.

Para determinar el grado de vulnerabilidad de los hoteles de la Zona Tradicional se utilizaron además, los parámetros que se muestran en la tabla 1.

Vulnerabilidad	%
Largo1/Ancho1 <2.5 (L1/A1)	5
Largo2/Ancho2 <2.5 (L2/A2)	5
Alt1/Base1 (Alt1/B1) <2.5	5
Alt2/Base2 (Alt2/B2) <2.5	5
Salientes/ entrantes (Sal-Ent) <20%	5
Abertura en techo/piso < 20	5
Piso debil	15
Regularidad en elevacion (Reg. En elev.)	5
Techo libre de espectacular	5
Tipo de suelo I=0, II=10, III=15	15
Año construcción antes de 1985	30
Total (Vulnerabilidad.%)	100

Tabla 1: Características de los edificios con sus porcentajes máximos asignados de vulnerabilidad sísmica (fuente propia).

En la tabla 2 se presenta un extracto de las características de la geometría en planta y elevación de hoteles, de los hoteles clasificados con Vulnerabilidad Alta.

En la primera columna los datos muestran la sección en que se ubica el hotel y el número de identificación, los nombres de los inmuebles se omitieron para mantener la confidencialidad de la información y salvaguardar la imagen turística de los mismos.

Los símbolos de la columna del año de construcción significan lo siguiente:

- * Fuera de servicio
- ** Construidos entre 1927-1939
- *** Construidos entre 1940-1949
- **** Construidos entre 1950-1960
- ° Construido antes de 1985, pero no se puede precisar año
- °° Construido después de 1985, pero no se puede precisar año
- °°° No se puede precisar año

Número/sección	Niveles	Año construcción	Orto gonol	L1/A1	L2/A2	Alt1 /B1 <2.5	Alt2 /B2 <2.5	Sal - ent < 20%	Abertura en techo/piso < 20	Piso debil	Forma de planta	Reg. en elev.	Techo libre espect.	Tipo de suelo	Vulnerabilidad %
26C	4	°°°	Si	1.4	3.4	1.4	3.1	No	Si		F	Si	Si	I	50
10A	5	°°	Si	3.5		1.1		No	Si		F	No	Si	I	50
11B	5	**	Si	5.3		1.4		No	Si		F	No	Si	I	50
13A	3	°	Si	5.0	2.5	1.4	1.4	No	Si		F	Si	Si	I	50
13B	3	**	Si	3.1	2.8	1.0	0.9	No	Si		F	Si	Si	I	50
14A	5	°	Si	5.3	2.5	2.3	2.3	No	Si		F	Si	Si	I	50
15D	3	****	Si	3.6	3.0	0.7	0.9	No	Si		F	Si	Si	I	50
17C	4	°°°	Si	4.3		1.8		No	Si		F		Si	I	50
17D	3	***	Si	4.0	2.5	0.8	0.7	No	Si		F	Si	Si	I	50
22D	4	***	Si	3.3		1.2		No	Si		F	No	Si	I	50
24B	4	****	Si	5.7	1.2	1.7	1.1	No	Si		F	No	Si	I	50
43C	4	°°°	Si	4.3	3.0	1.6	1.8	No	Si		F	Si	Si	I	50
58B	3	°°°	Si	3.0		0.6		No	No		F	Si	Si	I	50
5A	5	2006	Si	6.7	3.4	1.1	1.2	No	Si		F	Si	Si	I	50
8D	4	°°	Si	3.6	4.9	1.0	1.4	No	Si		F	Si	Si	I	50
9B	5	°°	Si	2.6		1.5		No	Si		F	No	Si	I	50
53B	3	°°°	Si	1.6	4.7	1.0	1.4	No	Si		F	Si	Si	II	50
48B	3	°°°	Si	1.0		0.4		No	No		F	No	Si	II	55
11D	3	°°	Si	1.2		0.6		No	Si	Si	F	Si	Si	I	55
1B	4	°	Si	2.6	3.3	1.0	0.7	No	Si		F	No	Si	I	55
1C	5	°°°	Si	2.8	3.7	1.7	2.3	No	Si		F	No	Si	I	55
26B	3	°°°	Si	2.7	3.3	1.4	1.4	No	No		F	Si	Si	I	55
2C	5	****	Si	3.7	3.5	1.4	1.4	No	Si		F	No	Si	I	55
31B	3	°	Si	3.0		0.8		No	No		F	No	Si	I	55
50C	4	***	Si	5.5	4.0	1.8	3.7	No	Si		F	Si	Si	I	55
5C	4	°°°	Si	3.3	2.6	1.6	1.6	No	Si		F	No	Si	I	55
6B	3	°	Si	3.0	3.0	0.8	0.8	No	Si		F	No	Si	I	55
9D	4	°°°	Si	5.6	3.3	1.4	1.8	No	Si		F	No	Si	I	55
12C	3	°°°	Si	1.8		0.5		Si	No	Si	F	No	Si	I	60
59B	4	°	Si	3.4		0.8		No	No		F	No	No	I	60
8B	6	****	Si	1.3		0.9		No	No	Si	F	No	Si	I	60
12B*	5	°°°	Si	3.7		2.0		No	Si	Si	F	No	Si	I	65

Tabla 2: Vulnerabilidad de hoteles (Fuente propia).

En todos los casos es importante llevar a cabo una inspección visual técnica y obtención de datos *in-situ*. Por ejemplo, en el caso del levantamiento de datos de los hoteles 13A y 14A, los cuales tienen irregularidad en planta y elevación, y fueron construidos antes de 1985, no se pudo precisar el año de construcción en el formato.

Su antigüedad se dedujo con base al tipo de acero de refuerzo utilizado, ya que el tipo de corrugación detectada se fabricaba en la década de los 70's del siglo pasado (imagen 1).



Imagen 1: Acero utilizado en los hoteles 13A y 14A (fuente propia).

En la imagen 2 se observa una vista aérea de los hoteles 13A y 14A respectivamente.

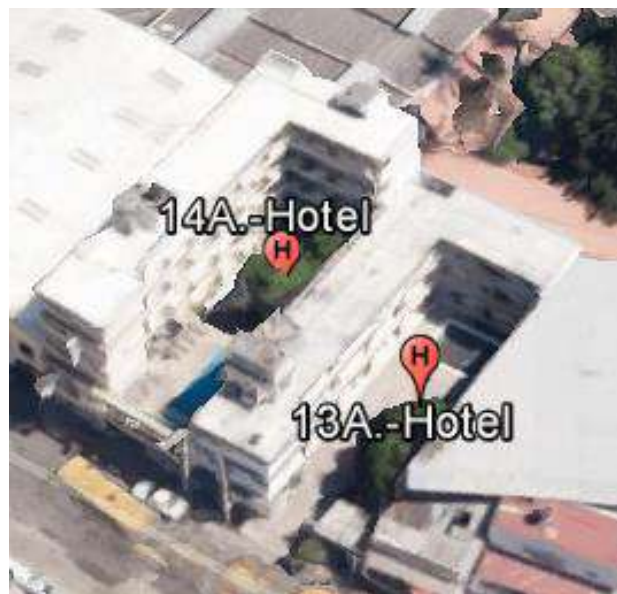


Imagen 2: Vista aérea de hoteles 13A y 14A (fuente propia).

La planta arquitectónica de ambos hoteles se muestra en la figura 7. Durante la visita *in-situ* se observó que se trataba no de una estructura, sino de dos, separadas por una junta constructiva.

También se pudo observar que se trata de sistemas a base de muros de carga, confinados con castillos y dalas. Los hoteles 13A y 14A son respectivamente de tres y cinco niveles, con 23 y 40 habitaciones respectivamente.

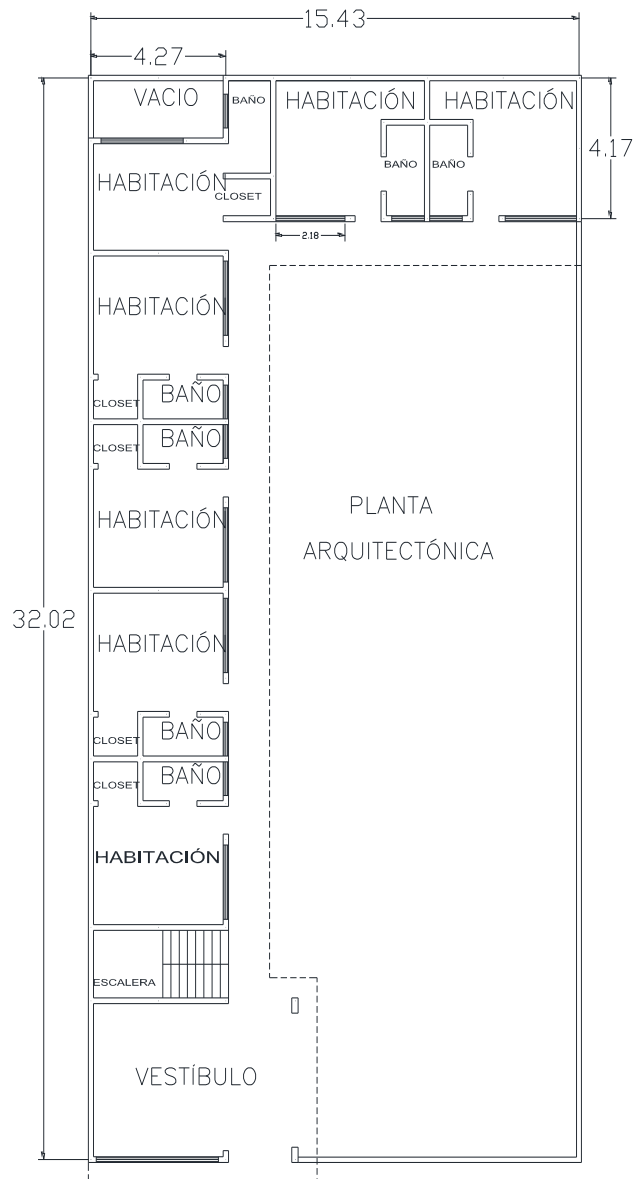


Figura 7: Planta arquitectónica de hoteles 13A y 14A (fuente propia).

Otras características importantes a considerar en la inspección in-situ, son las corroboraciones de las relaciones de esbeltez en elevación y en planta de los edificios. En la figura 7 se observa que en el caso de los hoteles citados previamente, ambos tienen una planta en forma de “L”.

Además, su relación largo entre ancho para la parte larga es de 7.5. Ambas estructuras tienen una irregularidad muy elevada en planta.

Las figuras 8 y 9 muestran los cortes en elevación de dichas edificaciones.

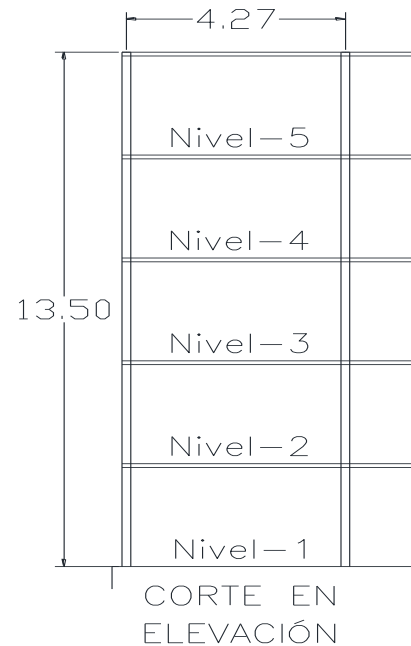


Figura 8: Hotel 14A en elevación (fuente propia).

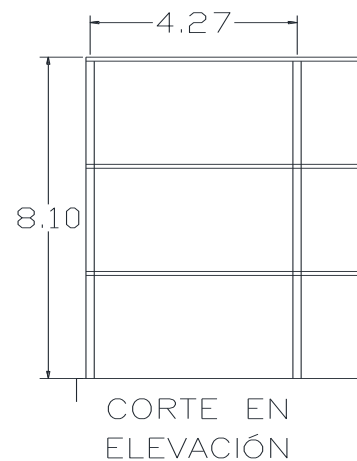


Figura 9: Hotel 13A en elevación (fuente propia).

En el hotel 14A la relación de altura entre la base más angosta es de 3.16, por lo que la irregularidad en elevación es también alta. Además, el cortante basal inducido por la aceleración sísmica especificada por la norma en ese sitio podría ser mayor al cortante resistente de los muros de la planta baja.

Al momento de la redacción del presente artículo se están tramitando los permisos para acceder a otras dos estructuras, catalogadas como de alta vulnerabilidad, para proceder al modelado analítico del conjunto de los hoteles que se encuentran en esta categoría. Para ello, se está utilizando el programa ECOgcW en el análisis sísmico dinámico de los modelos tridimensionales de los hoteles, lo que permite revisar el diseño de elementos en flexión, cortante, flexocompresión y torsión.

En la figura 10, 11 y 12 se muestran el modelado preliminar de uno de los hoteles más vulnerables.

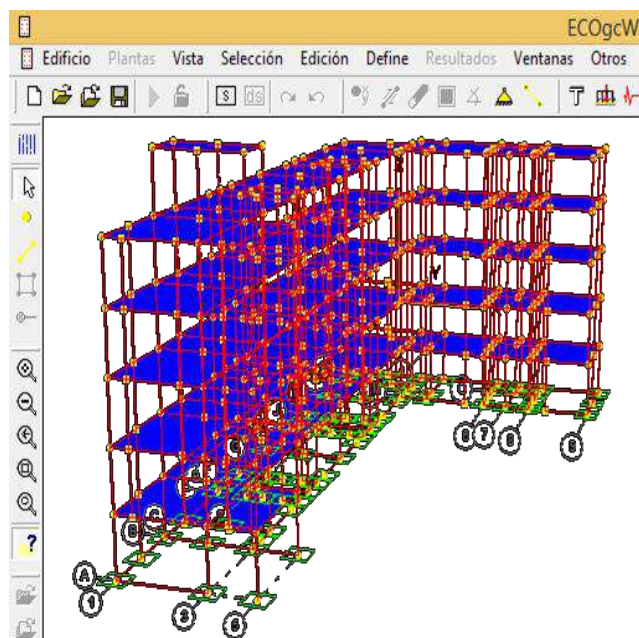


Figura 10: Modelado en 3d de hotel 14A (fuente propia).

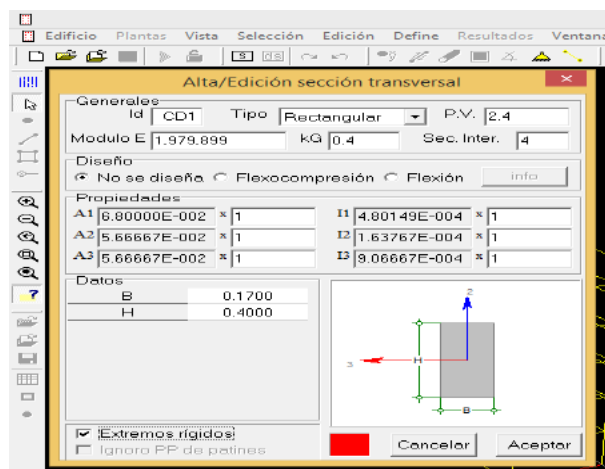


Figura 11: Definición de secciones de hotel 14A (fuente propia).

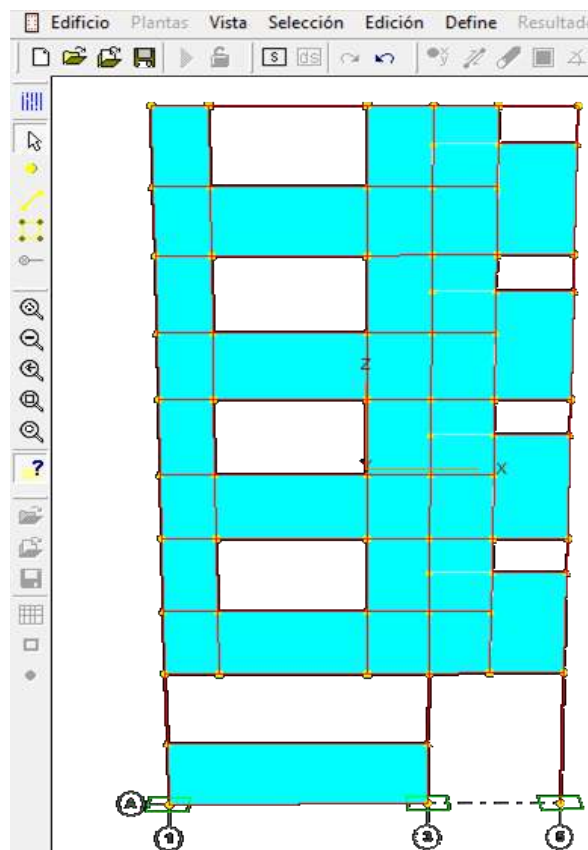


Figura 12: Modelo preliminar del hotel 14A, eje estructurado en elevación (fuente propia).

Habiendo obtenido los resultados del modelo analítico, se procedió a instrumentar el hotel modelado para realizar en él, una prueba de vibración ambiental. Se empleó un acelerógrafo triaxial GEA modelo G535008, el cual proporciona un registro de aceleraciones para obtener, tras la aplicación del método de Nakamura o cocientes espectrales, el periodo fundamental de la estructura (Lermo, J. F., 1994). En la Imagen 3 se muestra, a manera de ejemplo, la instrumentación de uno de los edificios estudiados.

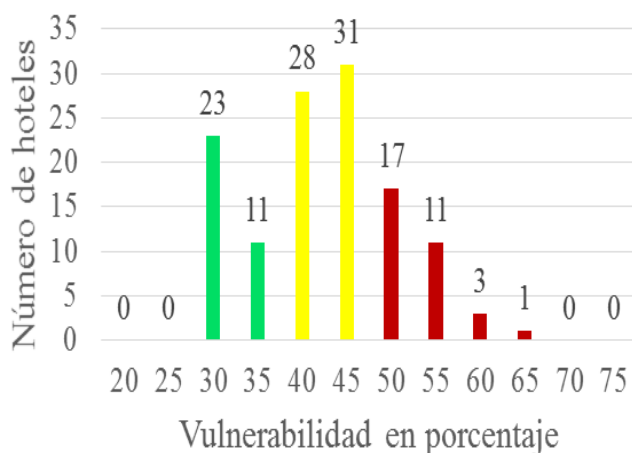
Comparando el periodo de vibración obtenido con el ECOgcW y el obtenido con el acelerómetro, se pudo verificar que el modelo analítico propuesto era en este caso, adecuado.



Imagen 3: Acelerógrafo para prueba de vibración ambiental (fuente propia).

Resultados

Con los parámetros asignados a cada relación de la geometría en planta y elevación se elaboró la gráfica 2, donde se representan los grados de vulnerabilidad de cada hotel.



Gráfica 2: Vulnerabilidad de hoteles (fuente propia).

De acuerdo al grado de vulnerabilidad, a los hoteles se les clasificó de la siguiente manera:

- Vulnerabilidad Baja.
- Vulnerabilidad Media.
- Vulnerabilidad Alta.

Con base en la información obtenida, se observa que en la gráfica 2 se clasifica el 27.2% de hoteles con Vulnerabilidad Baja, el 47.2% con Vulnerabilidad Media y el 25.6% restante, con Vulnerabilidad Alta. Es decir, prácticamente la cuarta parte de los hoteles de la Zona Tradicional de Acapulco presentan una vulnerabilidad alta.

La muestra representativa se eligió de las clasificadas con Vulnerabilidad Alta, aunque por razones de espacio, sólo se presenta la revisión del hotel 14A del conjunto de 32 hoteles considerados como de alta vulnerabilidad estructural.

Los valores asignados a los parámetros de irregularidad se determinaron de acuerdo a la característica que presentó mayor incidencia en el comportamiento sísmico de la estructura. Por este motivo, el método es aproximado y tras la selección de las estructuras con mayor vulnerabilidad, debe aplicarse un estudio más refinado a través de métodos de tipo cuantitativo.

De acuerdo a las vulnerabilidades más altas, las relaciones de geometría en planta y elevación más desfavorables y parámetros adicionales, se eligieron las estructuras como más vulnerables, a los hoteles siguientes, ordenados de mayor a menor vulnerabilidad: 8B, 59B, 12C, 9D, 50C, 24B, 14A, 11B, 13A, 43C.

Conclusiones

El conjunto de resultados obtenidos muestra que la metodología propuesta permite innovar las técnicas de evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica de edificios, en este caso del parque hotelero de la Zona Tradicional de Acapulco, Gro.

La valoración de la vulnerabilidad sísmica, puede realizarse a través del formato propuesto, el cual reúne la mayoría de las características geométricas-estructurales, así como las condiciones de mantenimiento, antigüedad y aquellas que influyen directamente en el comportamiento sísmico.

Con los resultados finales, y en caso de ser necesario, se realizará una propuesta de rehabilitación y/o reforzamiento del conjunto de hoteles que lo requiera. Esto permitirá, en caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud importante, que las estructuras evaluadas y en su caso, reforzadas; tengan un desempeño sísmico más adecuado, mitigando la pérdida de vidas, así como los posibles daños estructurales y económicos.

Los resultados obtenidos por el método cualitativo propuesto pueden resultar de gran relevancia ya que permiten identificar de forma rápida, si las estructuras poseen una vulnerabilidad sísmica baja, media o alta. Permiten además, centrarse en la subsecuente atención de las edificaciones más críticas y agilizar el proceso posterior de evaluación de la vulnerabilidad estructural con métodos cuantitativos basados en el análisis de modelos analíticos más detallados. Pero, lo más importante es que permitirán la aplicación de esta nueva metodología de evaluación, por parte de personal técnico no necesariamente especializado pues sólo se requieren conocimientos básicos afines a la construcción y un entrenamiento previo corto.

El método propuesto permite integrar un diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura hotelera en Acapulco de forma masiva y eficiente, y tomar las medidas necesarias para prevenir o mitigar la pérdida de vidas, así como los daños materiales y económicos producidos por posibles sismos futuros.

Agradecimientos

Los autores agradecen al PNPC del CONACYT quien contribuyó, a través de su sistema de becas, a la producción del presente artículo.

Referencias

- González, J. R. (2008). La Brecha de Guerrero. Cienciorama.unam.mx. México: Universidad Autónoma de México. Disponible en: http://www.cienciorama.unam.mx/#!/buscar/?la_brecha_de_guerrero Consultado el 01/09/2017
- Pellini, C. (2015). Grandes terremotos de la historia: Terremotos históricos más fuertes. Historias y biografías HB. Disponible en: <https://historiaybiografias.com/terremotos/2/> Consultado el 01/09/2017
- Ministerio de Construcción de Japón, (2001). Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y guía técnica de rehabilitación. Ciudad de México. Takeshi Jumonji. 1-140.
- Iglesias, J. (1986). Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la Ciudad de México. México. Secretaría de Obras.
- FEMA Report 154. (1988). Applied Technology Council" Radio Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (Report ATC-21). Redwood City, California.

Serna, S. (2012). Aportó Acapulco la mayoría de ingresos por impuestos para Guerrero en 2011: SAT. Periódico de Guerrero “El Sur”. Guerrero, México. Disponible en: <http://suracapulco.mx/5/aporto-acapulco-la-mayoria-de-ingresos-por-impuestos-para-guerrero-en-2011-sat/>
Consultado el 01/09/2017

Alcaraz, O. (2002). La arquitectura de los hoteles de Acapulco 1927-1959. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Guerrero. 1-250.

Lermo, J. F. (1994). Microzonificación sísmica en zonas urbanas. I Seminario Universitario de Zonificación Sísmica. Chilpancingo de los Bravos, Gro.: Universidad Autónoma de Guerrero.

Gobierno del Distrito Federal. (2004). Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-2004). Diario oficial del Distrito Federal. Distrito Federal, México. Gobierno del Distrito Federal.

Gobierno del Distrito Federal, (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004 (NTCDS-RCDF-2004). Diario Oficial del Distrito Federal. Distrito Federal, México. Volumen II: 63-65.