

**XVIII** Congreso  
Nacional  
de Ingeniería  
Estructural  
y los

# Riesgos Naturales

Del 1 al 3 de  
noviembre  
de 2012

Acapulco,  
Guerrero

ISBN

978-607-95694-0-9



**SMIE**

Sociedad Mexicana de  
Ingeniería Estructural, A.C.



**ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PRELIMINAR DE ESTRUCTURAS  
ESTRATÉGICAS EN LA ZONA CONURBADA DE VERACRUZ-BOCA DEL RÍO, MÉXICO**

**Vargas Colorado Alejandro <sup>(1)</sup>, Williams Linera Francisco <sup>(1)</sup>, Riquer Trujillo Guadalupe <sup>(1)</sup>,  
Leyva Soberanis Regino <sup>(1)</sup>, Pérez Torres Sara <sup>(1)</sup>, Rivera Baizabal Roberto <sup>(1)</sup>.**

**RESUMEN**

Los sismos y las inundaciones ocasionan en lo general grandes desastres económicos y humanos, y se vinculan con el acelerado crecimiento de las ciudades cuando se omiten medidas para un desarrollo sostenible, y se expone a la población a mayores riesgos. Como consecuencia lógica de esta vulnerabilidad, se tienen que hacer movimientos masivos de emergencia de la población afectada, ya sea antes, durante o después de un evento a refugios en instalaciones seguras. En el estado de Veracruz, existen evidencias históricas que revelan una actividad sísmica notable, que ha causado daños en las construcciones, así como afectaciones graves ocasionadas por las inundaciones. Ciudades importantes como la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCVB), no han sido la excepción, es por ello que en este trabajo, se presenta como área de referencia. Se identifica de forma rápida la vulnerabilidad sísmica de estructuras consideradas como potencialmente estratégicas para atender a la población ante este fenómeno. Se analizan métodos cualitativos de evaluación de índices como el de Hirosawa, Benedetti y Petrini y otros, y se adaptan a las condiciones regionales y a la disponibilidad de la información necesaria. A cada uno de los edificios se le determinó su índice de vulnerabilidad, clasificándolos de acuerdo a ellos. Mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográficas se hace un análisis integrado de las zonas inundables y las de vulnerabilidad sísmica, usando para ello el mapa de microzonificación sísmica de la ZCVB y de las inundaciones ocasionadas por el huracán Karl en 2010, y se identificó una correlación directa entre las zonas de inundación y las de mayor amplificación del movimiento sísmico. Conocer los efectos directos o indirectos en estas construcciones para fenómenos como los sismos, nos permitió determinar el riesgo que pueden causar otros fenómenos como las inundaciones.

**ABSTRACT**

Earthquakes and floods cause major disasters in economic and human activities, and linked with the rapid growth of cities when omitted measures for sustainable development, and the population is exposed to greater risks. As a logical consequence of this vulnerability, you have to make emergency mass movements of population affected, either before, during or after an event to shelters in secure facilities. In the state of Veracruz, historical evidences reveal significant seismic activity, which has caused damage to buildings and serious affectations caused by flooding. Major cities like the suburbs Veracruz-Boca del Rio (zcvb), have been the exception, which is why in this work, is presented as a reference area. It quickly identifies the seismic vulnerability of structures considered potentially strategic to meet the population to this phenomenon. Qualitative methods are analyzed assessment indices like Hirosawa, Benedetti and Petrini and others, and adapted to regional conditions and the availability of the necessary information. Each of the buildings was determined their vulnerability index, ranking them accordingly. Through the application of Geographic Information Systems an integrated analysis of flood zones and seismic vulnerability are made, using for this microzonation map ZCVB seismic and flooding caused by Hurricane Karl in 2010, and identified a correlation directly between the floodplain and high seismic amplification. Know the direct or indirect effects on these constructs to phenomena such as earthquakes, allowed us to determine the risk that can cause other phenomena such as floods.

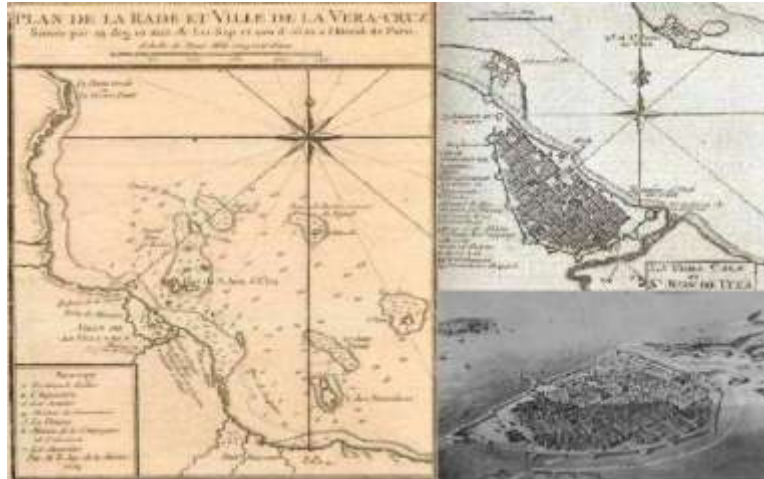
---

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc.Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel. (01-229) 7752000 ext. 22214, [alejvargas@uv.mx](mailto:alejvargas@uv.mx)

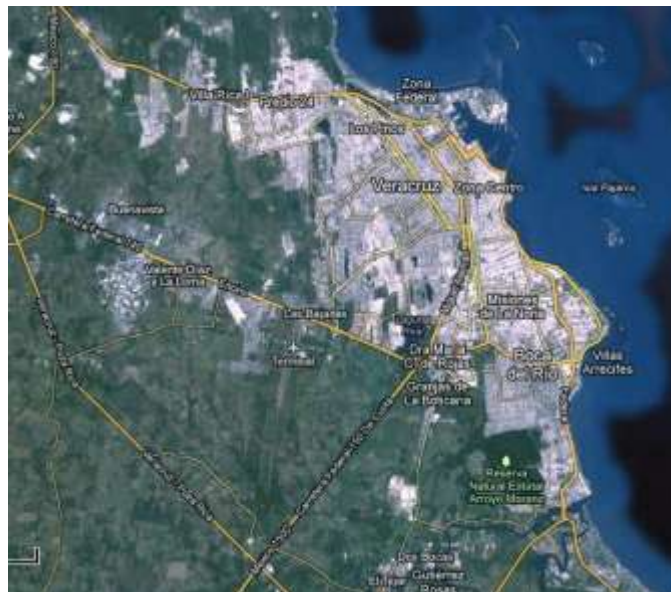
## INTRODUCCIÓN

La Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCVB) se localiza en la parte media oriental del Estado de Veracruz, ocupando la porción norte de la llanura de Sotavento. Se localiza entre los  $18^{\circ} 58' 02''$  y  $19^{\circ} 16' 06''$  de latitud norte y los  $95^{\circ} 58' 03''$  y  $95^{\circ} 16' 46''$  de longitud oeste.

La ZCVB se asienta donde originalmente se fundó La Villa Rica de la Vera Cruz en el año de 1519; actualmente la conurbación se forma con los municipios de Veracruz, Boca del Río, Medellín y Alvarado. Su extensión actual es aproximadamente de 438 Km<sup>2</sup>, con una longitud media de 30 Km y una anchura que varía de 8 a 14 Km y cerca de 800,000 habitantes. La ZCVB es en general baja, formada por una planicie llana de origen fluvio-marino, con numerosas formas fluvio-deltaicas, dunas litorales, depresiones y cauces; carece de alturas importantes y cuenta con zonas de inundación.



**Figura 1** Distintos aspectos de la antigua ciudad amurallada de La Villa Rica de la Vera Cruz



**Figura 2** Zona conurbada actual (Google maps)

En el presente siglo se han detectado en el Estado de Veracruz cinco zonas sísmicas activas, dos en la parte montañosa central y tres regiones casi planas, que son (Atlas de riesgos, 2012):

Región de Xalapa y el Naucampatépetl o Cofre de Perote.



Región de Orizaba y el Citlaltépetl o Pico de Orizaba.  
Región de Jáltipan y la zona ístmica de Tehuantepec.  
Región del puerto de Veracruz y zonas conurbada con Boca del Río.  
Región de Mozomboa, Tinajitas y Cardel.

Las tres primeras han provocado los sismos más intensos, con pérdidas enormes en bienes materiales y sobre todo de vidas humanas, como aconteció el 4 de enero de 1920, el 26 de agosto de 1959 y el 28 de agosto de 1973. Las escalas que presentan los registros históricos son únicamente unas aproximaciones, ya que en ese entonces no contaban con la tecnología con la se cuenta hoy en día. La zona de Jáltipan en el istmo de Tehuantepec, por ocurrir en la falla tectónica derivada de la fractura del Pacífico, resulta potencialmente la más importante.

**Tabla 1 Sismos históricos en la región**

Fecha	Magnitud	Profundidad Km	Latitud	Longitud	Observaciones	Referencia
04-01-1920	$m_b = 6.5$ $M_s = 6.2$	15	19.27°	-97.08°	Temblor de Xalapa	Suter et al., (1996)
15-01-1931	$M_s = 7.8$	40	16.34°	-96.87°	Temblor de Oaxaca	Singh et al., (1985)
26-07-1937	$M_s = 7.3$	85	18.48°	-96.08°		Jiménez y Ponce (1977-78)
26-08-1959	$M_w = 6.4$	21	18.26°	-94.43°	Temblor de Jáltipan	Ponce y Suárez (1985)
11-03-1967	$M_w = 5.7$	24	19.23°	-95.74°	Temblor de Veracruz	Ponce y Suárez (1985)
28-08-1973	$m_b = 7.3$ $M_w = 7.0$	82	18.30°	-96.53°	Temblor de Orizaba	Abe (1981) Singh y Wyss (1976)

La Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCVB) por su ubicación geográfica en las costas del Golfo de México es frecuente que sufra los embates de fenómenos hidro-meteorológicos, como huracanes e inundaciones. Debido a que es una zona baja, tiene un sistema hidrológico formado por varias lagunas y ríos, desgraciadamente motivado por un rápido y no bien planeado crecimiento urbano la mancha poblacional fue desarrollándose sobre estos cuerpos de agua, o asentándose en zonas de suelo tipo aluvial o en zonas que anteriormente eran dunas.

El Reglamento de Construcciones vigente para el Estado de Veracruz-Llave, data de 1979 y no cuenta con Normas Técnicas Complementarias. En 1998 se hizo una nueva propuesta que se quedó en el proceso de revisión y aprobación por la legislatura; ésta, sí contemplaba una propuesta de Normas Complementarias para el Diseño por Sismo, empleando espectros de diseño basados en formas espectrales suavizadas de espectros de peligro sísmico uniforme, y al igual que el Manual de CFE de 1993, reconoce la importancia de que existan estudios de microzonificación sísmica.

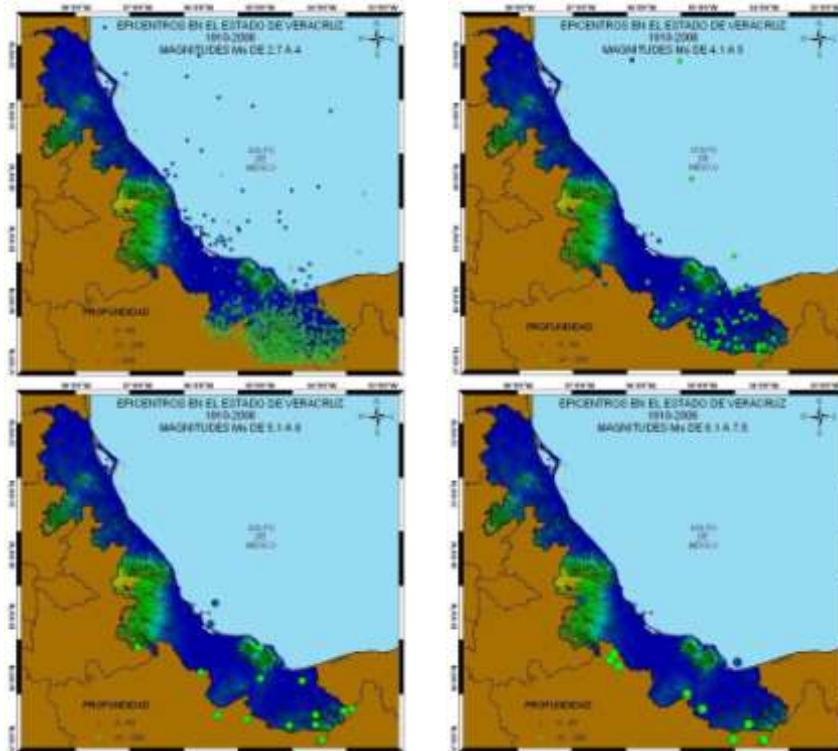
El Manual de CFE delimita al Estado como potencialmente expuesto a un riesgo sísmico de moderado a alto en un 80 % de su área, donde se concentra el 90 % de la población y sus construcciones. Además la historia sísmica del Estado, nos advierte de la probabilidad de ser afectados por sismos de características similares a los ocurridos.

Al momento de realizar este estudio no se tenía conocimiento, salvo el programa nacional de Hospital Seguro, de que se haya realizado algún trabajo relacionado con la determinación de algún índice de vulnerabilidad sísmica de las estructuras esenciales existente en la ZCVB, de ahí la importancia de este estudio que, aunque preliminar, sentará las bases para que en un futuro se puedan realizar investigaciones más detalladas. Además, de los resultados que aquí se presentan se pueden hacer recomendaciones a las Direcciones de Protección Civil de la ZCVB para que se tomen las medidas pertinentes.

## ANTECEDENTES SÍSMICOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

### REGIONES SISMOGÉNICAS

Con base en estudios realizados en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Pérez et al (2008), elaboró un catálogo de sismos históricos para el estado de Veracruz que comprende del año 1910 al 2008, basándose en los registros que se muestran, ver figura 3, en ella se observan localizados 3244 sismos instrumentales, y agrupados de acuerdo a los siguientes rangos de magnitudes  $M_s$ : de 2.7 a 4, de 4.1 a 5, de 5.1 a 6 y de 6.1 a 7.5.



**Figura 3** Epicentros en el estado de Veracruz

También se aprecia que la mayoría de los sismos presentados en estas figuras se presentan en la parte sur del estado y en la colindancia con el estado de Oaxaca, sin embargo también se pueden apreciar algunos sismos que tienen su epicentro en el suelo marino frente a las costas de la ZCVB.

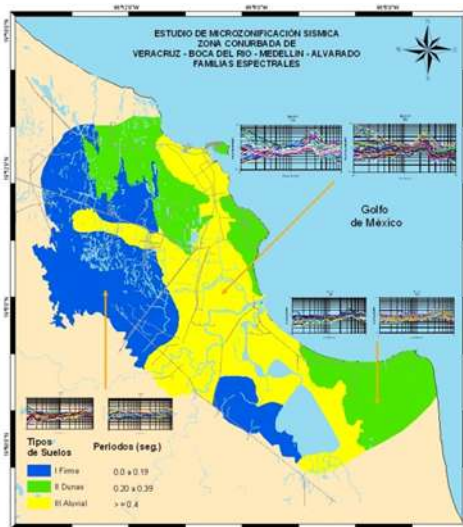
A partir de este trabajo Leyva et al (2010), propusieron 5 regiones Sismogénicas para el estado de Veracruz (ver figura 4), identificadas como: NAL, MVB, MVB1, IN2, IN3. En las cuales se aprecia una gran actividad sísmica en el centro y sur del estado Veracruz, haciéndose más dispersa al norte (Región NAL), aunque por la escasa instrumentación en esta última región, es posible que no sea representativa de su potencial. Las regiones MVB, y MVB1, están asociadas al Eje Neovolcánico Mexicano, siendo la región MVB1 correspondiente a la discontinuidad fisiográfica de los Tuxtlas, cuya sismicidad puede estar relacionada con el volcán San Martín. Estas regiones, se correlacionan con los sismos ocurridos en los primeros 20 km de profundidad, correspondientes a sismos intraplaca (NAM). Es notorio que la mayor sismicidad ocurre al Sur del Estado (Regiones IN2, IN3). La región IN2, presenta fallamiento predominantemente normal y su peligro está relacionado a su menor profundidad en la zona de subducción de la placa de Cocos y Norteamérica. La región de mayor peligro para el estado de Veracruz, es la región IN3, asociada a la mayor actividad sísmica profunda relacionada con la presencia de tres grandes placas: la Placa Norteamericana, la Placa de Cocos y la Placa del Caribe. La transición entre la zona IN2 e IN3 es gradual, siendo la región IN2 subducción de ángulo bajo y la IN3, correspondiente a ángulo alto. Se identificaron dos mecanismos focales con fallamiento inverso, probablemente asociados a fallas de la zona cortical de la región de Jáltipan, así como un mecanismo focal de transcurrencia relacionado con alguna falla local del Golfo de México.



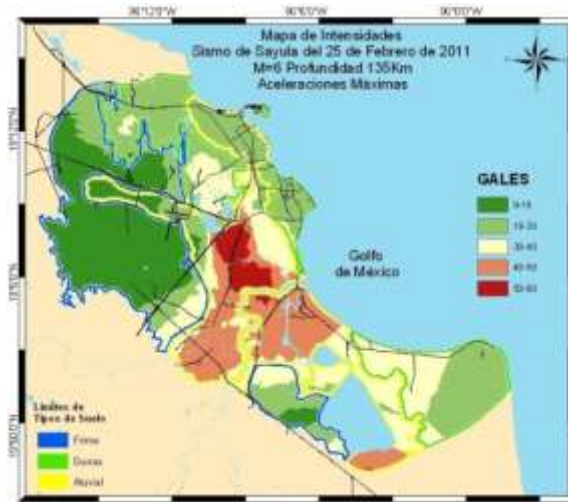
Figura 4 Sismotectónica en el estado de Veracruz.

### ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA E INTENSIDADES

Se registraron microtremores en 332 sitios con un acelerógrafo y con ellos se estimó el cociente espectral de Nakamura (HVNR), para calcular frecuencias y períodos dominantes; para las amplificaciones se usó el registro de sismos. Las funciones de transferencia empíricas (FTE) obtenidas fueron agrupadas de acuerdo a su forma espectral en familias, quedando definidas 3 zonas. Como resultado de esta etapa se elaboró el mapa de microzonificación sísmica de la ZCVB, ver figura 5a. En azul la zona I, descrita como “zona firme”; en verde la zona II, descrita como “zona de dunas”; y en amarillo la zona III, descrita como “zona aluvial”. También de cocientes HVNR obtenidos con registros de un sismógrafo de banda ancha, y considerando que las FTE determinadas son un buen estimador del movimiento del sitio; para cada punto de interés se calcularon los acelerogramas sintéticos y sus correspondientes espectros de respuesta, Williams et al (2011). En la figura 5b se muestran las aceleraciones máximas del terreno determinadas de esta manera para el sismo del 25 de febrero de 2011 ( $M_w$  6.0).



(a) Mapa de microzonificación sísmica



(b) Mapa de intensidades

Figura 5 Estudios de microzonificación sísmica e intensidades.

## ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

A lo largo de la historia, se ha evidenciado que uno de los factores que más pérdidas de vidas provoca es el colapso de estructuras provocado por sismos; las causas pueden ser múltiples: debido a materiales de deficiente calidad, el no cumplir normas sísmo resistentes o la falta de ellas y el empleo de mano de obra no calificada, entre otras.

El estudio de vulnerabilidad sísmica puede determinar el nivel de seguridad de una zona o de una estructura ante los movimientos sísmicos que pueden acontecer en el sitio. En él se hace un diagnóstico de su condición estructural actual y se evalúa el posible comportamiento que presentará ante un sismo.

La vulnerabilidad estructural se define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, Martínez (2009). La vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, se define como un conjunto de parámetros capaz de determinar su predisposición intrínseca a sufrir daños estructurales, el modo de falla ya sea total o parcial y la capacidad resistente de la estructura, ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño.

El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno teniendo en cuenta los principios de la ingeniería estructural.

### METODOLOGÍA ITALIANA

El método italiano, también conocido como de Benedetti-Petrini, para el cálculo de índices de vulnerabilidad se desarrolló a partir de 1976, completándose en 1986, C.N.R. (1986). Esta metodología ha sido muy estudiada y adaptada a la forma de construir en diferentes lugares del mundo. En un principio, ésta se empleaba para revisar estructuras de mampostería, ver tabla 2, pero posteriormente se adaptó para emplearla en estructuras a base de marcos de concreto reforzado, ver tabla 3.

En este método, la vulnerabilidad de un edificio se define mediante un índice de vulnerabilidad,  $I_v$ , que se obtiene a partir de la evaluación y ponderación de diferentes parámetros relacionados con componentes, estructurales y no estructurales, que tienen un papel importante en el comportamiento sísmico del edificio. Básicamente el método consiste en la evaluación de 11 parámetros a partir de trabajo de campo.

**Tabla 2 Valores y pesos de la metodología italiana para estructuras a base de muros de mampostería**

$i$	Descripción del parámetro $i$	Valor $K_i$ según categoría				$W_i$
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	0	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0 (variable)
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0 (variable)
8	Distancia máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0 (variable)
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0



Las categorías A, B, C y D, van respectivamente desde condiciones favorables a desfavorables y su evaluación permite asignar un valor numérico  $K_i$  que varía entre 0 y 45. El índice de vulnerabilidad,  $I_v$ , se obtiene mediante la “ec. 1” que es la suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad de cada uno de los once parámetros.

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \quad (1)$$

Cuanto mayor es el índice de vulnerabilidad peor es la capacidad resistente del edificio, el valor máximo es un  $I_v = 382.5$ . Para los edificios de concreto armado, el método considera sólo tres categorías: A, B y C y su valor máximo es  $I_v = 31$

**Tabla 3 Valores y pesos de la metodología italiana para estructuras a base de marcos de concreto**

$i$	Descripción del parámetro $i$	Valor $K_i$ según categoría			$W_i$
		A	B	C	
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Diafragmas horizontales	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Conexión entre los elementos	0	1	2	1.0
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	1.0

La ecuación 1 puede normalizarse para obtener índices en el rango entre cero, nada vulnerable y uno, nada resistente o entre cero y 100.

### EDIFICACIONES ESENCIALES VALORADAS EN LA ZCVB

Como parte del estudio, se determinó qué edificaciones esenciales serían las primeras en valorarse mediante la metodología italiana, para ello se consideró las facilidades de acceso a dichos edificios, así se eligieron: 1) la sub estación del H. Cuerpo de Bomberos conocida como “del DIF lavaderos”, 2) la Cruz Roja base norte, 3) el gimnasio de la Unidad Deportiva Carlos Serdán, 4) la estación del H. Cuerpo de Bomberos de Veracruz, conocida como “Bomberos de Zaragoza”, 5) la estación del H. Cuerpo de Bomberos Conurbados, conocida como “Bomberos de Leyes de Reforma”, 6) el Auditorio de la Facultad de Educación Física de la Universidad Veracruzana, 7) el H. Ayuntamiento de Boca del Río y 8) la Cruz Roja de Boca del Río. En la figura 6 se muestran su ubicación en el mapa de microzonificación sísmica y de zonas inundables.



**Figura 6** Ubicación de las edificaciones esenciales valoradas

#### 1) Sub estación del H. Cuerpo de Bomberos del “DIF Lavaderos”

Este edificio originalmente fue un rastro para ganado, el cual fue acondicionado para albergar a la sub estación de bomberos, cuenta con dos niveles y su sistema estructural es a base de marcos de concreto reforzado con vigas y columnas cuadradas de sección constante y una losa aligerada de 50 cm, su configuración en planta es regular, pero tiene irregularidades en elevación. Posteriormente se construyen dos edificios más, uno de una planta y el otro de dos plantas. Lo más significativo es que el tanque de agua que ocupa la subestación está apoyado en dos edificios distintos, tal y como se aprecia en la figura 7. Aunque aparentemente se ve como un edificio “resistente”, tiene algunos detalles estructurales que nos hacen pensar que su comportamiento sísmico no es muy adecuado ante un evento importante. De acuerdo con la microzonificación sísmica se ubica en la zona III, aluvial, a la que le corresponden periodos de 0.40 seg. o mayores, por otro lado está en una zona que no es inundable, ver figura 6.



**Figura 7** Sub estación de bomberos “DIF Lavaderos”

Al emplear la metodología italiana se determinó que su índice de vulnerabilidad es de 19, por lo que se sugiere hacer una revisión más detallada para conocer mejor su comportamiento sísmico ante un sismo fuerte.

## 2) Cruz Roja, Base Norte

Este edificio de una sola planta se inaugura en marzo de 2012, y se ubica en la zona III, aluvial, a la que le corresponden periodos de 0.40 seg. o mayores, de acuerdo con el estudio de microzonificación sísmica, ver figura 6. El sistema estructural es a base de muros de carga y losa plana maciza, ver figura 8. Su acceso y estacionamiento de ambulancias esta techado mediante una estructura de acero ligera y en buenas condiciones. No se pudo determinar su densidad y distribución de muros ya que no fue posible entrar al inmueble, sin embargo de la inspección visual que se hizo se estima que su tiene un índice de vulnerabilidad de 16.25, por lo cual se cataloga como segura.



**Figura 8 Cruz Roja base norte**

## 3) Gimnasio de la Unidad Deportiva “Carlos Serdán”

Este gimnasio forma parte de la unidad deportiva que fue inaugurada en septiembre de 2002, sin embargo debido al Huracán Karl, éste sufrió algunas afectaciones en el 2010. Su estructuración es a base de marcos rígidos de concreto reforzado colado en el lugar y con una cubierta ligera soportada por armaduras tubulares, como se aprecia en la figura 9. Este edificio se localiza en la zona tipo II, de dunas, que de acuerdo a los estudios de microzonificación le corresponde un periodo de vibración al suelo de entre 0.20 a 0.39 seg, ver figura 6. En las figuras 9a y 9b se pueden apreciar algunos detalles estructurales que pueden ocasionarle daño ante un evento sísmico fuerte. Se estima que tiene un índice de vulnerabilidad de 12 por lo cual se considera que necesita una revisión más detallada



**Figura 9a Gimnasio de la Unidad Deportiva “Carlos Serdán”**



**Figura 9b Gimnasio de la Unidad Deportiva “Carlos Serdán”**

#### 4) Estación de bomberos de Veracruz, “Bomberos de Zaragoza”

En agosto de 1929 se inauguró este edificio, y después se le hicieron dos modificaciones, la primera fue ampliar la zona de estacionamiento de los carros de bomberos, misma que sirvió para ampliar y adecuar la zona donde permanecen los bomberos cuando no hay una emergencia. El edificio antiguo consta de dos niveles cuya estructuración es a base de marcos de concreto reforzado, arcos de mampostería y losa maciza apoyada en vigas secundarias de concreto en el primer entrespacio y sobre vigas de acero en la losa de azotea, tal y como se ve en las figuras 10a y 10b. Sin embargo debido al paso del tiempo ya se aprecian problemas de corrosión en algunos elementos estructurales. La primera remodelación se estructuró por medio de marcos de concreto reforzado y losa maciza, cuidando la separación entre ésta y el edificio del lote contiguo, sin embargo se aprecia que no se respetó la separación entre el edificio original y la primera remodelación. La última remodelación consistió en techar una parte del estacionamiento empleando marcos de acero, con vigas y columnas de sección I, las cuales soportan un techo ligero de lamina metálica; en las fotos se aprecia el serio deterioro que presentan estos elementos. La ubicación que de acuerdo con la microzonificación sísmica le corresponde es la zona III, aluvial, a la que le corresponden periodos de 0.40 seg. o superiores, ver figura 6. De acuerdo con la metodología italiana le corresponde un índice de vulnerabilidad de 13, por lo que se recomienda hacer una inspección más detallada de la misma, y de esta manera poder determinar su comportamiento estructural ante un sismo importante.



**Figura 10a Estación de bomberos de Veracruz**



**Figura 10b Estación de bomberos de Veracruz**

#### 5) Estación de bomberos conurbados

Para la construcción de este edificio se aprovechó una estructura existente a base de columnas de concreto reforzado y losa aligerada. Consta de dos niveles con regularidad en planta, pero no en elevación, y un estacionamiento aledaño techado mediante perfiles monten y lámina, ver figura 11. A pesar de haber empleado una estructura abandonada no se aprecian daños considerables en las columnas debido a corrosión, las cuales puedan comprometer la resistencia de la misma. El único problema que ha presentado es el desprendimiento de una parte del recubrimiento de la losa en la zona de estacionamiento de los carros bomba. Se ubica en la zona II que corresponde a dunas y con un periodo entre 0.2 y 0.39 seg. De acuerdo con la metodología de inspección visual rápida se encontró que su índice de vulnerabilidad es de 3.00, por lo que se cataloga como segura.



**Figura 11 Estación de bomberos conurbados**

#### 6) Auditorio de la Facultad de Educación Física de la Universidad Veracruzana

Es un edificio con aproximadamente 52 años de antigüedad, ubicado en la zona II, tipo de suelo dunas, con periodos de 0.20 a 0.39 seg., además se encuentra alejado de la zona inundable, ver figura 6, por lo que puede usarse como albergue temporal, de servicio o como centro de acopio. Es una estructura con cimentación y columnas de concreto armado coladas *in situ*, vigas precoladas de concreto reforzado con sección variable para darle pendiente a la cubierta, la cual consiste en tabletas de concreto reforzado precolado. Muros de fachadas de mampostería a media altura complementada con celosía, ver figura 12.



**Figura 12 Auditorio de la Facultad de Educación Física de la Universidad Veracruzana**

De acuerdo con la metodología italiana le corresponde un índice de vulnerabilidad de 8, por lo cual se considera segura. A pesar de su antigüedad, el mantenimiento lo ha conservado en buen estado, y se considera que puede ser usado como útil en caso de un evento sísmico importante.

#### 7) H. Ayuntamiento de Boca del Río

Se encuentra ubicado en la rivera del río Jamapa, lo que lo hace vulnerable a las inundaciones, además se encuentra en la zona sísmica III, aluvial, con periodos igual a 0.4 seg. o superior. Fue construido a principios del siglo XIX, y ha tenido diversos usos, por lo que ha sufrido intervenciones y ampliaciones estructurales. Se considera un edificio estratégico por albergar a las autoridades de gobierno tomadoras de decisiones para restablecer el orden y proporcionar la ayuda necesaria. La estructuración consiste en 2 cuerpos anexos, a base de muros de mampostería combinados con marcos rígidos y arcos de mampostería, los cuales no guardan regularidad en planta, ver figura 13.



**Figura 13 H. Ayuntamiento de Boca del Río, Veracruz**

Aunque los resultados de la evaluación lo ubican en los límites de los que se considera una estructura segura, es decir con índice de vulnerabilidad de 127.5, se recomienda hacer un estudio más detallado del inmueble.

#### **8) Cruz Roja del Boca del Río**

Fue construido en noviembre de 1992, y al igual que en el otro edificio de la Cruz Roja, nos fue negado el acceso, sin embargo mediante una inspección visual externa se pudo determinar que su sistema estructural es a base de muros de mampostería, y se nos informó que había sido remodelada hace unos tres años. Es de una sola planta y de forma irregular, ver figura 14. Se ubica en la zona II que corresponde a dunas y con un periodo entre 0.2 y 0.39 seg., ver figura 6. De acuerdo con la metodología de inspección visual rápida se encontró que su índice de vulnerabilidad es de 3.00, por lo que se cataloga como segura.



**Figura 14 Cruz Roja Boca del Río**

### **CONCLUSIONES**

Es indispensable que en una ciudad con la importancia económica, turística y con el número de habitantes de esta conurbación, se tengan bien ubicadas las instalaciones que puedan auxiliar a la población en caso de un desastre natural así como el tipo de auxilio que pueden brindar, ya sea como albergues temporales, centros de acopio, entre otros. Actualmente en la ZCVB no existe una plena consciencia, tanto por parte de la población en general como de algunas autoridades municipales de qué edificios pueden servir como refugios temporales o centros de acopio en caso de ocurrir un sismo que afecte severamente a la población. Con este trabajo se pudieron identificar al menos dos edificios que pueden servir para dicho fin, el primero es el Auditorio de la Facultad de Educación Física de la Universidad Veracruzana, ya que de acuerdo a la inspección que se le hizo se encontró que es una estructura segura y en general está en buenas condiciones; además dentro de esta facultad también hay diversas canchas deportivas que podrían servir como espacios para colocar tiendas de campaña para brindar refugio a la población. El segundo es el Gimnasio de la Unidad Deportiva Carlos Serdán, sin embargo después de realizar la inspección y valorarla de acuerdo a la metodología italiana se encontró que es necesaria una revisión más detallada para conocer mejor su comportamiento probable ante un sismo, sin embargo esta Unidad Deportiva cuenta también con canchas deportivas que pueden servir como espacio para la colocación de tiendas de campaña.

También se pudo detectar con este trabajo, de que por parte de las autoridades municipales no se reconoce la importancia de que los cuerpos de auxilio cuenten con edificios adecuados y capaces de resistir el embate de un temblor fuerte, ya que encontramos que de las tres instalaciones de bomberos revisadas, solo una fue construida para dicho fin, pero en el año de 1929. Además, solo la estación de bomberos conurbados tiene un índice de vulnerabilidad tal que la clasifica como segura, y en las otras dos es necesaria una revisión a fondo

para conocer su capacidad para soportar un sismo fuerte, para que de este modo y en caso de ser necesario se puedan emitir recomendaciones a las autoridades municipales para que tomen cartas en el asunto.

Los problemas actuales en casi todos los edificios revisados, muy probablemente se debieron a un mal proyecto estructural y/o una mala supervisión, motivada por una falta de reglamento de construcciones municipales con el cual regular las malas prácticas profesionales, ya que muchas veces las personas que diseñan o supervisan no tienen los conocimientos necesarios en el área de la ingeniería estructural, específicamente en el diseño de estructuras sismo resistentes.

Para finalizar se reconoce la utilidad de la metodología italiana para hacer una inspección visual rápida, pero es necesario emplear otras metodologías para corroborar estos resultados, así como el uso de pruebas no destructivas para conocer el estado actual de los materiales empleados en su construcción y conocer con mas certeza su nivel de resistencia ante un evento sísmico fuerte.

### AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado, PROMEP, por otorgar el financiamiento a este proyecto, así como también al Heroico y Benemérito Cuerpo de Bomberos de Veracruz y Bocal del Río por habernos facilitado el acceso a sus instalaciones, así mismo agradecemos al técnico académico del Instituto de Ingeniería, UV, Estanislao Ferman García y a los alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Zona Veracruz: Daniela Bustos Hernández, Irma Menéndez Palacios, Fernando de Jesús León Lagunes, Carlos Isidro Coyotl y Alejandro Eduardo López Utrera por su activa participación en la elaboración de este trabajo.

### REFERENCIAS

Abe K. (1981), **“Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980”**, Phys. Earth. Planet. Inter., Vol. 27, pp.72-92.

Atlas de Riesgos (2012), **“Atlas de riesgos 2012: Memoria Técnica”**, Programa Municipal de Protección Civil 2011-2013, Veracruz, Ver., pp. 115-120.

C.N.R. (1986), **“Istruzioni per la compilazione della scheda di rilevamento esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici”**, Gruppo Nazionale Difusa Dai Terremoto, Italy.

Jiménez Z. and Ponce L. (1977-78), **“Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca, México, for the period 1928-1973”**, Geof. Int. Vol. 17, pp. 379-386.

Leyva R. (2010), **“Regiones Sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz”**, Congreso Internacional de Academia Journals.com, Tuxtla Gutiérrez Chis. 2010 Vol. III, pp. 78-84

Martínez C. (2009), **“Evaluación del uso de espectros de diseño al análisis del riesgo sísmico. Aplicación a Barcelona (España)”**, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Depto. de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Barcelona 2009.

Pérez S. et al (2009), **“Catálogo sísmico instrumental del estado de Veracruz (1910-2008)”**, III Congreso Internacional de Ciencias, Artes, Tecnología y Humanidades 2009, México, pp. 813-820.

Ponce L. and Suárez G. (1985), **“Evaluation of seismicity and of the maximum earthquake potential at the Laguna Verde Nuclear Power Plant”**, Informe del Instituto de Geofísica, UNAM.

Singh, S K, Suárez G. and Domínguez T. (1985), **“The great Oaxaca earthquake of 15 January 1931: Lithosphere normal faulting in the subducted Cocos plate”**, Nature, Vol. 317, pp. 56-58.

Singh, S K and M Wyss (1976), **“Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973”**, Geofis. Int. Vol. 16, pp. 165-184.



---

Suter, M, M Carrillo-Martínez and O Quintero-Legorreta (1996), **“Macroseismic study of shallow earthquakes in the central and eastern parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, México”**, Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 86, pp.1952-1963.

Williams F. et al (2011), **“Mapas de intensidades sísmicas en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), México, para el sismo de sayula del 25 de febrero de 2011 ( $M_w$ 6.0)”**, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes 2011, México