



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería Civil y Geomática

Escenarios de Pérdidas por Riesgo Sísmico para la Ciudad de México

T E S I S

Para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Jorge Luis Figueroa Estrada

Director de Tesis:

Dr. Eduardo Reinoso Angulo

Ciudad Universitaria, México D.F. 2007



El hombre es, a la vez, un ser solitario y un ser social.

Como ser solitario, procura proteger su propia existencia y la de los que estén más cercanos a él, para satisfacer sus deseos personales, y para desarrollar sus capacidades naturales. Como ser social, intenta ganar el reconocimiento y el afecto de sus compañeros humanos, para compartir sus placeres, para confortarlos en sus dolores, y para mejorar sus condiciones de vida.

Albert Einstein (1879-1955); físico y matemático

Dedicada a:

Mis padres Rosa Estrada Presa y Jorge Figueroa Lugo, por darme la vida, por el apoyo incondicional que me han brindado, por que el empeño y esfuerzo demostrado es poco comparado con el mío, por que nunca terminare de agradecer su admirable compromiso...GRACIAS.

Mis hermanos Antonio, Eduardo y Juan Carlos de los cuales siempre he encontrado la motivación para seguir adelante y para ser un ejemplo digno a seguir. Por que en cada uno de ellos he aprendido lecciones importantes en la vida.

Mi novia Laura Primavera García Martínez quien en su compañía he aprendido cuan maravilloso es amar y ser amado, por que me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento y es la inspiración para iniciar con alegría todos los días.

Mis amigos, Viridiana Lugo con quien la confianza es su mayor cualidad, Luis Rodrigo Contreras por que siempre se porto como un hermano, Mónica Adelina por que me enseñó el verdadero significado de la fe y a Sergio Castillo Aguilar quien siempre sus consejos son un alivio y de quien puedo decir que es mi mejor amigo ...

... Mis amigas de Ciencias Políticas: Mishell, Perla, Christian, Marisol, Diana, Viridiana por ser cómplices de momentos muy especiales y en especial a Erika (Kikita) a la que guardo en un lugar especial de mi corazón por haberme mostrado la vida desde un punto de vista más humano y que se sin duda descansa en un lugar lleno de luz.

La Universidad Nacional Autónoma de México por ser como mi segundo hogar, donde encontré la preparación y los principios que me ayudaran a vivir honorablemente en mi desarrollo profesional y personal.

Agradecimientos:

A todos los maestros de la Facultad de Ingeniería en especial: M.I. Gerardo Rodríguez Gutiérrez, Ing. Francisco J. Moreno Derbez, Ing. José Luis Esquivel Avila, M.I. Adriana Cafaggi Felix, M.I. Manuel García Flores, M.I. Oscar Vega Roldán, M.I. Humberto Gardea Villegas , Ing. Francisco Castro Juárez , Ing. Héctor Legorreta Cuevas , Ing. Oscar Couttolenc Echeverría, M.I. Alba Beatriz Vázquez González , M.I. Enrique Cesar Valdéz , Dr. Marta Suarez. Siempre dejando en cada clase todo su empeño y conocimientos.

A mis compañeros y amigos del Institutito de Ingeniería

Al Dr. Eduardo Reinoso Angulo que es una de las personas que más respeto y admiro por el historial de su desarrollo profesional, y por su apoyo en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de clase con quienes conviví en cada semestre.

A Carlos Eduardo Quiroga quien siempre fue un apoyo y de quien aprendí a ir siempre adelante, por que también es un gran amigo y un ejemplo.

A mi familia por creer en mí, en especial a mi Tío Mundo quien desde la niñez me ha dado su apoyo y quien ha sido como un segundo padre.

A Dulce Quiroz que ha estado pendiente de mi carrera y en cada etapa de mi vida.

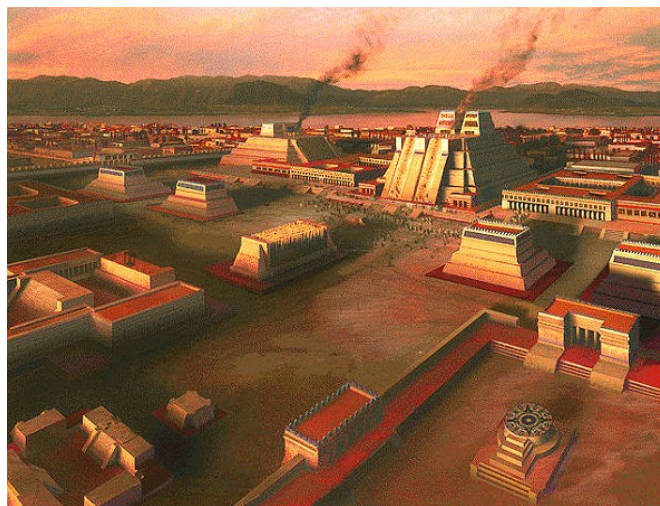
Laurita, mi amor gracias por tus consejos, por tu amor, por tu interés, por ser cómplice de inicio a fin de este trabajo y además de todo ser mi mejor amiga.

Hacia fines del siglo XV, una tarde empezó a temblar en el Valle de México y comenzaron a escucharse ruidos extraños en la bella ciudad de Tenochtitlán. Los pueblos que vivían alrededor del lago se alarmaron. De pronto, se escuchó un estruendo que provenía del Centro Ceremonial mexicana. Luego, apareció una gran cuarteadura en la esquina derecha del Templo Mayor, dedicado a Tláloc, dios del agua, y a Huitzilopochtli, dios de la guerra.

El suelo seguía cimbrándose. En medio de la confusión, el jefe de los aztecas el tlatoani, acudió presuroso al Centro Ceremonial y vio cómo la esquina del templo se desmoronaba estrepitosamente, rompiendo una hermosa piedra labrada y dejando al descubierto una pirámide edificada mucho antes.

El tlatoani no atinaba a explicarse si lo sucedido era un defecto de la construcción o una muestra del enojo de los dioses. Poco después de aquel temblor, los sacerdotes del agua imploraron a Tláloc para que no volviera a agitarse la tierra. Vestidos con trajes ceremoniales y máscaras, depositaron ofrendas: conchas, corales, cocodrilos y vasijas con la imagen de su dios. Una vez despejado el lugar de la catástrofe, los sacerdotes de Tláloc le informaron al jefe azteca que la esquina de la pirámide se había derrumbado porque los soportes de los cimientos no habían resistido el movimiento sísmico.

Sin embargo, los sacerdotes de Huitzilopochtli le dieron otra versión: que el derrumbe había sido un claro signo de la ira del dios de la guerra. Según este mensaje debían conquistar pueblos vecinos como lo venían haciendo. Y el tlatoani aceptó esta interpretación porque le convenía capturar prisioneros para utilizarlos en la reconstrucción del Templo. Los aztecas se prepararon para la guerra y, poco después, invadieron varios pueblos. Fueron tantos los hombres tomados presos que el tlatoani decidió hacerlos construir una pirámide más grande encima de la dañada.



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO 1 ESCENARIOS SÍSMICOS	1
1.1 Riesgo sísmico	1
1.2 Peligro sísmico en la Ciudad de México	1
1.2.1 Análisis del peligro sísmico	2
1.3 Escenario sísmico por subducción	5
1.4 Escenario sísmico a profundidad intermedia	6
CAPÍTULO 2 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ESCENARIOS SÍSMICO.....	8
2.1 Vulnerabilidad sísmica.....	8
2.2 Estimación de pérdidas económicas.....	10
2.2.1 Condiciones económicas del país	11
2.2.2 Obtención y manejo de información	12
2.2.3 Cálculo de las pérdidas económicas por escenario.....	16
2.2.4 Resultados de pérdidas económicas.....	18
2.3 Estimación del número de pérdidas humanas	21
2.3.1 Población	21
2.3.2 Horario de ocurrencia.....	22
2.3.3 Cálculo del número de pérdidas humanas	23
2.3.4 Resultados de pérdidas humanas	25
2.4 Impactos de pérdidas	27
2.4.1 Impacto económico	27
2.4.3 Impacto a la Infraestructura de transporte	28
2.4.2 Impactos a la población.....	28
CAPÍTULO 3 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO PARA LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC	31
3.1 Evaluación del riesgo sísmico con catastro digital	31
3.1.1 Información empleada del catastro digital para el cálculo de Riesgo Sísmico	31
3.2 Cálculo del riesgo sísmico en estructuras de la delegación Cuauhtémoc	33
3.3 Resultados e identificación de las zonas y lugares con mayor riesgo sísmico	38

CAPÍTULO 4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE EL RIESGO SÍSMICO	43
4.1 Organización en la atención de emergencia por desastres naturales en México	43
4.2 Percepción de la gente sobre el riesgo sísmico.	44
4.2.1 Encuesta en lugares de vivienda.....	45
4.2.2 Encuestas en lugares de trabajo.	45
4.2.3 Características del lugar más seguro según la gente.	46
4.3 Medidas de mitigación recomendadas para la población	47
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	56

TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de sistemas estructurales para la Ciudad de México	12
Tabla 2.- Área por tipo de sistema estructural para la Ciudad de México	15
Tabla 3.- Pérdidas esperadas en porcentaje y pérdidas en millones de pesos por tipo de sistema estructural.....	18
Tabla 4.- Pérdidas esperadas en porcentaje y pérdidas en millones de pesos por tipo de sistema estructural.....	20
Tabla 5.- Población esperada en el 2006, (Censo de Población 2000, INEGI).....	22
Tabla 6.- Porcentajes de ocupación según la hora y el día de la semana, (González y Reinoso, 2005)	24
Tabla 7.- Porcentaje de atrapados y fatalidad según sistema estructural, (ERN)	25
Tabla 8.- Víctimas del escenario de subducción (m8.2) por sub-escenario	26
Tabla 9.- Víctimas del escenario a profundidad intermedia (m7.7) por sub-escenario	26
Tabla 10.- Comparación de pérdidas económicas con el Presupuesto de Egresos de la Federación 2006, respecto al PIB de 2006	27
Tabla 11.- Colonias de la delegación Cuauhtémoc	34
Tabla 12.- Proporción de uso estructural de la delegación Cuauhtémoc	35
Tabla 13.- Características generales por colonia en la delegación Cuauhtémoc	36
Tabla 14.- Riesgo sísmico e I_{CRS} por colonias de la delegación Cuauhtémoc.....	40

FIGURAS

Figura 1.- Sismos fuertes de 2000 a la fecha, (SSN)	3
Figura 2.- Zonificación geotécnica, algunos sitios de referencia y estaciones de la red acelerométrica de la Ciudad de México, (Pérez-Rocha-Reinoso, 1998)	5
Figura 3.- Comparación entre el espectro de respuesta de aceleración observado y calculado con la ley de atenuación de tipo subducción para una $M_w=8.2$ y $R=278$ km para a) CU, b) SCT y c) CD, (Miguel Jaimes 2006)	6
Figura 4.- Comparación entre el espectro de respuesta de aceleración observado del 21 de Julio de 2000 (línea discontinua) y cálculo (línea continua) con la ley de atenuación de tipo de falla normal para una $M_w=7.0$ y $R=137$ km para a) CU, b) SCT y c) CD, (Miguel Jaimes 2006)	7
Figura 5.- Provincias tectónicas y localización del escenario propuesto por falla inversa y falla normal, (Mario Ordaz, L E Pérez Rocha y F J Sánchez Sesma)	7
Figura 6. Función de vulnerabilidad.	8
Figura 7.- Aportación del producto interno nacional <i>PIB</i> , (INEGI)	11
Figura 8.- Sistemas de mampostería	13
Figura 9.- Sistema de marcos de concreto	13
Figura 10.- Sistema de marcos de concreto contraventeados.....	14
Figura 11.- Sistema de naves industriales	14
Figura 12.- Sistema no ingenieril	15
Figura 13.- Delegaciones y zonas geotécnicas con la ubicación de AGEPS	17
Figura 14.- Aportación en porcentaje de las pérdidas por sistema estructural.	19
Figura 15.- Aportación en porcentaje de las pérdidas por sistema estructural	21
Figura 16.- Relación del factor de colapso $F.C.j$ respecto a la pérdida esperada, (ERN)	24
Figura 17.- Comparación del porcentaje de víctimas promedio	25
Figura 18.- Pérdidas económicas del escenario sísmico por subducción, ubicadas en AGEPS	29
Figura 19.- Pérdidas económicas del escenario sísmico a profundidad intermedia, ubicadas en AGEPS.....	30
Figura 20.- Mapa Político de la delegación Cuauhtémoc, (Departamento del Distrito Federal)	34
Figura 21.- Cartera con todas las estructuras de la delegación Cuauhtémoc para el cálculo del riesgo sísmico.....	37

Figura 22. Proceso de simulación para el cálculo de riesgo sísmico con RS-MEX	38
Figura 23. Distribución de frecuencias del riesgo sísmico para los hospitales en la delegación Cuauhtémoc	39
Figura 24.- Mapa en escala de riesgo sísmico por colonia.....	41
Figura 25.- Mapa de la tendencia riesgo sísmico en predios	42
Figura 26.- Estructura general del Sistema de Protección Civil	44

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los desastres naturales tienen altas consecuencias económicas y humanas por que existe concentración de recursos y población en lugares potencialmente peligrosos. Los dos terremotos que más afectaron a la Ciudad de México en el siglo pasado, ocurrieron en 1957 y 1985. El 19 de septiembre de 1985 por la mañana alrededor de 7:17 am, un sismo de magnitud $M_w=8.1$ se origino en el océano Pacífico frente a la desembocadura del Río Balsas; no se esperaba que a una distancia de 400 km del Distrito Federal llegara a ser una de las catástrofes más importante para el país en el siglo anterior.

Las pérdidas humanas y económicas repercutieron en la vida cotidiana de la población, es por esto que se mejoraron los Reglamentos de Construcción y Normas Técnicas Complementarias de diseño por sismo, además de implementar por primera vez en el mundo un sistema de alerta sísmica que avisa desde las costas de Guerrero el arribo de las ondas secundarias "S", con una diferencia de 50 a 60 segundos, en función de la distancia de origen.

La propuesta de escenarios sísmicos potencialmente peligrosos proporcionara estimaciones de pérdidas económicas (asociadas a las estructuras) y pérdidas humanas (en función de la ocupación y riesgo de la estructura). Se cuenta con información en *Área Geográfica Poblacional Económica (AGEPS)*, para el Distrito Federal e información georreferenciada por predios actualizada a 1996 para la delegación Cuauhtémoc. Los dos escenarios propuestos principales en esta tesis son:

- Escenario sísmico por subducción (Analizado en todo el Distrito Federal y en especial a la delegación Cuauhtémoc).
- Escenario sísmico a profundidad intermedia (Analizado en todo el Distrito Federal).

Para la estimación de pérdidas humanas en el Distrito Federal, se proponen sub-escenarios que dependen de la ocupación de la población en estructuras a diferentes momentos del día, con la finalidad conocer el momento más vulnerable de la población. La utilidad del análisis de pérdidas con los principales indicadores nacionales, pondrán en justa dimensión la magnitud de los daños en una de las ciudades más pobladas del mundo.

Los resultados de la estimación de pérdidas proporcionarán de forma indirecta la capacidad de una respuesta eficaz ante la presencia de un desastre natural. La delegación Cuauhtémoc con información de las características de colonias y predios, permite la elaboración de mapas que indiquen la tendencia del riesgo de cualquier escenario. Es necesario limitar la mención de predios con edificios importantes que presenten alto riesgo, a razón de que el estudio se realizara con información limitada y un resultado mas exacto requiere de visitas y acceso a información histórica de la estructura.

Las medidas de mitigación ante el riesgo, son de principal preocupación a causa de las cuantiosas pérdidas que un terremoto puede causar. El gobierno por su parte ha creado estrategias, mediante organizaciones responsables de actuar, alertar y prevenir en regiones donde se presenten fenómenos naturales. La percepción de la gente ante el riesgo sísmico determinara en cierta medida, el grado de vulnerabilidad que tiene el peligro. El conocimiento de medidas de prevención, la capacidad de atender a las recomendaciones y habilidades para responder ante el riesgo, hará posible una disminución en las pérdidas.

CAPÍTULO 1

ESCENARIOS SÍSMICOS

El desarrollo de escenarios sísmicos, representa una herramienta de gran alcance que nos permite de forma anticipada tener un panorama amplio de los impactos que puede generar un sismo¹ de gran magnitud, para una región o zona definida, que principalmente es útil en ciudades altamente pobladas con gran desarrollo económico donde se presentan pérdidas significativas.

El objetivo de este capítulo es determinar dos posibles escenarios sísmicos con diferentes mecanismos de falla, potencialmente peligrosos y considerando los efectos locales de la Ciudad de México; así como también, los antecedentes sísmicos en la historia del país para elegir los escenarios más probables.

1.1 Riesgo sísmico

El Riesgo sísmico se define como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un plazo dado, para un sismo que cause para cierto lugar determinado, cierto efecto medido en pérdidas o daños.

En riesgo esta compuesto de tres principales variables: el *peligro sísmico* teniendo en cuenta los efectos locales de amplificación, la *vulnerabilidad* de las construcciones y el *valor* de las pérdidas posibles (en bienes y vidas), estos últimos dos componentes serán definidos en el capítulo 2. La relación del riesgo sísmico que constituye la base para la estimación de pérdidas esta definida por (Sandi, H., 1986):

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro Sísmico} \bullet \text{Vulnerabilidad} \bullet \text{Valor}$$

Por tanto puede suceder para una zona determinada que el peligro sea alto mientras que el riesgo sea bajo debido a que el valor (bienes o vidas) represente el mínimo, es decir que la zona de estudio sea poco habitada o simplemente no esta habitada. Por el contrario el peligro puede ser bajo, pero la concentración de la población puede producir un aumento en el riesgo.

1.2 Peligro sísmico en la Ciudad de México

El peligro sísmico se define como la probabilidad de excedencia para un cierto valor de intensidad del movimiento del suelo producido por un terremoto, en un determinado lugar durante un periodo de tiempo dado. La definición aceptada por UNDRO (1980), según la peligrosidad *H* (de

¹ Un sismo o temblor es un movimiento vibratorio que se origina en el interior de la Tierra y se propaga por ésta en todas direcciones en forma de ondas, (RESNOM).

Harzar) se plantea por medio de la función de probabilidad del parámetro indicativo de la intensidad del movimiento x , en un lugar s , mediante la siguiente expresión:

$$H = P[x(s) \geq x_0; t]$$

Donde P representa la probabilidad de valores mayores al umbral x_0 para el parámetro elegido durante un tiempo t .

Debido a que los parámetros están estrechamente relacionados con el desplazamiento, la velocidad y la aceleración; el peligro sísmico a menudo es estimado en función de los valores máximos de los parámetros antes mencionados. Estos parámetros son denominados como **PGD** (desplazamiento), **PGV** (velocidad) y **PGA**² (aceleración), aunque ciertamente es habitual su expresión en términos de Intensidad Macro sísmica (relacionada con el grado de daño producido por un terremoto).

1.2.1 Análisis del peligro sísmico

La república de México se ha visto afectada en repetidas ocasiones por movimientos telúricos ya que el 80% de la actividad sísmica mundial, tiene lugar en el Cinturón Circumpacífico, esta franja incluye las costas de América y Asia. En consecuencia el territorio nacional se encuentra afectado por cuatro placas tectónicas: la de Norte América, Cocos, Rivera y del Pacífico.

La zona sur de México está dominada por el efecto entre placas denominado subducción, consiste en el hundimiento de las placas oceánicas Cocos y Rivera bajo la placa continental de Norte América y a lo largo de la Fosa Mesoamericana. La placa de Cocos converge desde el noroeste del estado de Colima hasta el estado de Chiapas y la frontera con Guatemala, por su parte la placa de Rivera es muy joven y pequeña, esta recorre la costa del norte del estado de Jalisco hasta el estado Colima.

El Servicio Sismológico Nacional (**SSN**), registra diariamente los movimientos telúricos de las placas, con el fin de tener una base histórica del comportamiento de las placas tectónicas que se encuentran en el país. Las zonas de mayor peligro están identificadas a lo largo de las costas del pacífico entre las ciudades de Tapachula Chiapas y Puerto Vallarta Guerrero; además en estas dos ciudades se produce con mayor frecuencia y magnitud la actividad sísmica de peligro para México, en la Figura 1, se muestran epicentros de sismos para magnitudes $M < 6$ y $M > 6$ a partir del año 2000.

Los sismos más recordados por su impacto negativo causando daños importantes en costas y la Ciudad de México son los que ocurrieron en los años 1911, 1957, 1979, y 1985.

² Peak ground displacement (PGD), Peak ground velocity (PGV); Peak ground acceleration (PGA)

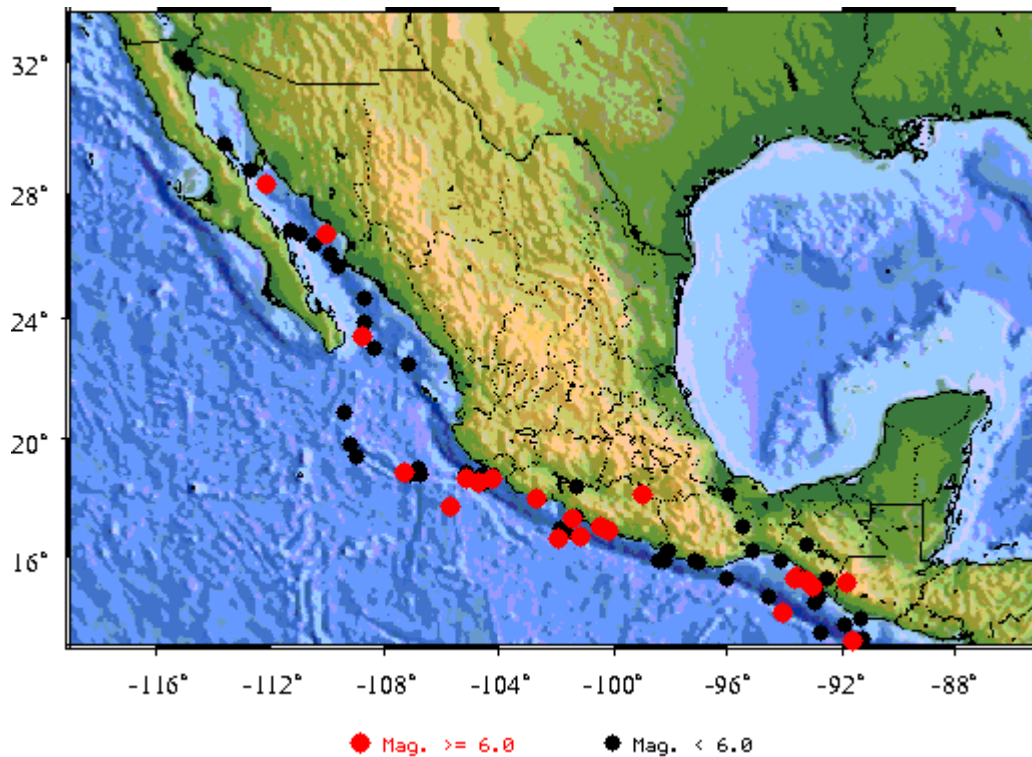


Figura 1.- Sismos fuertes de 2000 a la fecha, (SSN)

Características locales del peligro sísmico

La Ciudad de México se encuentra dentro de lo que se conoce como el Valle de México, siendo una extensión de aproximadamente 110 km en sentido norte sur y 80 Km en sentido este-oeste, con altitudes de 2236 m.s.n.m. El valle hasta hace unos 500 años encerraba los lagos de Zumpango, Xaltocan, Xochimilco y Chalco los cuales hoy en día con el continuo proceso de drenaje, han desaparecido a tal punto que solo se cuenta en la actualidad con pequeñas zonas de lago Xochimilco, Tláhuac y Texcoco. Este gran proceso de drenaje a convertido gran parte del valle en un terreno blando de material lacustre, sobre el cual se encuentran desplantadas las estructuras de la Ciudad de México. Las fuentes sísmicas que afectan al valle son:

- En la cuenca y cercanías donde se generan sismos de magnitudes menores a 5.5 grados en la escala de Richter.
- En la placa Norteamericana se generan sismos tipo Acambay con magnitudes de 7.7 grados en la escala de Richter.

- En la zona de subducción como la fuente que más daños ha causado por dar origen a sismos de magnitud 8.2 grados en la escala de Richter, está ubicada entre 280 y 600 km de la Ciudad de México; genera ondas ricas en periodos largos y grandes duraciones de tiempo de excitación en el suelo blando de la ciudad.
- Por falla normal, es una fuente localizada a profundidad intermedia que inicia con el rompimiento de la placa de cocos en subducción, provoca sismos de magnitudes mayores a 8 grados en la escala de Richter.

Las ondas sísmicas van perdiendo energía, en función del tipo de material por el que estas se desplazan la onda a lo largo del radio de su viaje. Los sitios que pueden verse más afectados por las ondas sísmicas, pueden presentar un comportamiento diferente ante la excitación del suelo debido a las características del material presente entre la fuente y los diferentes puntos de registro, lo cual produce una atenuación diferente en cada dirección. Para el caso de la ciudad los efectos en la zona blanda se amplifican produciendo un mayor daño a las estructuras; en el mundo a este fenómeno se le conoce como “efecto Ciudad de México”.

Al llegar las ondas producidas por un sismo a la ciudad, se amplifican en zonas con extractos blandos, producto de la desecación artificial de lagos, incrementando la duración del movimiento dominado por el arribo de ondas de periodo largo que sufren menos atenuación que las ondas de periodo corto.

Después del terremoto de 1985 creció la red acelerométrica, estas estaciones se ubicaron en zonas que anteriormente sufrieron daños considerables por sismos de gran intensidad en un total de 78 estaciones, tal como se ilustra en la Figura 2, donde se muestra el mapa de la Ciudad de México en zonas geotécnicas y principales puntos de referencia.

Para la ciudad se fijarán dos diferentes escenarios en función del mecanismo de falla, magnitud, distancia y efectos de sitio. Una forma de saber que tan peligroso puede ser el escenario propuesto es plantear espectros de respuesta de aceleración y compararlos con el movimiento de un sismo de características similares, el escenario puede proponerse en función de la magnitud del peligro de un sismo pasado.

Para generar los espectros se utilizan Leyes de Atenuación que pueden ser obtenidas con diferentes métodos. La regresión lineal bayesiana (Reyes, 1999), usa datos observados de sismo anteriores. La ley de atenuación queda en función del periodo, magnitud y distancia afectada por coeficientes, producto de la regresión lineal para obtener la aceleración espectral en el sitio, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\ln Sa(T) = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)(M_w - M_{r_{sf}}) + \alpha_3(T)\ln R + \alpha_4(T)R + \varepsilon(T)$$

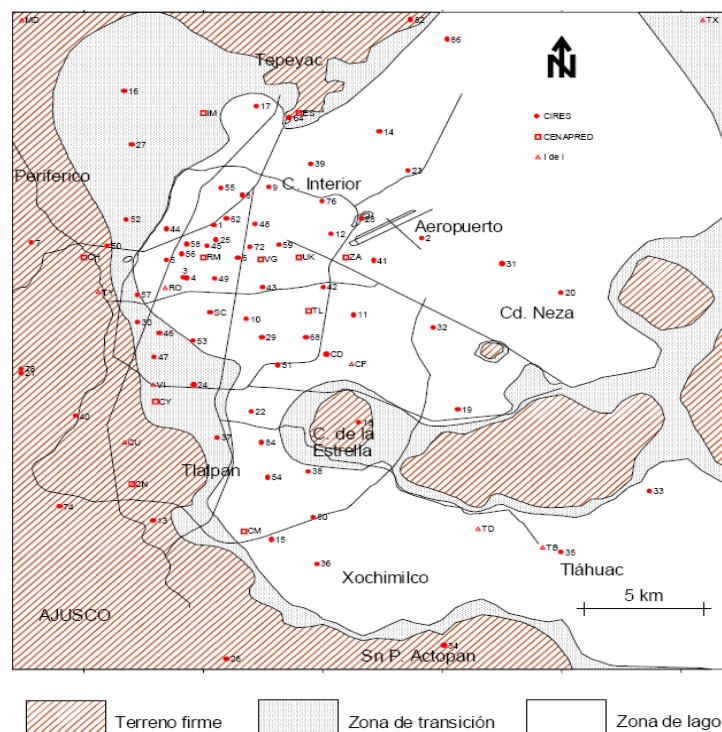


Figura 2.- Zonificación geotécnica, algunos sitios de referencia y estaciones de la red acelerométrica de la Ciudad de México, (Pérez-Rocha-Reinoso, 1998)

1.3 Escenario sísmico por subducción

Se propone el primer escenario con un mecanismo de falla inversa debido a la interacción entre las placas de Cocos y la Norteamericana en la zona de subducción, con magnitud en la escala de Richter de $M_w=8.2$ similar al sucedido en las costas de Michoacán en 1985. La ubicación del área de ruptura es de 200 km por 80 km, según estimaciones de (Singh et al, 1985) en las costas de Guerrero, justo en la brecha sísmica y a una distancia aproximada entre el área de ruptura y la Ciudad de México de 278 km, según la Figura 3.

Se hace referencia a los espectros comparados en tres estaciones de la Ciudad de México ubicadas en la tres principales zonas geotécnicas; la primera estación llamada CU está ubicada en Ciudad Universitaria (Zona Firme), la segunda estación llamada SCT ubicada en Secretaria de Comunicaciones y Transportes (Zona transición) y la tercera llamada CD ubicada en la Central de Abastos (Zona del Lago) en la ciudad.

En la Figura 3 se muestra los espectros observados en el sismo de 1985 para las tres estaciones y se compara con el propuesto, de manera inmediata se nota que el espectro del escenario propuesto tiene intensidades espectrales más grandes que el observado, por tanto se infiere un mayor peligro para la ciudad.

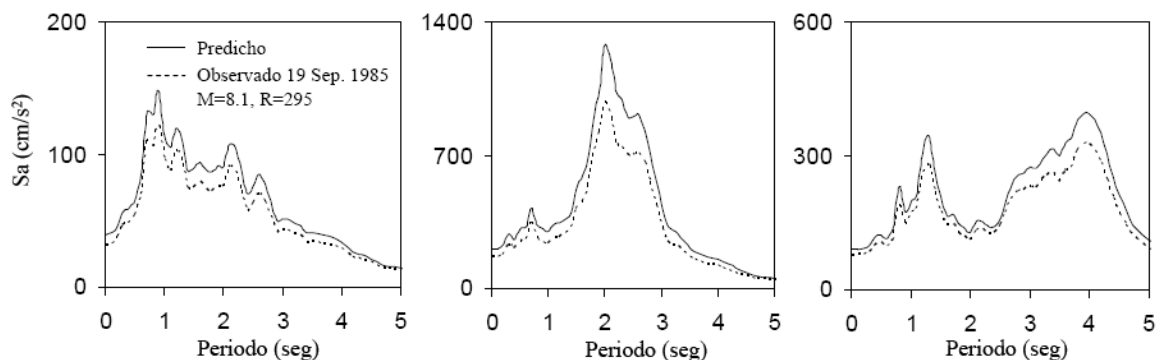


Figura 3.- Comparación entre el espectro de respuesta de aceleración observado y calculado con la ley de atenuación de tipo subducción para una $M_w=8.2$ y $R=278$ km para a) CU, b) SCT y c) CD, (Miguel Jaimes 2006)

1.4 Escenario sísmico a profundidad intermedia

Se propone el segundo escenario con mecanismo de falla normal a profundidad intermedia es decir no hay interacción directa de placas tectónicas. La magnitud en la escala de Richter de $M_w=7.7$ a 137 km de la ciudad.

El sismo es a profundidad intermedia en la placa Norteamericana; se tomo de igual forma la ley de atenuación que en el sismo por subducción pero tomando en cuenta los efectos que produce este mecanismo de falla, los espectros que se muestran en la Figura 4, fueron calculados tomando 10 sismos de falla normal para las mismas tres estaciones; se compara los espectros del sismo observado el 21 de julio del 2000 ocurrido en Copadillo Puebla con espectros de un sismo $M_w=7.0$.

Se observa en la Figura 4, que las intensidades espectrales son más grandes para periodos $T < 1$ si además se compara con el espectro para subducción en suelo firme. Los sismos por subducción son los que tienen mayor ocurrencia en nuestro país y son los más observados pero existen estudios recientes que indican que la falla, caída de esfuerzos y magnitud provoca que los sismos de falla normal sean más energéticos que los sismos de subducción.

En la Figura 5 se muestra de forma esquemática la ubicación de los dos sismos para los escenarios propuestos en un mapa de la República Mexicana, distinguiendo también las provincias tectónicas asociadas a el tipo de falla donde se observa que el sismo a profundidad intermedia puede originarse en Michoacán, Guerrero o Tlaxcala.

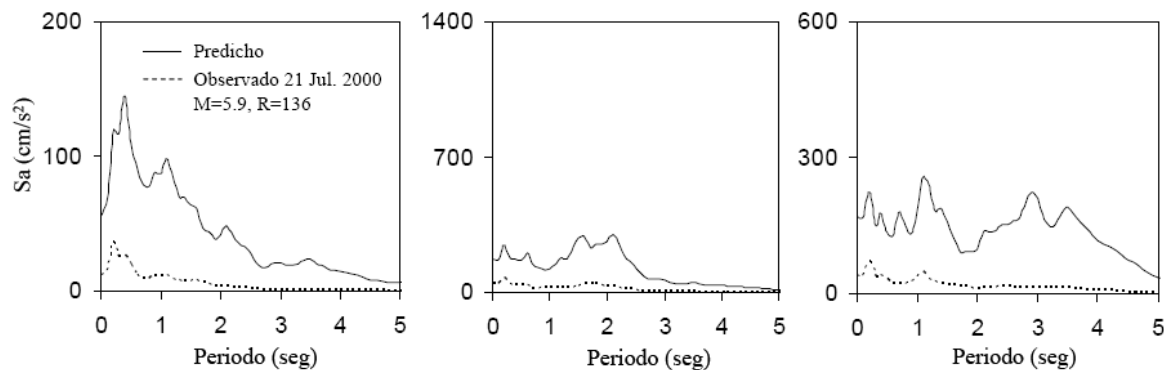


Figura 4.- Comparación entre el espectro de respuesta de aceleración observado del 21 de Julio de 2000 (línea discontinua) y cálculo (línea continua) con la ley de atenuación de tipo de falla normal para una $M_w=7.0$ y $R=137$ km para a) CU, b) SCT y c) CD, (Miguel Jaimes 2006)

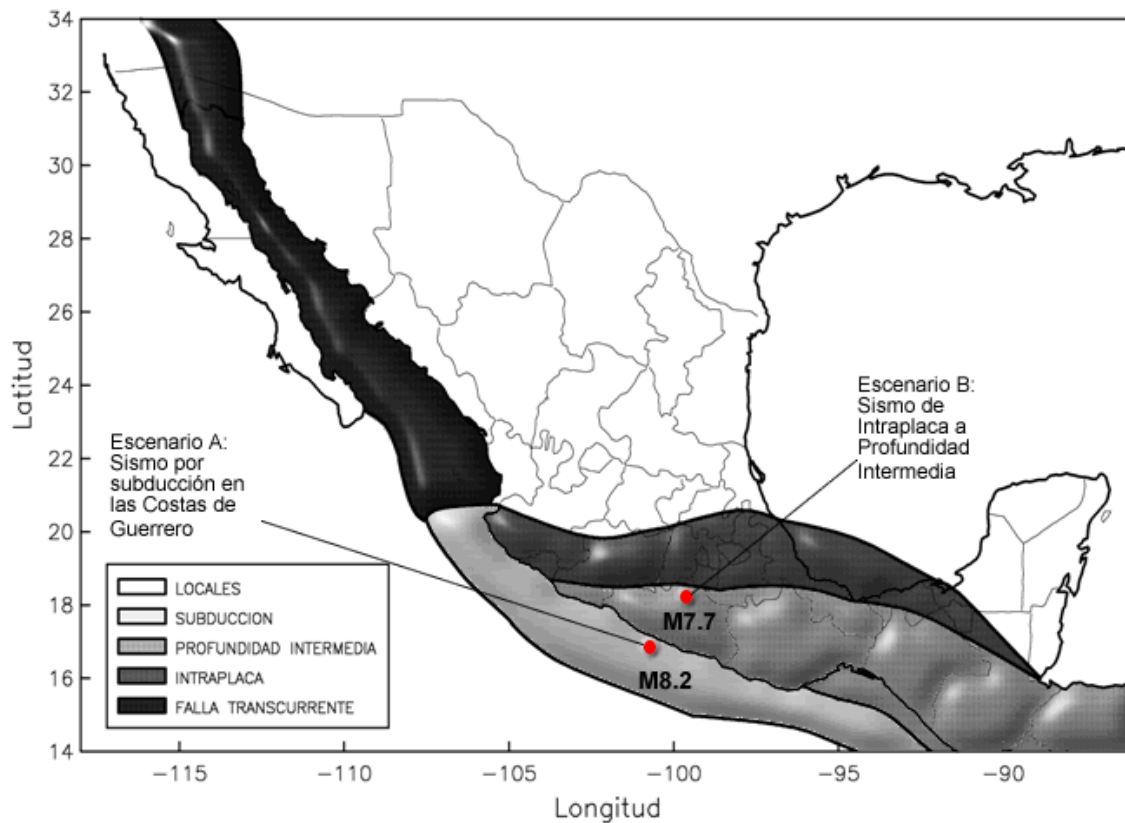


Figura 5.- Provincias tectónicas y localización del escenario propuesto por falla inversa y falla normal, (Mario Ordaz, L E Pérez Rocha y F J Sánchez Sesma)

CAPÍTULO 2

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE ESCENARIOS SÍSMICO

El objetivo principal de este capítulo es la evaluación de las pérdidas económicas y humanas por medio de funciones de vulnerabilidad aplicadas con el software llamado RS-MEX® Ver. 2.1 e información estadística generada para la evaluación. Esta información contempla el tipo sistema estructural, la cantidad de estructuras en metros cuadrados, el número de niveles, la ubicación espacial, el valor de lo construido (mediante un índice) y las características de la población.

2.1 Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como la probabilidad de sufrir daños. La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de cada estructura e independiente del peligro sísmico. El valor esperado de daño debido a una magnitud M_w en una fuente sísmica cualquiera es (Esteva, 1970):

$$E[\beta] = E[E(\beta|\gamma)] = E\left[1 - 0.5\left(\frac{\gamma}{\gamma_i}\right)^\rho\right]$$

Donde:

β = es el daño relativo

γ = es la distorsión de entrepiso (respuesta de la estructura)

γ y ρ = son parámetros de la función de vulnerabilidad.

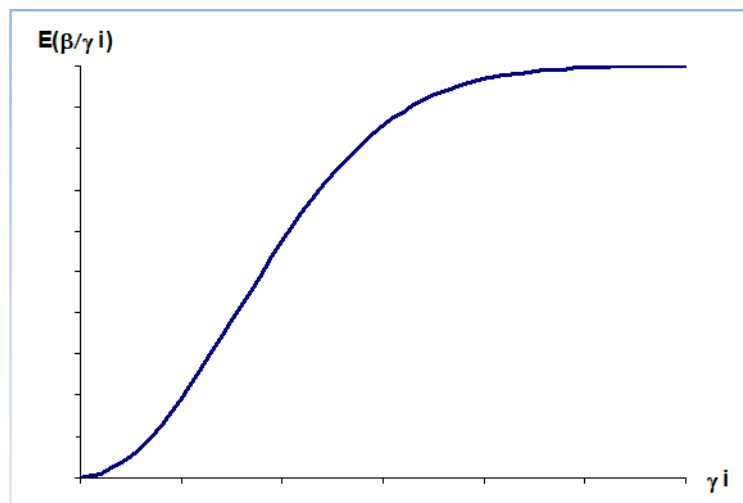


Figura 6. Función de vulnerabilidad.

La función graficada en la Figura 6, muestra que la distorsión de entrepiso es proporcional al valor de las pseudoaceleraciones. Para una magnitud y distancia, la intensidad sísmica es incierta de obtener con un procedimiento determinista. En consecuencia la intensidad S_a es una variable aleatoria que tiene una distribución log-normal con mediana dada por la ley de atenuación y desviación típica $\sigma(\ln S_a)$ tal que (Esteve 1970):

$$Pr(SA > Sa | M, R_j) = \varphi \left(\frac{E(\ln Sa | M, R_j) - \ln Sa}{\sigma_{\ln Sa}} \right)$$

Siendo ϕ la distribución normal estándar, $E(\ln Sa | M, R_i)$ el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y $\sigma_{\ln Sa}$ su correspondiente desviación estándar. La exponencial del valor $E(\ln Sa | M, R_i)$ es la mediana $\hat{a}$ de la pseudoaceleración.

La distorsión máxima de una estructura depende de la intensidad sísmica denominada pseudoaceleración espectral, la cual se relaciona directamente con la fuerza sísmica que la edificación soportaría. La distorsión máxima se estima de la siguiente manera (Miranda 1999, Miranda y Reyes 2002).

$$\gamma = a \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \eta^2 N^{\frac{3}{4}}}{4\pi^2 H}$$

Donde:

a Valor esperado de la aceleración espectral que depende del periodo fundamental de vibración y del amortiguamiento de la estructura.

β_1 Factor de amplificación que permite la estimación del desplazamiento lateral máximo en el nivel superior de la estructura a partir del desplazamiento espectral, considerando comportamiento elástico lineal. Este factor depende de la estructuración y del número de pisos de la estructura.

β_2 Factor de amplificación para estimar la distorsión máxima de entrepiso a partir de la distorsión global de la estructura, la que a su vez se define como el desplazamiento lateral máximo de la azotea, dividido entre la altura total del edificio.

β_3 Este factor depende de la ordenada espectral de pseudoaceleraciones asociada al periodo fundamental de vibración de la estructura (T), de su resistencia lateral y del factor de reducción de fuerzas laterales.

β_4 Factor que permite modificar el valor de la respuesta de la estructura en función de determinados aspectos que incrementan la vulnerabilidad, como son la existencia de columnas cortas, la asimetría e irregularidad de las construcciones y la existencia de sobrepeso en algunos niveles.

H Es la altura total de la estructura. Ésta se calcula multiplicando la altura promedio de entrepiso por el número total de pisos.

N Es el número de pisos de la estructura.

η Factor que sirve para estimar el periodo fundamental de la estructura a partir del número de pisos.

El valor de la distorsión máxima de entrepiso, se puede incrementar debido a la existencia de factores que aumenten la vulnerabilidad del sistema como pueden ser las irregularidades tanto en planta como en elevación, golpeteo con el edificio vecino, la existencia de daño previo sin reparación, columnas cortas, etc.

Por lo tanto el valor esperado del daño se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E[\beta] = \int_0^1 E(\beta|\gamma(a))f_a(a)da$$

2.2 Estimación de pérdidas económicas

La estimación de pérdidas económicas será asociada a las estructuras de la ciudad, puesto que la pérdida parcial o total de estas paraliza el desarrollo diario normal, después de que el evento sucede.

Es importante en este estudio definir dos tipos de pérdida: el primero se asocia a la pérdida directa o inmediata al evento, esto se traduce como la pérdida estructural de la ciudad en valores monetarios y la segunda llamada como perdida indirecta que está en función de los días después del evento en que un edificio, comercio, fabrica u hogar tarda en regresar a sus funciones de operación normal.

Para poder hacer una correcta evaluación es necesario conocer las condiciones económicas del país actuales que nos permitan deducir y manejar cifras asociadas al valor de las estructuras y población.

2.2.1 Condiciones económicas del país

México ha logrado cierta estabilidad económica en los últimos años, cerrando el 2006 con un crecimiento por encima del 4.54%, esto en consecuencia a los altos precios del petróleo, al dinamismo de las exportaciones y la demanda interna. Las tasas de interés se mantuvieron bajas con promedios de 3.4% y 5.0%.

En la Figura 7, se muestra las aportaciones del PIB interno para las diferentes entidades federativas del país donde se observa que el Distrito Federal es la entidad con el mayor porcentaje de aportación lo que muestra que un desastre en la ciudad podría causar impactos económicos de consideración por su alta actividad económica.

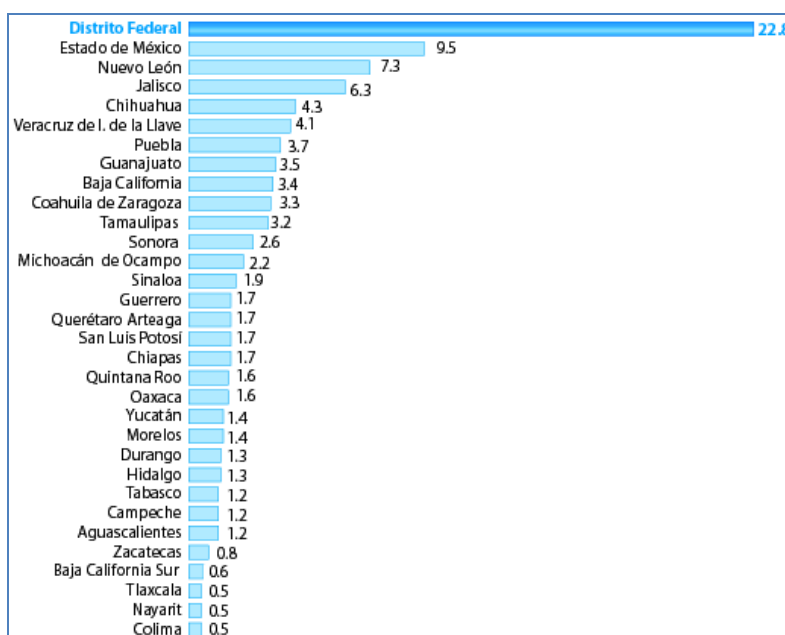


Figura 7.- Aportación del producto interno nacional PIB, (INEGI)

La creación de empleo también registrada este año dio un resultado positivo con cerca de 900,000 puestos de trabajo nuevos y aunque esta cifra no cubre la demanda actual, es mejor que la de otros años ya que el sexenio del presidente Vicente Fox empezó con medio millón de empleos. De los 44.4 millones de personas que integran la Población Económicamente Activa, unos 18 millones tienen un empleo precario o trabajan en la economía sumergida y dos millones de personas están desempleadas.

El barril de petróleo llegó a los \$70 dólares por barril lo que fue benéfico para el país pero según los expertos el precio podría llegar en el transcurso del siguiente año a los \$53 dólares por barril. La empresa estatal de PEMEX pronostica una entrada total de \$100, 000 millones de dólares, por ventas con los que el fisco se beneficiara en unos \$700, 000 millones de dólares. Por su parte la

entrada de remesas ascendió por encima de los \$20 millones de dólares, superando la inversión extranjera directa e interna por turismo.

La deuda externa neta bajo un 25% de casi \$54,000 millones de dólares a los \$40,700 millones de dólares de 2005 a 2006, la desaceleración económica de Estados Unidos, que bajara de 3.4 % en el 2006 y con el 2.7 para el 2007, esto impactara en la exportaciones mexicanas, en particular de automóviles y maquiladoras (ensambladoras).

La macroeconomía mexicana tiene fortalezas y debilidades, y en 2006 logró mantenerse a flote, gracias a ingresos extraordinarios procedentes del petróleo y de las remesas. Sin embargo, los analistas apuntan que la debilidad de estas bases puede generar mayores conflictos, en particular por las enormes desigualdades que existen en las distintas regiones y entre los grupos sociales.

2.2.2 Obtención y manejo de información

Los datos para evaluar las pérdidas de los escenarios propuestos, en su mayoría son de acceso público, es decir que esta información está disponible en libros de estadística nacional, artículos y por medio de internet, teniendo como principal fuente el sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Para poder evaluar las pérdidas económicas por riesgo sísmico se cuenta con información de metros cuadrados construidos en (**AGEPS**), con información de seis sistemas estructurales básicos según la Tabla 1, que tratan de englobar las diferentes construcciones desplantadas en el Distrito Federal y se dividen en subsistemas estructurales, donde su principal diferencia es el número de niveles.

TABLA 1.- CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

Tipos de sistema estructural
T1 Mampostería, $N < 3$
T2 Mampostería, $N \geq 3$
T3 Marcos, $N < 5$
T4 Marcos, $5 \leq N < 10$
T5 Marcos, $N \geq 10$
T6 Marcos contraventeados, $N < 5$
T7 Marcos contraventeados, $5 \leq N < 10$
T8 Marcos contraventeados, $N \geq 10$
T9 Industrial ligero
T10 Industrial pesado
T11 No Ingenieril ligero
T12 No Ingenieril pesado
T13 Otros (Ligeros)
T14 Otros (Pesados)

El objetivo de hacer las divisiones y subdivisiones en los sistemas estructurales es poder tener mejor caracterizada la información y un adecuado manejo en la evaluación de pérdidas económicas.

- **Sistema estructural tipo T1, T2 (Mampostería)**

Son estructuras de muros de mampostería confinados con castillos, través de concreto y losa de concreto; todos estos elementos colados en sitio. El uso de estas estructuras es variado ya que pueden ser viviendas o de tipo laboral. Normalmente es muy difícil encontrar una estructura que rebase los 5 niveles de altura, Figura 8.



Figura 8.- Sistemas de mampostería

- **Sistema estructural tipo T3, T4, T5 (Marcos de concreto)**

Son todas las estructuras con columnas y través de concreto reforzado donde las secciones de los elementos de columna son circulares o rectangulares, teniendo dimensiones desde los 20 cm hasta poco más de 1m. Las trabes en su mayoría se consideran coladas en sitio y la estructura puede prescindir de muros de carga. Se considera que las cubiertas o losas de estas estructuras son pesadas, Figura 9.



Figura 9.- Sistema de marcos de concreto

- **Sistema estructural tipo T6, T7, T8 (Marcos de concreto contraventeados)**

Son todas las estructuras con columnas y trabes de concreto reforzado, de secciones circulares o rectangulares y dimensiones que van desde 20 cm hasta poco más de 1 m. Las trabes normalmente son coladas en sitio y la estructura cuenta o no con muros de carga ya sean de mampostería o de concreto. Las estructuras tienen contraventeos en sus claros que ayudan a obtener mayor rigidez con el objetivo de ofrecer una mejor respuesta ante sollicitaciones de cargas accidentales como la de un sismo, Figura 10.



Figura 10.- Sistema de marcos de concreto contraventeados

- **Sistema estructural tipo T9, T10, (Naves industriales)**

Son estructuras en área superficial pero de baja altura, con muros de mampostería confinados por columnas y través de concreto reforzado. El uso de estas estructuras es variada pues se pueden utilizar como fabricas y de uso comercial (plazas comerciales y bodegas). Se pueden ver con cubiertas ligeras o cubiertas pesadas, Figura 11.



Figura 11.- Sistema de naves industriales

- **Sistema estructural tipo T11, T12 (No ingenieril)**

Estas estructuras son todas las que no cumplen con el mínimo de procesos constructivos suficientes para considerar que la estructura puede ofrecer seguridad mínima. En este

campo entran estructuras viejas donde en algunos casos las bardas de estas estructuras a simple vista se observa que los materiales usados son cascajos, también otro caso es que se ha visto que algunas estructuras están apuntaladas con polines de madera a falta de castillos de concreto. Estas estructuras se subdividen en pesadas o ligeras ya que algunas de estas son mal usadas como bodegas, Figura 12.



Figura 12.- Sistema no ingenieril

- **Sistema Estructural tipo T13, T14 (Otros)**

Esta clasificación simplemente trata de cubrir lugares de vivienda móviles en la ciudad o solo cuartos de variadas utilidades que para el fin de definir es impráctico y difícil en la evaluación.

El sistema estructural de mampostería se encuentra en un 64% presente en la muestra total, en función del área según la Tabla 2, mientras que los edificios más altos representan tan solo el 6% del total.

TABLA 2.- ÁREA POR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

Sistema	Área en millones (m2)	%
T1	306	48
T2	100	16
T3	45	7
T4	50	8
T5	32	5
T6	5	1
T7	12	2
T8	8	1
T9	30	5
T10	4	1
T11	31	5
T12	5	1
T13	1	0
T14	3	0
Total	633	100

2.2.3 Cálculo de las pérdidas económicas por escenario

El sistema con mayor presencia es el sistema de Mampostería (T1), esta información tiene asociado un índice promedio de valor por metro cuadrado construido indistintamente del valor que cada zona, ya que en este caso la información por practicidad será manejada de forma general.

El índice de costo por metro cuadrado es de \$614 USD, considerando como fecha de evaluación el día 13 de octubre de 2006, el cambio de dólar interbancario a la compra estaba en los \$10.9 pesos, por tanto, el valor total de lo construido por metro cuadrado es de \$7,306 pesos. El valor total de lo construido para la ciudad es de \$4.63 billones de pesos lo equivalente a la mitad del PIB nacional.

La aplicación de funciones de vulnerabilidad requieren además información de la ubicación del cada uno de los sistemas estructurales para considerar los diferentes efectos del suelo según la zona geotécnica, con esto la información se dividió en 743 puntos de malla que cubren toda la ciudad, Figura 13. La información de cada punto consiste en el área construida para varios sistemas estructurales ya definidos, ubicación espacial y zona geotécnica.

El software utilizado para el cálculo de la vulnerabilidad toma en cuenta dos grupos de datos para evaluar la vulnerabilidad de cualquier estructura:

Datos técnicos para conocer el tipo estructural

Estos datos permiten conocer el material y el proceso constructivo de las estructuras. El grupo toma en cuenta los datos del número de pisos, uso del edificio, material de las columnas, la forma en que construyeron las trabes, la existencia de muros de concreto, el tipo de cubierta en función de su peso, longitud de los claros, procedimiento constructivo de los muros y la existencia de contraventeos.

Datos de otras características estructurales

Este grupo cuenta características especiales que ayudan a determinar las condiciones de principales fallas, los datos son: la existencia de columnas cortas, sobrepeso, irregularidad en planta, irregularidad en elevación, ubicación en esquina, presencia de hundimientos diferenciales, daños previos, reparación de daños, reforzamiento de la estructura y las fecha de construcción o de la ultima reparación.

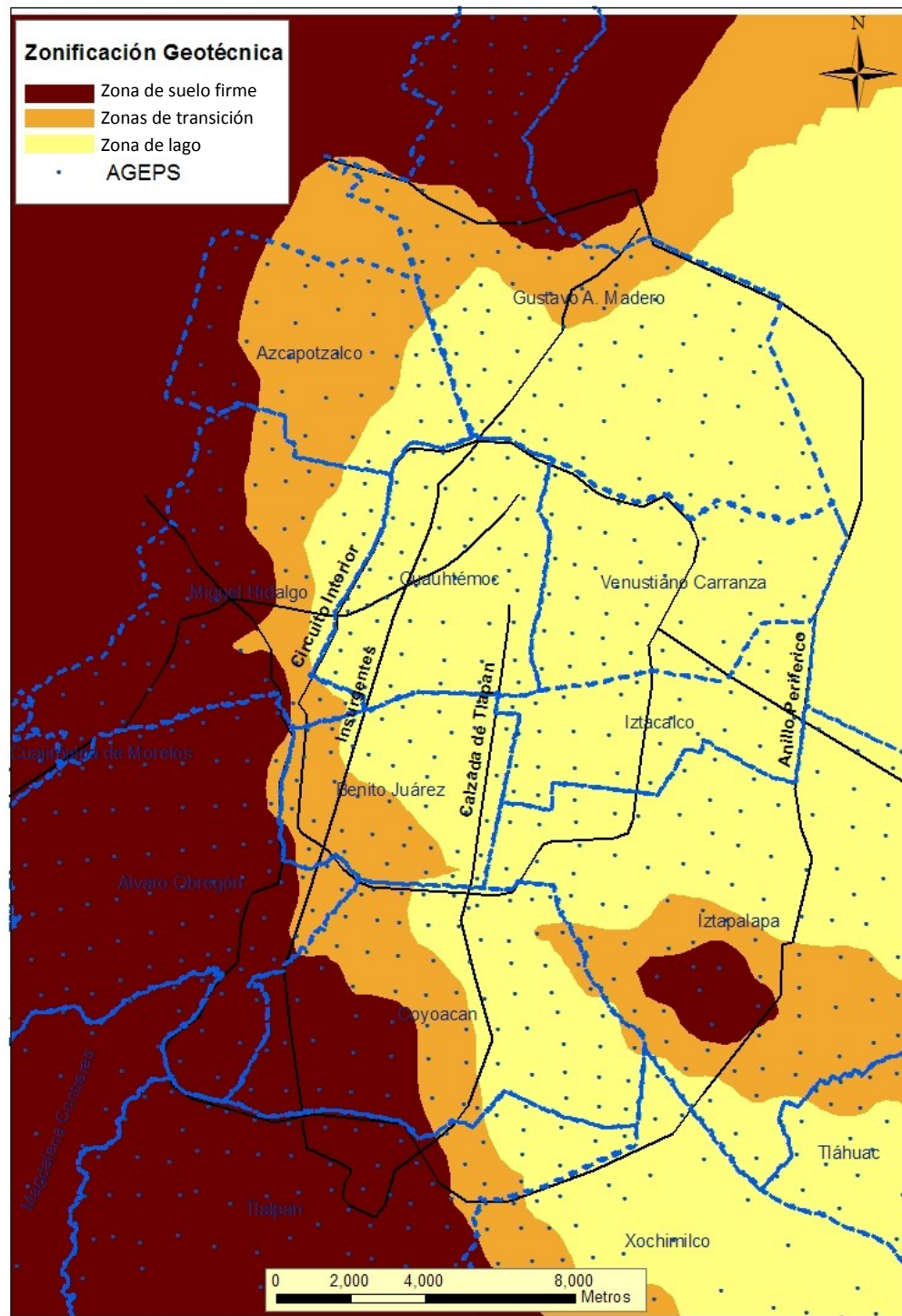


Figura 13.- Delegaciones y zonas geotécnicas con la ubicación de AGEPS

2.2.4 Resultados de pérdidas económicas

Escenario por subducción

La pérdida esperada representa el daño probable que una estructura puede sufrir, para valores mayores al 35% de pérdida se estima que existe colapso total o parcial, suficiente para dejar inservible la estructura.

En la Tabla 3, se muestra las pérdidas en porcentaje y pesos de acuerdo al tipo de sistema estructural. La pérdida expresada en pesos esta desglosada en directa e indirecta, es decir la pérdida directa esta asociada a los daños de la estructura mientras que la indirecta esta asociada a los daños posteriores al sismo, éste ultimo se fijo en un 13% de la pérdida directa como un promedio de las pérdidas indirectas de 1985.

TABLA 3.- PÉRDIDAS ESPERADAS EN PORCENTAJE Y PÉRDIDAS EN MILLONES DE PESOS POR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

México DF Tipo	Pérdida Esperada %			Pérdida Directa	Pérdida Indirecta	Pérdida Total
	Mínima	Media	Máxima	en millones de pesos	en millones de pesos	en millones de pesos
T1	0.0102	0.1761	0.6572	\$3,684.83	\$497.45	\$4,182.28
T2	0.1199	0.8345	3.0883	\$4,094.99	\$552.82	\$4,647.82
T3	2.1594	14.5575	44.1427	\$41,567.86	\$5,611.66	\$47,179.52
T4	5.3233	35.2029	90.5563	\$95,153.51	\$12,845.72	\$107,999.24
T5	7.9329	46.2545	99.9996	\$49,541.28	\$6,688.07	\$56,229.35
T6	2.6248	19.8675	55.8769	\$10,148.22	\$1,370.01	\$11,518.22
T7	5.8994	48.4306	99.2412	\$50,006.10	\$6,750.82	\$56,756.92
T8	7.9329	53.8053	99.9996	\$32,291.06	\$4,359.29	\$36,650.35
T9	3.4187	20.7971	62.1360	\$74,733.74	\$10,089.06	\$84,822.80
T10	9.9790	55.5553	99.9999	\$25,657.43	\$3,463.75	\$29,121.18
T11	0.0056	0.0649	0.2533	\$171.49	\$23.15	\$194.64
T12	0.0059	0.0843	0.2485	\$27.88	\$3.76	\$31.64
T13	0.0032	0.0680	0.2533	\$25.27	\$3.41	\$28.68
T14	0.0059	0.0862	0.2485	\$23.76	\$3.21	\$26.97
TOTAL		12.7738	99.9999	\$387,127.40	\$52,262.20	\$439,389.60

Para los sistemas de marcos de concreto y/o contraventeado e Industrial, las probabilidades de pérdida esperadas en su máximo valor son mayores al 35% en comparación con los otros sistemas estructurales, como el sistema T2 alcanza apenas un 3.1%. El número de niveles y el peso es determinante, puesto que de las estructuras con más probabilidad de pérdida son las más altas (de 5 niveles en adelante) y pesadas (para el sistema de nave industrial).

Las pérdidas económicas totales son de \$439.4 mil millones de pesos, donde para el sistema de marcos de concreto entre 5 y 10 niveles (T4) presenta la mayor pérdida de \$108 mil millones de

pesos, siguiéndole el sistema industrial ligero (T9) con una pérdida de \$85 mil millones de pesos; esto en porcentaje de pérdida económica total representa el 24% y el 19% respectivamente como se muestra en la Figura 14.

Es importante observar que para el sistema de mampostería las pérdidas no son tan graves pues apenas representan en suma el 2% del total de pérdidas respectivamente como se muestra en la Figura 14. En el sistema de Mampostería las perdidas no son tan graves pues apenas representan en suma el 2% del total de pérdidas.

Esto quiere decir que la mayoría de viviendas aun podrán ser habitables ya que normalmente las estructuras de mampostería son usadas por familias independientemente que en plantas bajas se encuentren negocios instalados. La poca participación en pérdidas de sistemas no ingenieriles o desconocidos significa que estos sistemas para este escenario por su poca existencia pueden ser despreciables.

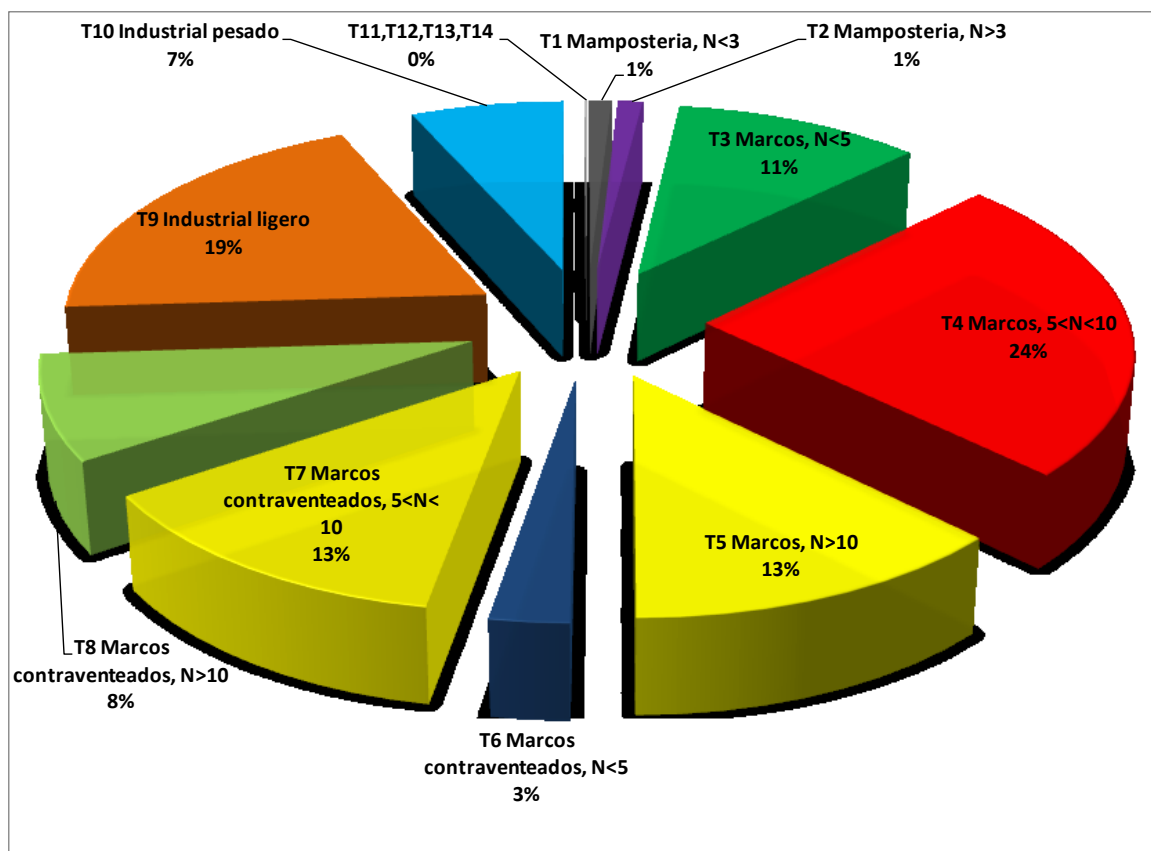


Figura 14.- Aportación en porcentaje de las pérdidas por sistema estructural.

Escenario a profundidad intermedia

Los resultados de pérdidas para este escenario dado son aun más significativos en comparación al primer escenario calculado, cada sistema tuvo al menos un valor de pérdida esperado máximo cercano al 100%. Las perdidas muestran una tendencia pronunciada a los extremos de la probabilidad de pérdida esperada, lo cual significa que se van a presentar mayores pérdidas económicas.

Para este escenario, las pérdidas totales más significativas corresponden a estructuras con menos de 10 niveles, donde \$623 mil millones de pesos corresponden a las pérdidas de estructuras de mampostería para menos de 3 niveles de altura según la Tabla 4. Los resultados obtenidos indican que la mayoría de viviendas y negocios en estructuras bajas presentan una mayor vulnerabilidad en este escenario.

TABLA 4.- PÉRDIDAS ESPERADAS EN PORCENTAJE Y PÉRDIDAS EN MILLONES DE PESOS POR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

México DF Tipo	Pérdida Esperada %			Pérdida Directa	Pérdida Indirecta	Pérdida Total
	Mínima	Media	Máxima	en millones de pesos	en millones de pesos	en millones de pesos
T1	0.4304	27.0467	99.9999	\$549,194.68	\$74,141.28	\$623,335.96
T2	3.1551	35.2906	99.9999	\$156,867.57	\$21,177.12	\$178,044.70
T3	6.4625	31.4391	87.7777	\$89,246.18	\$12,048.23	\$101,294.41
T4	6.9768	40.2811	97.8599	\$107,659.72	\$14,534.06	\$122,193.78
T5	9.9187	49.2620	99.9999	\$52,626.35	\$7,104.56	\$59,730.91
T6	8.7404	43.9177	99.7195	\$23,357.68	\$3,153.29	\$26,510.96
T7	8.2245	55.4238	99.9834	\$56,993.35	\$7,694.10	\$64,687.46
T8	9.9187	57.4401	99.9999	\$34,353.05	\$4,637.66	\$38,990.72
T9	10.1476	41.3059	99.3192	\$143,235.10	\$19,336.74	\$162,571.84
T10	18.2935	69.4075	99.9999	\$32,975.88	\$4,451.74	\$37,427.62
T11	0.1170	4.1758	90.8475	\$14,589.50	\$1,969.58	\$16,559.08
T12	0.1433	7.9718	90.8475	\$2,059.01	\$277.97	\$2,336.97
T13	0.0667	6.5104	90.8475	\$2,022.69	\$273.06	\$2,295.75
T14	0.1433	5.9322	90.8475	\$2,011.25	\$271.52	\$2,282.77
TOTAL	0.0362	12.7738	50.0676	\$1,267,192.00	\$171,070.92	\$1,438,262.93

Los sistemas estructurales con mayor pérdida corresponden a estructuras de mampostería y marcos de concreto sin pasar de los 10 niveles de altura (T1, T2, T3, T4, T9), con una aportación de pérdidas por encima de los mil millones de pesos, que se traduce en un 83% según la Figura 15. En comparación con los edificios mas altos y edificios industriales pesados las pérdidas son muy bajas y tan solo representan el 12% de la pérdida total.

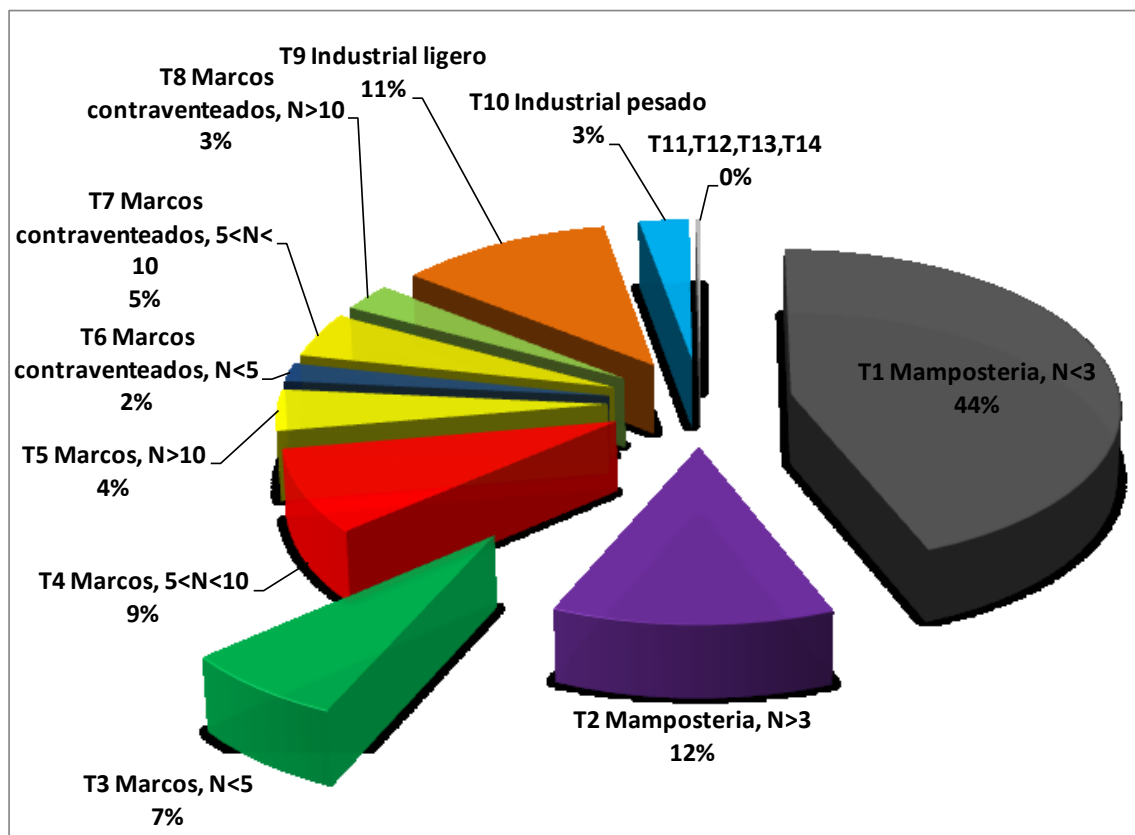


Figura 15.- Aportación en porcentaje de las pérdidas por sistema estructural

2.3 Estimación del número de pérdidas humanas

2.3.1 Población

La población actual en México tiene un crecimiento promedio del 2000 al 2005 del 1.15% y para el Distrito Federal 0.27% con lo cual se proyectó la población para el año del 2006 mediante la aplicación de la fórmula general de interés compuesto y se obtuvo para todos los estados respetando la propia tasa de crecimiento de cada estado tal y como se muestra en la Tabla 5.

En la tabla también se muestra que la Ciudad de México es una de las ciudades más densamente pobladas representando el 8.3% de la población total de México.

TABLA 5.- POBLACIÓN ESPERADA EN EL 2006, (CENSO DE POBLACIÓN 2000, INEGI)

Entidad federativa	Tasa de Crecimiento	Población 2006 en millones
Estados Unidos Mexicanos	1.16%	104.46
Aguascalientes	2.44%	1.09
Baja California	2.72%	2.92
Baja California Sur	3.85%	0.53
Campeche	1.79%	0.77
Coahuila de Zaragoza	1.66%	2.54
Colima	0.92%	0.57
Chiapas	1.83%	4.37
Chihuahua	1.21%	3.28
Distrito Federal	0.27%	8.74
Durango	0.82%	1.52
Guanajuato	0.97%	4.94
Guerrero	0.23%	3.12
Hidalgo	0.96%	2.37
Jalisco	1.33%	6.84
México	1.35%	14.20
Michoacán de Ocampo	-0.10%	3.96
Morelos	0.73%	1.62
Nayarit	0.63%	0.96
Nuevo León	1.84%	4.28
Oaxaca	0.39%	3.52
Puebla	1.18%	5.45
Querétaro Arteaga	2.62%	1.64
Quintana Roo	5.35%	1.20
San Luis Potosí	0.95%	2.43
Sinaloa	0.56%	2.62
Sonora	1.56%	2.43
Tabasco	1.02%	2.01
Tamaulipas	1.90%	3.08
Tlaxcala	2.10%	1.09
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.58%	7.15
Yucatán	1.87%	1.85
Zacatecas	0.21%	1.37

2.3.2 Horario de ocurrencia

La hora en la que ocurre un desastre natural influye directamente en los daños producidos a la población y bienes materiales, por lo tanto se calculara en referencia a la Tabla 6, cinco sub-escenarios que tienen la finalidad de cubrir todos los intervalos del día, respecto a las características de la semana.

Los cinco sub-escenarios para el cálculo del número de pérdidas humanas en función del momento del día son:

- Semana hábil en labores (8:00 am - 8:00 pm).
- Día hábil de noche (10:00 pm - 5:00 am).
- Día hábil en transporte (8:00 pm - 10:00 pm y 5:00 am - 8:00 am).
- Fin de Semana en transporte/día (8:00 am - 10:00 pm).
- Fin de Semana de la noche (10:00 pm - 8:00 am).

2.3.3 Cálculo del número de pérdidas humanas

La evaluación de las pérdidas es un tema complicado de gran incertidumbre por la poca información, el desarrollo de un método nuevo para la Ciudad de México aun es complicado por la poca estadística, pero ya existe un método desarrollado por investigadores de ERN para el sismo de 1972 en Managua.

El método fue creado con los datos obtenidos de las estructuras de Managua y de estudios realizados para el sismo de 1985 en México. El modelo estimativo consiste en calcular el Número de Víctimas (Nv_i) y la ecuación es (Reinoso):

$$Nv_i = \frac{Ocupantes_i \times Atrapados(\%) \times Fatalidad(\%) \times F.C.j}{10000}$$

Donde:

- Ocupantes: Es el número total de personas que están presentes en la estructura cuando el sismo se presenta.
- Atrapados: Es el numero de personas en por ciento, que aun quedan con vida pero atrapadas en los escombros y esta en función del sistema estructural, Tabla 7.
- F.C. j: El Factor de Colapso, es un valor de cero a uno, se obtiene del cálculo del riesgo dado por un sismo j; esto quiere decir que a partir del de la perdida esperada se obtiene la probabilidad del colapso de una estructura, Figura 16.

TABLA 6.-PORCENTAJES DE OCUPACIÓN SEGÚN LA HORA Y EL DÍA DE LA SEMANA, (GONZÁLEZ Y REINOSO, 2005)

Ubicación de las personas	Día hábil			Fin semana y Festivos	
	Noche (%)	Transporte (%)	Día (%)	Noche (%)	Transporte / Día (%)
Vivienda	96	35	22	87	40
Calle y lugares abiertos	1	40	20	10	40
Lugares de trabajo	3	25	58	3	20
Total	100	100	100	100	100

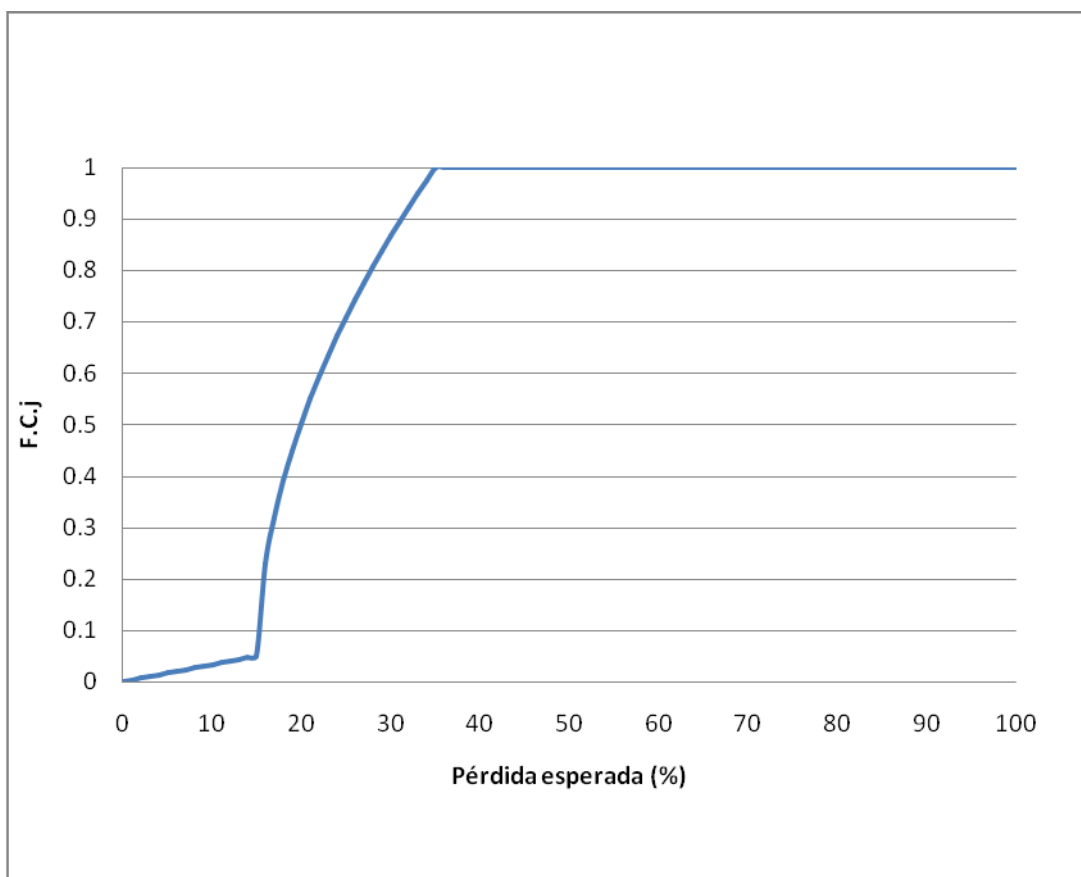
Figura 16.- Relación del factor de colapso $F.C.j$ respecto a la pérdida esperada, (ERN)

TABLA 7.- PORCENTAJE DE ATRAPADOS Y FATALIDAD SEGÚN SISTEMA ESTRUCTURAL, (ERN)

#	Tipo estructural	Atrapados, %	Fatalidad, %
1	Adobe sin diafragma c/cubierta ligera	3	12
2	Adobe sin diafragma c/cubierta pesada	5	12
3	Marco de concreto con diafragma	30	50
4	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta ligera	10	50
5	Marcos de Concreto sin diafragma c/cubierta pesada	20	50
6	Madera con losa de concreto	1	10
7	Madera sin diafragma c/cubierta ligera	1	10
8	Madera sin diafragma c/cubierta pesada	5	10
9	Muros de carga de mampostería con losa de concreto	3	12
10	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta ligera	5	12
11	Muros de mampostería sin diafragma c/cubierta pesada	7	12
12	Prefabricada sin diafragma c/cubierta ligera	10	12
13	Ripio sin diafragma c/cubierta ligera	1	50
14	Ripio sin diafragma c/cubierta pesada	1	50
15	Taquezal sin diafragma c/cubierta ligera	1	10
16	Taquezal sin diafragma c/cubierta pesada	1	10
17	Marcos de acero sin diafragma c/cubierta ligera	1	10

2.3.4 Resultados de pérdidas humanas

Los resultados obtenidos producto del cálculo con el método de Managua para determinar el número de víctimas están ordenados por el tipo de sistema estructural, escenario por momento del día y tipo de uso de la estructura (vivienda o lugar de trabajo) según se muestra en Tabla 8 y Tabla 9. En promedio el escenario sísmico que originaría la mayor cantidad de número de víctimas es el de profundidad intermedia (M7.7) en un 55% respecto al escenario de subducción M8.2 con el 45%, Figura 17.

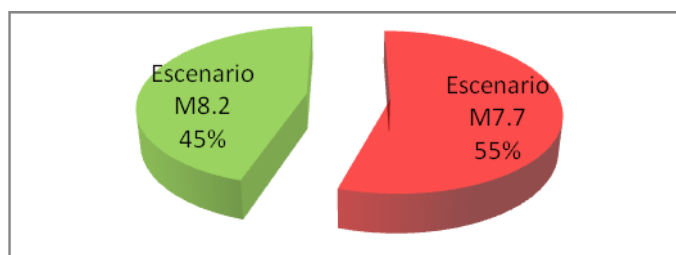


Figura 17.- Comparación del porcentaje de víctimas promedio

TABLA 8.- VÍCTIMAS DEL ESCENARIO DE SUBDUCCIÓN (M8.2) POR SUB-ESCENARIO

Sistema Estructural	Día hábil						Fin de Semana y Festivos			
	Día		Transporte		Noche		Transporte/Día		Noche	
	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo
T1	3	7	4	3	12	0	5	2	10	0
T2	3	9	5	4	14	0	6	3	13	0
T3	153	403	243	174	666	21	278	139	604	21
T4	7,851	20,697	12,490	8,921	34,257	1,071	14,274	7,137	31,045	1,071
T5	3,571	9,415	5,682	4,058	15,584	487	6,493	3,247	14,123	487
T6	673	1,775	1,071	765	2,937	92	1,224	612	2,662	92
T7	2,606	6,870	4,146	2,961	11,371	355	4,738	2,369	10,305	355
T8	1,145	3,020	1,822	1,302	4,998	156	2,082	1,041	4,529	156
T9	52	136	82	59	225	7	94	47	204	7
T10	9	25	15	11	41	1	17	8	37	1
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	16,066	42,355	25,559	18,256	70,105	2,191	29,210	14,605	63,533	2,191
		58,421		43,816		72,296		43,816		65,723

TABLA 9.- VÍCTIMAS DEL ESCENARIO A PROFUNDIDAD INTERMEDIA (M7.7) POR SUB-ESCENARIO

Sistema Estructural	Día hábil						Fin de Semana y Festivos			
	Día		Transporte		Noche		Transporte/Día		Noche	
	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo	Vivienda	Trabajo
T1	1,780	4,693	2,832	2,023	7,768	243	3,237	1,618	7,040	243
T2	544	1,433	865	618	2,373	74	989	494	2,150	74
T3	352	927	559	400	1,534	48	639	320	1,390	48
T4	8,113	21,388	12,906	9,219	35,400	1,106	14,750	7,375	32,081	1,106
T5	3,758	9,907	5,979	4,270	16,398	512	6,833	3,416	14,861	512
T6	942	2,483	1,498	1,070	4,110	128	1,712	856	3,725	128
T7	2,758	7,271	4,388	3,134	12,035	376	5,015	2,507	10,907	376
T8	1,188	3,131	1,890	1,350	5,183	162	2,160	1,080	4,697	162
T9	71	187	113	80	309	10	129	64	280	10
T10	10	27	16	12	45	1	19	9	40	1
T11	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	1	4	2	2	6	0	3	1	5	0
T14	1	4	2	2	6	0	3	1	6	0
Totales	19,518	51,456	31,051	22,179	85,169	2,662	35,487	17,743	77,184	2,662
		70,974		53,230		87,830		53,230		79,846

Los sistemas con mayor número de víctimas corresponden al sistema estructural de marcos de concreto de 5 a 10 niveles de altura. Para el escenario de subducción en promedio el sistema T4 ya referido presenta el 49%, mientras que el sistema de marcos con mas de 10 niveles representa el 22%; por otro lado para escenario de profundidad intermedia, el sistema T4 representa el 42% del número de víctimas totales, solo seguido por el sistema de marcos de concreto con más de 10 niveles con el 19% con la diferencia de que se presenta el 9% de víctimas en estructuras T1 con niveles menores a los tres.

Los sub-escenarios mas críticos del primer escenario, se presentan en semana hábil por la noche con un total de 35, 278 víctimas, donde por concepto de uso, las vivienda representa el 97%; para el escenario de fin de semana por la noche muestra resultados muy similares. Esto solo indica que debido a que en un edificio de 5 a 10 niveles hay más de una familia y por lo tanto el riesgo

crece. Para el segundo escenario el sub-escenarios crítico es en la noche de semana hábil con 72, 296 víctimas, esto representa el 97% de víctimas asociado al las viviendas.

2.4 Impactos de pérdidas

Las pérdidas calculadas en los temas anteriores requieren un análisis que ponga en justa dimensión la magnitud de los daños. Para las pérdidas económicas, la mejor forma es hacer las comparaciones con indicadores económicos con el PIB nacional, distribución de recursos por el Presupuesto de Egresos de la Federación del 2006, el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) y cifras significativas del terremoto de 1985. Para el número de víctimas lo importante es resaltar el impacto en la población en función de número de habitantes a nivel estatal y nacional.

2.4.1 Impacto económico

El Producto Interno Bruto en México se proyecta considerando un crecimiento de 4.1% y una inflación del 3%, resultando en \$9.66 mil millones de pesos. La comparación de las pérdidas y la distribución de recursos que el gobierno dispuso para el 2006 respecto al PIB, muestra claramente el impacto, Tabla 10. Prácticamente los destinos de dinero mostrados en la tabla se perderían con el escenario de subducción.

TABLA 10.- COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS CON EL PRESUPUESTO DE EGRESOS DE LA FEDERACIÓN 2006, RESPECTO AL PIB DE 2006

Concepto	Pérdida o Asignación Millones de pesos	Porcentaje del PIB, %
Escenario (Profundidad Intermedia M7.7)	\$1,438,263	14.89
Escenario (Subducción M8.2)	\$439,390	4.55
IMSS	\$235,767	2.44
Educación	\$137,549	1.42
Salud	\$42,355	0.44
Comunicaciones y Transportes	\$33,687	0.35
Desarrollo Social	\$26,572	0.28
Defensa Nacional	\$26,031	0.27
Economía	\$7,618	0.08

El Fondo Nacional de Desastres por su parte sufrió una disminución de presupuesto en cerca de \$4 mil millones de pesos quedando en \$1, 126 mil millones de pesos consecuencia del Huracán Stan y Wilma. Al comparar el presupuesto anterior las pérdidas obtenidas se establece que el FONDEN esta preparado para disponer los recursos, solo que el escenario de profundidad intermedia sucediera, los recursos no alcanzarían aun cuando no se tome en cuenta los demás riesgos naturales que suceden en el país a cada año.

En los mapas de la Figura 18 y Figura 19, muestra las pérdidas económicas por encima de los \$200 millones de pesos. La finalidad de la cantidad propuesta fue identificar la tendencia de las mayores pérdidas económicas. Para los dos escenarios propuestos la delegación Cuauhtémoc presenta la mayor pérdida económica, esto quiere decir que es la delegación que requiere mas atención. La diferencia es que el escenario sísmico de profundidad intermedia tiene mayor impacto y también afecta significativamente a otras delegaciones ubicadas al poniente de Cuauhtémoc por el Norte y Sur.

2.4.3 Impacto a la Infraestructura de transporte

Uno de los medios de transporte ya probado en los terremotos de 1985 es el Sistema de Transporte Colectivo Metro, la gente que se transportaba durante el terremoto no lo pudo percibir y en contra de lo que se pensaba en los primeros instantes, la red protegió a los usuarios. La razón principal de que el sistema de transporte sea seguro, radica en las técnicas denominadas de túnel de cajón y el sistema de muros de Milán.

El sistema de muros de Milán consiste en abrir dos zanjas donde se colocaran muros paralelamente y posteriormente entre estos se colocara el firme y el túnel. El sistema contiene al empuje lateral del material eliminando la posibilidad de deslaves. La compensación fue de importancia por que si el peso del material excavado resultaba mayor que las del túnel, éste tendería a emerger y viceversa. En las estaciones se requirió compensar el gran volumen de vacíos y poco peso con la construcción de edificios sobre estas.

En el terremoto de 1985 avenidas como el Eje Central quedaron totalmente obstaculizadas por los edificios colapsados, impidiendo la utilidad de utilizar vehículos. En la actualidad con la construcción de distribuidores viales en segundos pisos, representan el nuevo reto; el riesgo de que colapse parcial o totalmente no solo es un peligro para los viajeros si no que también puede afectar a las construcciones vecinas. En 1985 se encontró que en la carpeta asfáltica de Viaducto se dibujo una fisura, ya que se encuentra sobre suelo blando, por lo tanto la obra en su porción de Viaducto representa un mayor riesgo.

2.4.2 Impactos a la población

El análisis de los impactos por concepto de pérdidas humanas se simplifica tomando el promedio de los cinco sub-escenarios. El porcentaje de las pérdidas humanas comparado con la población total en la ciudad es apenas de 1%. Realmente al comparar este porcentaje con la tasa de mortalidad de 2.89% en el 2006, representa solo un tercio.

La cantidad de pérdidas humanas es polémica, pero no aventurada puesto que a diferencia de 1985 la población es mayor actualmente y no solo eso, existe el fenómeno de la migración diaria

de la zona metropolitana, en consecuencia el número de pérdidas podría ser ligeramente mayor o menor según la hora del día, ver Anexo.

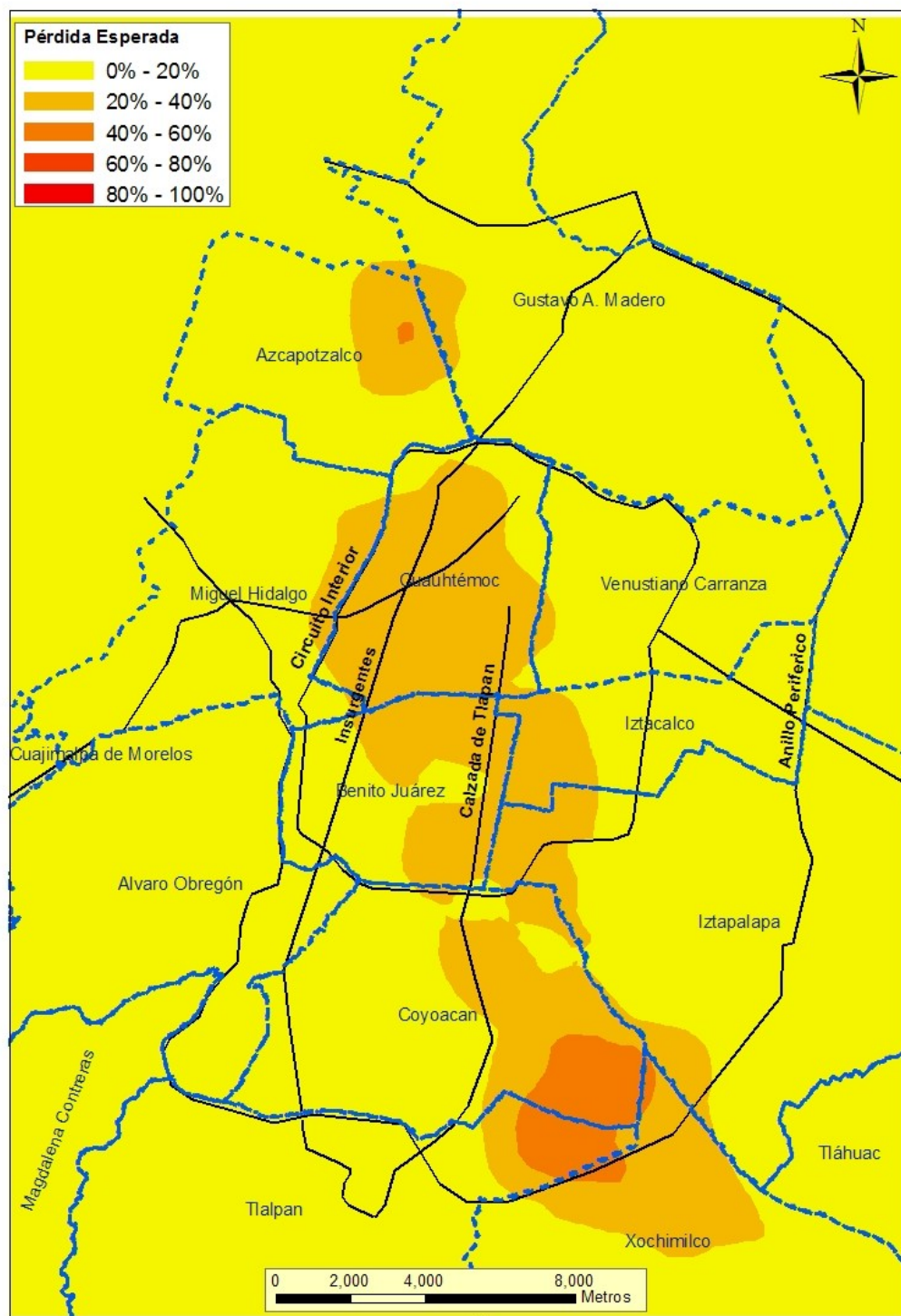


Figura 18.- Pérdidas económicas del escenario sísmico por subducción, ubicadas en AGEPS

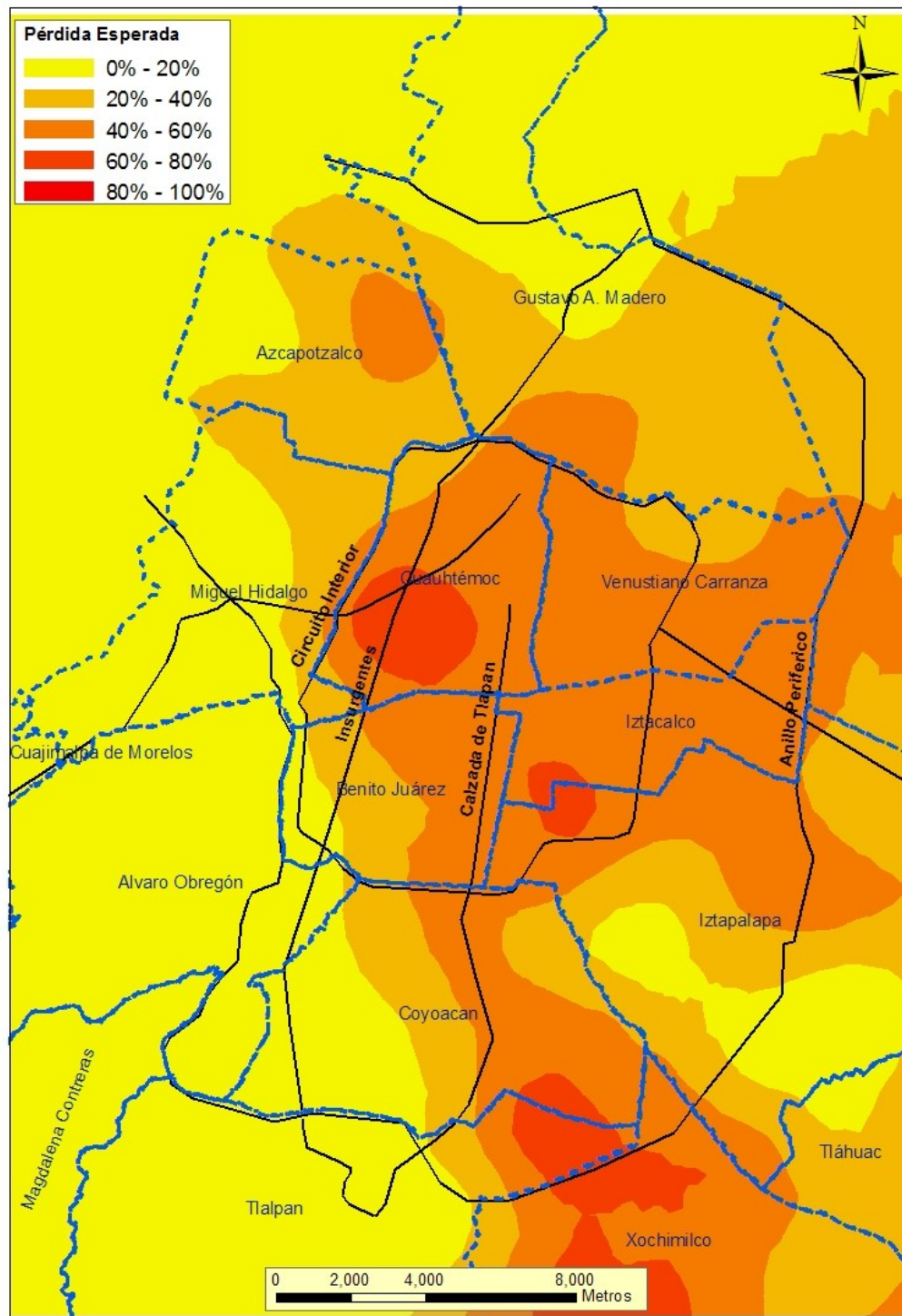


Figura 19.- Pérdidas económicas del escenario sísmico a profundidad intermedia, ubicadas en AGEPS

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO PARA LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

3.1 Evaluación del riesgo sísmico con catastro digital

El catastro en formato digital hoy en día se ha convertido en una herramienta con aplicaciones múltiples. El gobierno utiliza esta información como un control de recaudación y reordenamiento territorial; pero además existen empresas que también cuentan con información especializada en aplicaciones de mercadotecnia y de aseguramiento. En consecuencia a la gran versatilidad que tiene esta herramienta también puede ser utilizada en estudios científicos de todo tipo y solo se limita en función de la calidad de la información.

3.1.1 Información empleada del catastro digital para el cálculo de Riesgo Sísmico

La información que se requiere en un análisis de riesgo sísmico tal como se mostro el capítulo anterior, es la que permite conocer el sistema estructural y otras características de la edificación en un predio. En la medida de que esta información esté detallada, se podrán reducir las suposiciones que se hacen por tener información poco precisa.

Los datos requeridos están divididos en dos grupos principales, el primero se refiere al peligro que una estructura tiene por su localización respecto al origen del siniestro y el segundo se refiere a la vulnerabilidad que la estructura presenta en función de las técnicas de construcción, materiales, uso, año de construcción, modificaciones, daños y reparaciones. La clasificación basada en el software RS-MEX, es la siguiente:

- Datos de localización.
- Datos de la estructura.
 - Datos técnicos para conocer el tipo estructural.
 - Datos de otras características estructurales.

Datos de localización

Para cada estructura se requiere tener una ubicación lo más exacta posible que mejore el cálculo del peligro sísmico tomando en cuenta las características de suelo de desplante. El software RS-MEX considera en el siguiente orden de importancia los datos que pueden ser utilizados para obtener la localización:

1. Coordenadas geográficas: Latitud y Longitud
2. Código Postal
3. Municipio
4. Estado y Zona Sísmica

Al tener un dato de los cuatro anteriores el software determinara el tipo de suelo y por tanto las características del movimiento sísmico del sitio donde se encuentre la estructura quedaran establecidas.

Datos de la estructura

Los datos permitirán determinar la vulnerabilidad de la estructura, el sistema hace diferencia de edificaciones industriales y no industriales ya que son dos casos muy particulares y en algunos casos esta clasificación de uso no es respetada. En la siguiente lista se presentan los datos utilizados en las dos subdivisiones.

1. Datos técnicos para conocer el tipo estructural

- Numero de pisos
- Uso industrial
- Uso principal de la estructura
- Tipo de columnas
- Tipo de trabes
- Tipo de muros
- Tipo de cubierta
- Longitud de claros
- Muros prefabricados
- Contraventeo

2. Datos de otras características estructurales

- Columnas cortas
- Sobre peso
- Golpeteo con otros edificios
- Ubicación en esquina
- Irregularidad en elevación
- Irregularidad en planta
- Hundimientos
- Daños previos
- Daños reparados
- Estructura reforzada
- Fecha de construcción

Los datos anteriormente mencionados permitirán calcular el riesgo sísmico estructural por lo que no hay que olvidar que existen otros riesgos asociados, como el riesgo humano y el riesgo que pueden sufrir los principales medios de comunicación y transporte. Es por esto que sería muy importante contar con información que permita identificar puntos estratégicos de comunicación, acceso y servicios de emergencia.

3.2 Cálculo del riesgo sísmico en estructuras de la delegación Cuauhtémoc

El cálculo del riesgo sísmico en las estructuras de la delegación Cuauhtémoc tiene la finalidad de determinar puntos críticos, donde el riesgo sea alto en función de la probabilidad. Los puntos críticos señalarán el despliegue de recursos humanos, de maquinaria y económicos al gobierno para una actuación eficaz y oportuna.

Información de la delegación Cuauhtémoc

Antes de mencionar la información con la que ya se cuenta para hacer este cálculo, es preciso mencionar como se puede obtener la información. Existen mapas digitales de los predios por municipio pero es información exclusiva que pertenece al gobierno local y solo se tiene acceso libre si se participa en proyectos conjuntos o requeridos por el gobierno.

Por otra parte existen empresas dedicadas a vender este tipo de información pero en general no cuentan con información tan detallada, por ejemplo a nivel de manzanas. Pero hoy en día se pueden generar mapas gracias a herramientas como Google Earth, que permite identificar ubicaciones en coordenadas de estructuras y tiene capas de principales puntos de referencia como estaciones de bomberos, oficinas de gobierno, hospitales, etc.

La delegación Cuauhtémoc tiene una superficie de 32.4 kilómetros cuadrados que representan el 2.1% del área total del Distrito Federal. Tiene colindancia al norte con la delegación Azcapotzalco y Gustavo A. Madero. Al sur colinda con las delegaciones Iztacalco y Benito Juárez. Al poniente con la delegación Miguel Hidalgo y al oriente con la delegación Venustiano Carranza.

El terreno de la delegación es plano en su mayor parte, con una ligera pendiente hacia el suroeste de la misma y una altitud promedio de 2,230 msnm. El terreno es de origen lacustre clasificado geotécnicamente como blando y se delimita por dos ríos entubados: el Río Consulado y Río de la Piedad.

La información disponible para la delegación Cuauhtémoc, esta actualizada hasta el año de 1996 y contiene 42, 231 predios distribuidos en 34 colonias tal y como se muestra en la Figura 20.

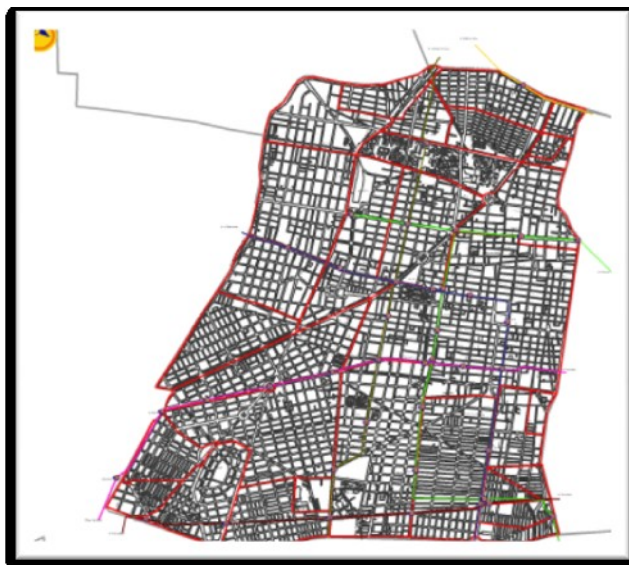


Figura 20.- Mapa Político de la delegación Cuauhtémoc, (Departamento del Distrito Federal)

TABLA 11.- COLONIAS DE LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

Colonias de la delegación Cuauhtémoc	
Algarín	Juárez
Asturias	Maza
Asturias –Ampliación–	Morelos
Atlampa	Obrera
Buenavista	Paulino Navarro
Buenos Aires	Peralvillo
Centro	Revolución o Tabacalera
Centro Urbano Benito Juárez	Roma Norte
Condesa	Roma Sur
Cuauhtémoc	San Rafael
Doctores	San Simón Tolnahuac
Esperanza	Santa María Insurgentes
Ex Hipódromo de Peralvillo	Santa María la Ribera
Felipe Pescador	Transito
Guerrero	Unidad Nonoalco Tlatelolco
Hipódromo	Valle Gómez
Hipódromo Condesa	Vista Alegre

El uso de las estructuras en la delegación se distribuye como se muestra en la siguiente Tabla 12. La función de diferenciar las estructuras por su uso, proporciona información sobre las características del sistema estructural a definir, por lo tanto el riesgo obtenido será característico según el uso al que se someta la estructura.

En la Tabla 13, se muestra algunos datos característicos en promedio por colonia como el número de pisos, edad de las construcciones y uso principal. Se aprecia que la altura de las estructuras en general esta dentro del rango de 2 a 7 pisos en promedio, el año de construcción generalizado es de 1901 y el principal uso es de vivienda para toda la delegación.

TABLA 12.- PROPORCIÓN DE USO ESTRUCTURAL DE LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

Uso de Estructura	Proporción
Central de Comunicaciones	0.13%
Comercio	6.63%
Escuela	1.38%
Funeraria	0.03%
Hospital	0.62%
Hotel	0.92%
Industria	2.55%
Museo	0.27%
Oficina Gubernamental	1.13%
Oficina Privada	4.87%
Otro	4.79%
Restaurante	0.97%
Terminal de Transporte	1.82%
Vivienda	73.90%

Las características predominantes de los sistemas estructurales son:

1. Columna de concreto
2. Trabes coladas en sitio
3. Muros de mampostería
4. Cubierta pesada
5. Claros cortos
6. Sin Muros prefabricados
7. Estructura sin contraventeo
8. Sin Columnas cortas
9. Sin Sobre peso
10. Poca irregularidad en planta
11. Poca irregularidad en elevación

TABLA 13.- CARACTERÍSTICAS GENERALES POR COLONIA EN LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

Colonias	No. Pisos Promedio	Año de Const. Promedio	Uso Principal
Algarín	2	1963	28
Asturias –Ampliación–	2	1942	28
Asturias	2	1960	28
Atlampa	2	1903	28
Buenavista	3	1815	28
Buenos Aires	2	1964	28
Centro	4	1912	28
Centro Urbano Benito Juárez	3	-	28
Condesa	3	1941	28
Cuauhtémoc	4	1906	28
Doctores	3	1923	28
Esperanza	2	1908	28
Ex Hipódromo de Peralvillo	2	1947	28
Felipe Pescador	2	1964	28
Guerrero	2	1908	28
Hipódromo	4	-	28
Hipódromo Condesa	3	-	28
Juárez	4	1860	28
Maza	2	1973	28
Morelos	2	1926	28
Obrera	2	1945	28
Paulino Navarro	2	1951	28
Peralvillo	2	-	28
Roma Norte	3	1906	28
Roma Sur	3	1933	28
San Rafael	3	1915	28
San Simón Tolnahuac	2	1942	28
Santa María Insurgentes	2	-	28
Santa María la Ribera	2	-	28
Revolución o Tabacalera	4	1883	28
Transito	2	1910	28
Unidad Nonoalco Tlatelolco	7	1897	28
Valle Gómez	2	1959	28
Vista Alegre	2	1961	28

Solo la mínima parte se refiere a estructuras de acero, prefabricados y con contraventeos ya que como anteriormente se mostro las mayoría de estructuras corresponden al uso de vivienda; aun cuando se dispongan de comercios pequeños en la planta baja.

Las características del escenario a calcular en esta delegación serán las mismas que la del escenario por subducción propuesto en el primer capítulo. El método de cálculo es el mismo que en el capitulo anterior, solo que para la delegación Cuauhtémoc se tendrá mas precisión al contar con datos que proporcionan a nivel predio.

Se generó una cartera con 42, 231 predios que comprenden aproximadamente la totalidad de la delegación. La información mostrada anteriormente fue utilizada para completar la cartera en un archivo de Excel como se muestra en la siguiente Figura 21.

AE1		EST_COLUMNAS																
	A	B	C	D	T	U	V	W	X	AB	AC	AD	AE	AF	AG			
1	MUN_POLIZA	MUN_REGISTRO	FECHA_INICIO	FECHA_FIN	CLAVE_ESTADO	ZONA_SISMICA	MUN_PISOS	ES_INDUSTRIAL	LAVE_MUNICIP	EDL_SUELO	A_CORSI	EDL_USO	EST_COLUMNAS	EST_TRABES	EST_MUROS			
2	CUAUH-00001	1	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	2	13	3	1980	28	1	1	2			
3	CUAUH-00002	2	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1989	28	1	1	2			
4	CUAUH-00003	3	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1995	28	1	1	2			
5	CUAUH-00004	4	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	1	2	13	3	1950	28	1	1	2			
6	CUAUH-00005	5	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1982	28	1	1	2			
7	CUAUH-00006	6	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	0	2	13	3	1990	28	1	1	2			
8	CUAUH-00007	7	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	4	2	13	3	1955	28	1	1	2			
9	CUAUH-00008	8	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	1	2	13	3	1990	28	1	1	2			
10	CUAUH-00009	9	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1950	28	1	1	2			
11	CUAUH-00010	10	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	1	2	13	3	1990	28	1	1	2			
12	CUAUH-00011	11	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	2	13	3	1950	28	1	1	2			
13	CUAUH-00012	12	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	4	2	13	3	1982	28	1	1	2			
14	CUAUH-00013	13	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	0	2	13	3	1979	28	1	1	2			
15	CUAUH-00014	14	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	2	13	3	1987	28	1	1	2			
16	CUAUH-00015	15	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	2	13	3	1986	28	1	1	2			
17	CUAUH-00016	16	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1980	28	1	1	2			
18	CUAUH-00017	17	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	1	2	13	3	1990	7	1	1	2			
19	CUAUH-00018	18	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	4	2	13	3	1980	28	1	1	2			
20	CUAUH-00019	19	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	1	13	3	1970	18	1	1	1			
21	CUAUH-00020	20	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1938	28	1	1	2			
22	CUAUH-00021	21	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	2	2	13	3	1968	28	1	1	2			
23	CUAUH-00022	22	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	1	13	3	1980	18	1	1	1			
24	CUAUH-00023	23	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1980	28	1	1	2			
25	CUAUH-00024	24	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1956	28	1	1	2			
26	CUAUH-00025	25	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	1	2	13	3	1940	28	1	1	2			
27	CUAUH-00026	26	16/7/2008	29/7/2002	9	HI	3	2	13	3	1981	28	1	1	2			

Figura 21.- Cartera con todas las estructuras de la delegación Cuauhtémoc para el cálculo del riesgo sísmico

El software RS-MEX, identifica para el calculo la información contenida en la cartera, que para este caso fue lo mas practico ya que el sistema tiene la cualidad de poder introducir estructura por estructura. Posteriormente se indica el escenario en una ventana que requiere las coordenadas aproximadas junto con la fuente de referencia y la magnitud.

Concluyendo el ingreso de todos los datos requeridos se realiza la simulación y posteriormente se obtiene la pérdida promedio en por ciento que para fines de este análisis se manejara como el riesgo, Figura 22. Los resultados se exportan de formato block de notas para su posterior manipulación.

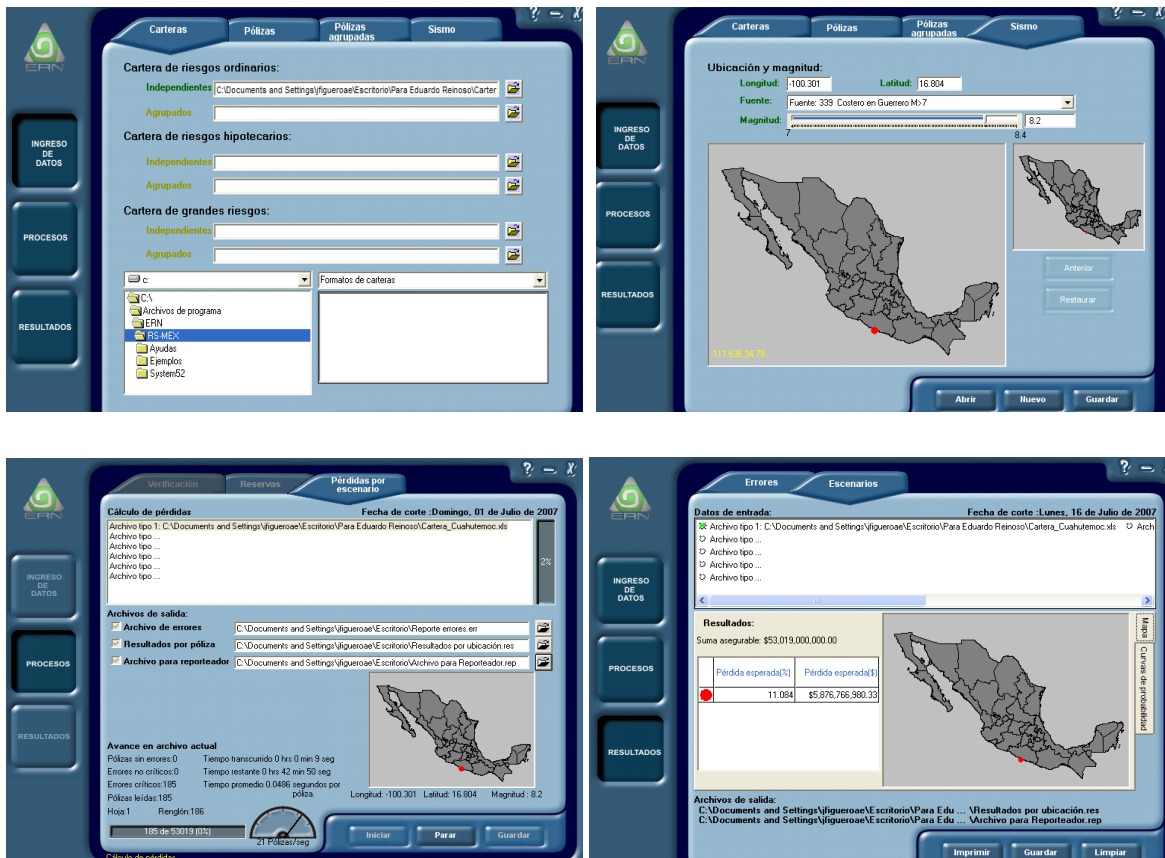


Figura 22. Proceso de simulación para el cálculo de riesgo sísmico con RS-MEX

3.3 Resultados e identificación de las zonas y lugares con mayor riesgo sísmico

El riesgo promedio obtenido para la delegación Cuauhtémoc es de 11.08%, en la Tabla 14, se da el Riesgo Sísmico promedio (RS-MEX) por colonia donde se presentan los valores más críticos para las siguientes colonias: Unidad Nonoalco Tlatelolco 32.51%, Tabacalera 17.77%, Cuauhtémoc 16.61%, Hipódromo 16.17% y Centro 15.82%. En el capítulo anterior se estableció el Factor de Colapso en función de la pérdida, en este caso se utilizó para diferenciar las estructuras con riesgo mayor o igual a 35%, lo que quiere decir que la estructura muy probablemente sufre colapso total.

El número de estructuras con FC_{Total} es de 2, 037 y con esto se obtuvo el porcentaje con el que contribuye cada colonia, definido como Índice de Colapso asociado al Riesgo Sísmico con la finalidad de comparar las colonias con más estructuras colapsadas. Las colonias con mayor número de estructuras colapsadas son: Centro 1.11%, Roma Norte 0.51%, Hipódromo 0.46%, Cuauhtémoc 0.44% y Juárez 0.41%; en consecuencia este índice indica las zonas potencialmente de alto riesgo.

La información esta georreferenciada en mapas digitales, esto proporciona de forma inmediata el riesgo probable por colonias y predios. La utilidad de tener la información grafica, significa que es posible disponer de recursos humanos, materiales y económicos de forma estratégica.

El mapa mostrado en la Figura 24, indica en escala el riesgo que sufre cada colonia. En la Figura 25, se muestra un mapa de riesgo graficando la tendencia del riesgo máximo a nivel predios, con el fin de identificar las avenidas o calles que requieren mayor atención por los daños altamente potenciales asociados al escenario propuesto.

Los lugares que proporcionan servicios médicos son de gran importancia para las zonas con mayor riesgo. El riesgo sísmico promedio para este tipo de estructuras es del 5.62%, asegurando en un 99.28% las estructuras de un colapso total, según la distribución de frecuencias de la siguiente Figura 23.

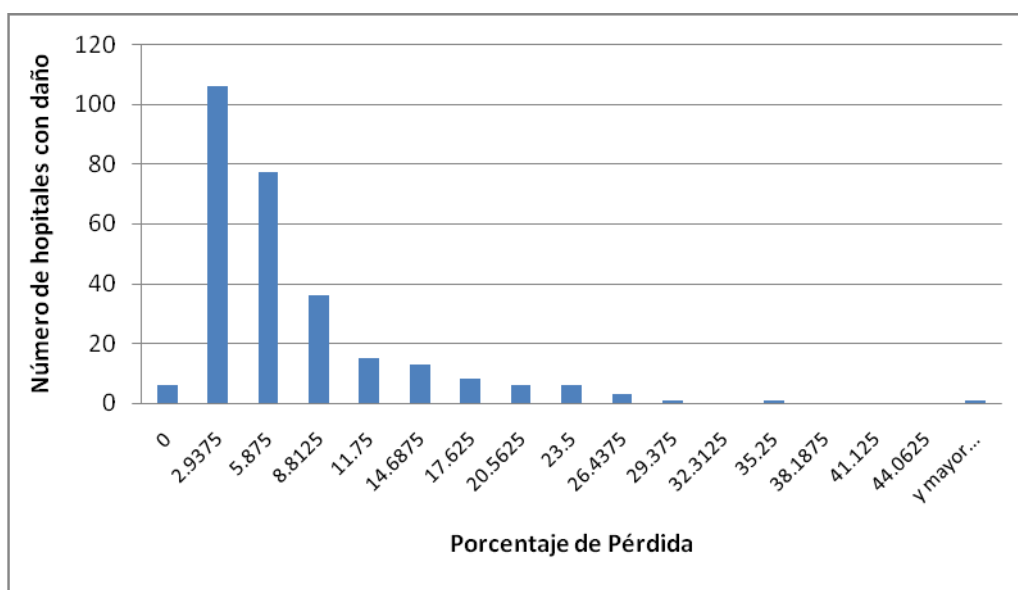


Figura 23. Distribución de frecuencias del riesgo sísmico para los hospitales en la delegación Cuauhtémoc

TABLA 14.- RIESGO SÍSMICO E IC_{RS} POR COLONIAS DE LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC

Colonias de la delegación Cuauhtémoc	No. de Estructuras	RS _{MEDIO}	No. Estructuras RS>35%	IC _{RS}
Unidad Nonoalco Tlatelolco	350	32.51%	43	0.10%
Revolución o Tabacalera	777	17.77%	54	0.13%
Cuauhtémoc	464	16.61%	186	0.44%
Hipódromo	524	16.17%	193	0.46%
Centro	736	15.82%	470	1.11%
Juárez	186	14.89%	175	0.41%
San Rafael	4817	14.64%	80	0.19%
Centro Urbano Benito Juárez	7	13.57%	0	0.00%
Condesa	1345	13.55%	74	0.18%
Roma Norte	1734	12.38%	214	0.51%
Hipódromo Condesa	2270	12.30%	20	0.05%
Roma Sur	213	12.28%	78	0.18%
Buenavista	1531	12.01%	44	0.10%
Doctores	240	10.36%	51	0.12%
Santa María la Ribera	1886	10.24%	98	0.23%
Guerrero	1840	9.90%	57	0.13%
Transito	518	9.38%	15	0.04%
Atlampa	1753	9.31%	34	0.08%
Esperanza	165	9.29%	5	0.01%
Obrera	1106	9.17%	36	0.09%
Algarín	4102	8.98%	2	0.00%
Vista Alegre	557	8.90%	4	0.01%
Asturias	1843	8.70%	6	0.01%
Santa María Insurgentes	3946	8.36%	10	0.02%
Morelos	1600	8.24%	15	0.04%
Asturias –Ampliación–	1233	7.87%	5	0.01%
Valle Gómez	853	7.84%	6	0.01%
Peralvillo	366	7.59%	27	0.06%
Buenos Aires	2985	7.22%	2	0.00%
Ex Hipódromo de Peralvillo	566	7.04%	19	0.04%
San Simón Tolnahuac	700	7.00%	9	0.02%
Paulino Navarro	101	6.98%	1	0.00%
Felipe Pescador	311	6.84%	2	0.00%
Maza	606	6.03%	2	0.00%
Totales	42231		2037	
Promedios		11.08%		0.14%

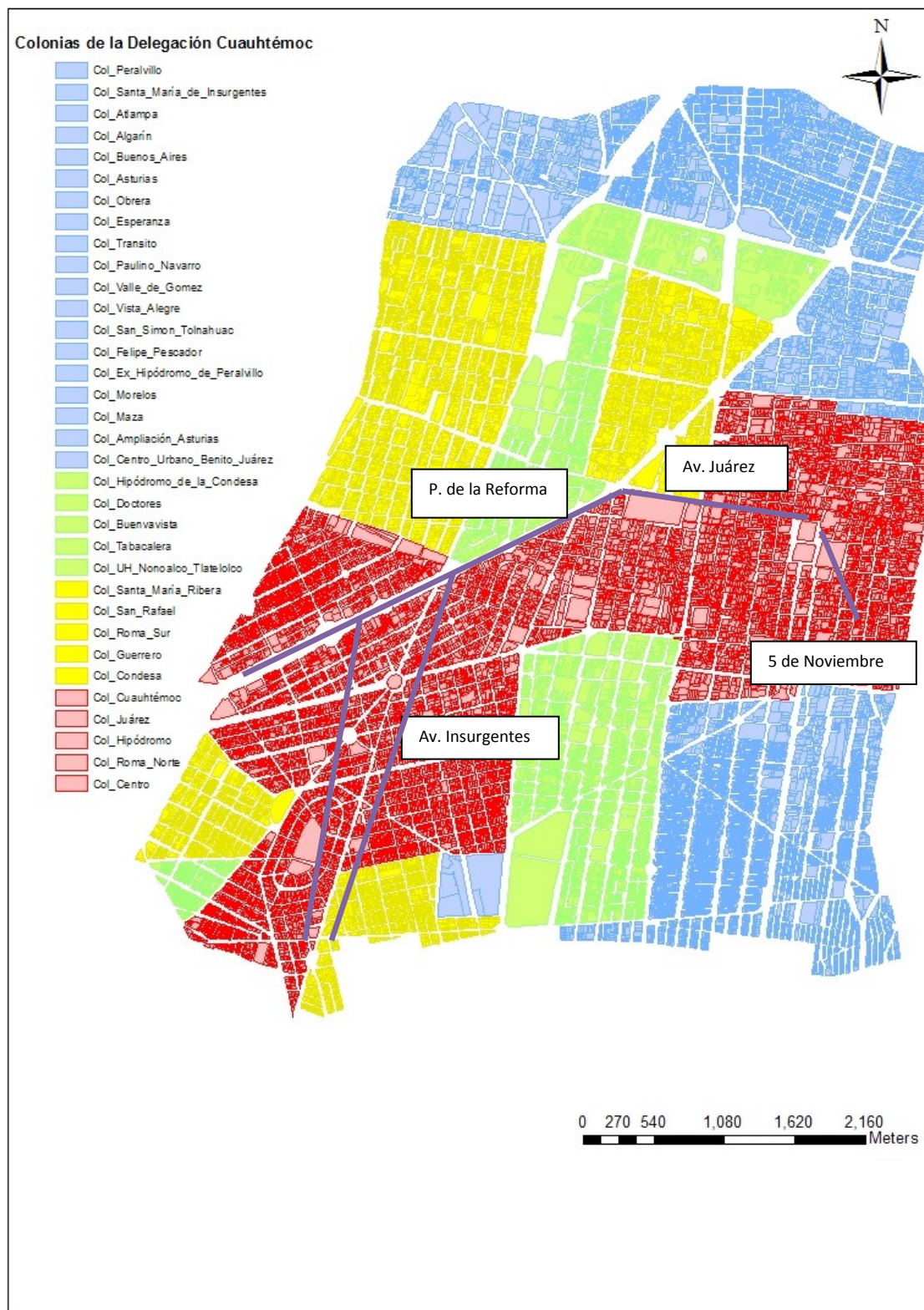


Figura 24.- Mapa en escala de riesgo sísmico por colonia

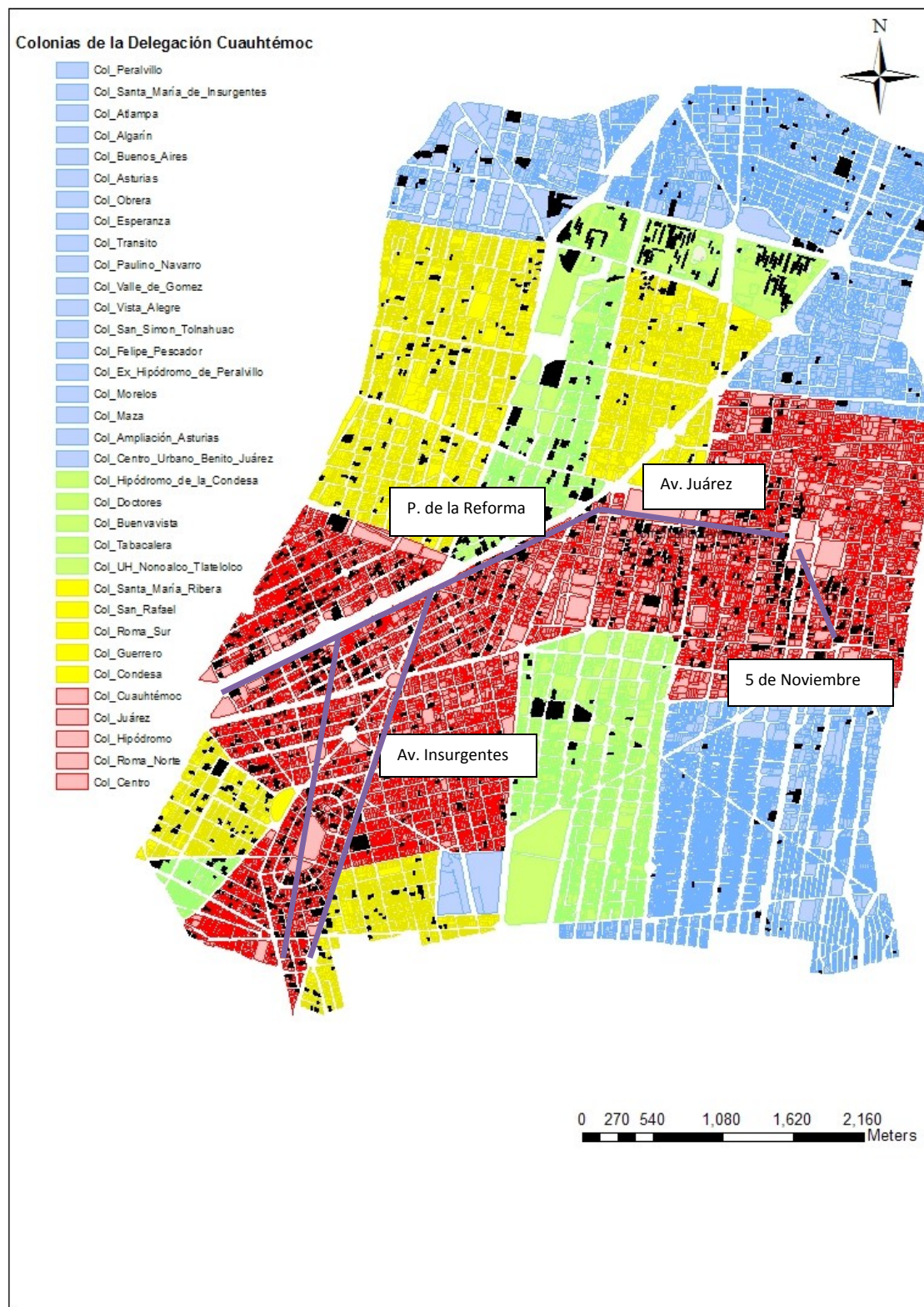


Figura 25.- Mapa de la tendencia riesgo sísmico en predios

CAPÍTULO 4

MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE EL RIESGO SÍSMICO

4.1 Organización en la atención de emergencia por desastres naturales en México

Los desastres que a cada año se presentan en México tienen distintos orígenes, ya sea a causa de fenómenos hidrometeorológicos, geológicos, químicos, socio-organizativos y sanitarios. La presencia de fenómenos en extremo da como resultado cuantiosas pérdidas humanas y materiales, dejando principalmente a la gente de bajos recursos indefensa a los desastres naturales.

Organismos como el *Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED)* tiene como objetivos: realizar actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

En la atención de la emergencia es importante identificar la organización que tiene el gobierno. El organigrama mostrado en la Figura 26, muestra en primer lugar al Presidente de la República, le sigue el Secretario de Gobernación, responsable del *Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC)*, encargado de coordinar las operaciones de respuesta a emergencias y de recuperación gubernamental y voluntaria durante desastres.

Por otra parte el SINAPROC se compone de tres elementos principales: La Coordinación General de Protección Civil que coordina la atención de emergencias, apoyo científico y técnico que es proporcionado por el CENAPRED y el *Fondo de Desastres Naturales (FONDEN)*, este último encargado de proveer los recursos necesarios para las operaciones de respuesta ante emergencias y recuperación.

Independientemente de la pronta capacidad de respuesta de las Unidades de Protección Civil Estatales y Municipales entran en acción instalando *Centros de Atención para Damnificados (CAD)*, así como Asociaciones Civiles y voluntarios.

El SINAPROC considera en emergencias potencialmente de alto riesgo el PLAN DN-III-E y es considerado como *Plan de Auxilio a la Población Civil*. Se aplica en todo el territorio nacional por las unidades, dependencias del Ejército y Fuerza Aérea Mexicana; es coordinado a nivel nacional por el Ejército Mexicano y la Defensa Nacional.

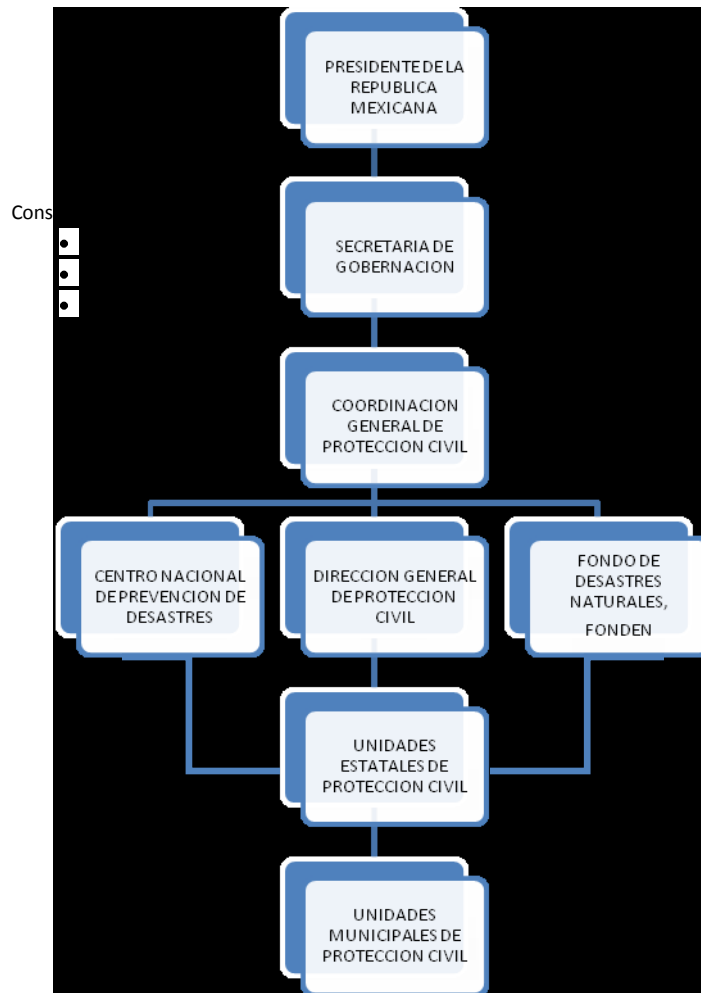


Figura 26.- Estructura general del Sistema de Protección Civil

Por parte de la población, ésta debe estar atenta a las recomendaciones que Protección Civil informe oportunamente, es importante comprender que la población también es responsable de su supervivencia y de la de los bienes que pueden salir afectados.

En la actualidad muy poca gente de clase media y baja asegura su casa o peor aun no realiza mantenimiento periódico, dejando a las estructuras con mayor vulnerabilidad ante el peligro. Independientemente de esto existen estructuras en los primeros cuadros del Distrito Federal que dieron las reparaciones y mantenimiento necesario después del terremoto de 1985, pero ahora los cuidados ya son casi nulos.

4.2 Percepción de la gente sobre el riesgo sísmico.

La percepción de la gente ante el riesgo es un factor determinante en las medidas que tendrán para buscar su bienestar. La encuesta fue realizada a gente de la delegación Cuauhtémoc ya que

es la delegación que anteriormente fue afectada por terremotos. Se tiene la información donde se encuestó a la gente con el tema de *Percepción antes cualquier Riesgo*, los encuestados se dividen en dos grupos principales:

- Lugar de Vivienda.- La gente encuestada tiene un tamaño de $n=531$, y representa a toda la gente que fue encuestada en su vivienda.
- Lugar de Trabajo.- Es la gente encuestada en lugares de trabajo y la muestra tiene un tamaño de $n=200$.

La intención de revisar esta encuesta es determinar el tipo de estructura segura, según la opinión de la gente. Esto determinará que tan propensa a la vulnerabilidad es la gente. Por otro lado ayudará a determinar las medidas que sirvan de orientación a la gente.

4.2.1 Encuesta en lugares de vivienda.

La gente respondió con un 71% que el lugar más seguro en caso de terremoto, su casa es el lugar donde más se siente segura, figura. Los lugares de la casa que la gente considera como zonas seguras para protegerse son el patio 16%, debajo de un marco 15% y un porcentaje parecido simplemente no supo que responder 12%, figura. Se desconocen los planes de desarrollo urbano de la colonia o la delegación para prevenir los temblores.

La gente no busca información sobre como prevenir riesgos por temblor 66%, pero se muestra positiva en sentirse capaz ante la situación de emergencia 57%. La gente que respondió en un 68% que no ha hecho nada para prevenir los posibles daños por un temblor. En caso de que la vivienda se agriete la gente opina que acudiría con alguna autoridad del gobierno 34% o contrataría a un albañil 22%.

En el tema de la responsabilidad de prevenir los daños la gente opina que corresponde al gobierno 33%, a ellos mismos 24%, todos 17% y especialistas en la materia 17%.

La gente prefiere viviendas construidas después de 1900 en 43%, construcciones modernas 30% o antiguas 30%, que no este ubicada en esquina 35.2%, despegada de otras construcciones 52%, con menos de dos pisos 79%, vivir en la planta baja 69% y viviendas hechas de concreto 51%. Por otro lado la gente cree que las escuelas 60%, los hospitales 53%, son estructuras seguras.

La gente opina que las construcciones se caen por que el sismo es fuerte 36.2%, malos materiales 21.8%, errores de diseño 16.4%. Los medios de comunicación predilectos para recibir información sobre la prevención son la televisión (noticias) 18.3%, folletos 15.1%, radio (noticias) 13.2%.

4.2.2 Encuestas en lugares de trabajo.

En el tema de medidas de seguridad para lugares de trabajo, los sistemas de seguridad con los que más se cuenta son: señalamientos de evacuación 38%, brigadas de protección civil 28%; al

preguntar con que frecuencia se realizan simulacros de evacuación la mayoría respondió que simplemente no los hacen 58%.

Un sismo, opina la gente que es el que mas daño causaría al edificio donde trabaja que la gente cree que causaría más daños 27%, dejando en 20% a los daños por incendios. En los edificios donde la gente menciona paredes agrietadas en 2.5% menciona que se resanaron. Las recomendaciones posteriores a 1985 que la gente más identifica son: no correr 27%, tener calma 17%, no usar elevadores 6% y salir de aéreas despejadas 5%.

El lugar mas seguro es la casa 57%, dentro del trabajo el lugar considerado como mas seguro es la calle 14.5%. Respecto a los planes de desarrollo urbanos la gente confiesa no tener conocimiento 95%, pero se sienten seguras de poder reaccionar adecuadamente 61% si sucediera un sismo. En caso de que la oficina se agriete a causa del un sismo las respuestas más frecuentes son: contratar un albañil 25%, acudir con alguna autoridad de gobierno 25%, contratar a un ingeniero 23%.

4.2.3 Características del lugar más seguro según la gente.

La gente prefiere edificios contruidos después del año 1900 en un 48%, construcciones modernas 44%, que estén ubicados en esquina 42%, que estén despejados de otros edificios 50%, que tengan menos de 2 niveles 71.5%, trabajar en la planta baja 78%, contruidos con materiales de concreto 56%.

La gente opina que un edificio se derrumba por que el sismo es fuerte 36.5%, por malos materiales de construcción 22% y errores de diseño 21%. Los medios de comunicación que pueden ser más efectivos para transmitir informes de cómo prevenir los daños por sismo según la gente entrevistada son: la radio (noticias) 15% y la televisión (noticias) 12.5%.

Estructura ideal según la gente

En general gente prefiere construcciones modernas, pero también opina que construcciones antiguas como las que están en el primer plano del Distrito Federal son seguras por ser robustas en sus elementos como columnas y muros. En el capitulo anterior la vivienda resulto ser muy seguro con respecto a estructuras con uso comercial y el capitulo 2 se obtuvo que las viviendas con menos de tres niveles ofrecían seguridad respecto a estructuras de marcos de concreto y contraventeo.

En conclusión la estructura debe cumplir con las siguientes características:

- Altura menor a dos niveles.
- Elementos de concreto y con predisposición a que sean robustos.
- Ubicada fuera de esquina.

- Despegada suficientemente de otras estructuras.

Los medios de comunicación y las formas en que la gente prefiere recibir información para la prevención de daños por Riesgo Sísmico son:

- La televisión por medio de programas de programas de noticias.
- La radio por medio de programas de noticias.
- Folletos.

En general se tiene conocimientos sobre medidas de seguridad, para el momento en el cual ocurre el sismo; pero en cuestión de simulacros no existe la capacidad de organización que permita un desalojo éxito de las estructuras. En general se tiene una conciencia solo suficiente de riesgo y esto no permitirá el día de mañana disminuir los daños.

4.3 Medidas de mitigación recomendadas para la población

Protección Civil propone acciones que aseguran el bienestar antes, durante y después de un sismo, además de organizar simulacros que permitan concientizar a la gente sobre el tipo de riesgo al que se puede enfrentar en un momento dado.

En el último Macro simulacro la gente se quejo de la irresponsabilidad, falta de actitud, organización y poco interés por el tiempo; establecimientos dedicados al comercio decidieron no participar con la explicación de que no existía la seguridad para dejar los establecimientos. En seguida se muestran las recomendaciones del manual de seguridad "*Protéjase en caso de desastres*", englobando de forma general la mayoría de las situaciones posibles en las que se puede enfrentar un desastre, como lo es un sismo de gran magnitud.

Antes

- Recurra a técnicos y especialistas para la construcción o reparación de su vivienda, de este modo tendrá mayor seguridad ante un sismo.
- Mantenga siempre en buen estado las instalaciones de gas agua y electricidad. En lo posible, use conexiones flexibles.
- Junto con su familia, prepare un plan para enfrentar los efectos de un sismo. Esto requiere que organice y ejecute simulacros.
- Guarde provisiones (comida enlatada y agua hervida) podrían ser necesarias.
- Tenga a la mano números telefónicos de emergencia, botiquín, de ser posible un radio portátil y una linterna con pilas.
- Identifique los lugares más seguros de inmueble, las salidas principales y alternas. Verifique que las salidas y pasillos estén de obstáculos.

- Fije a la pared: repisas, cuadros, armarios, estantes espejos y libreros.
- Evite colocar objetos pesados en la parte superior de éstos.
- Asegure firmemente al techo las lámparas y candiles.
- Procure que todos, especialmente los niños. Tengan consigo una identificación. De ser posible con número telefónico y tipo de sangre.

Durante

- Conserve la calma, no permita que el pánico se apodere de usted. Tranquilice a las personas que estén a su alrededor. Ejecute las acciones previstas en el plan familiar.
- Diríjase a los lugares seguros previamente establecidos; cúbrase la cabeza con ambas manos colocándola junco a las rodillas.
- No utilice los elevadores.
- Aléjese de los objetos que puedan caer, deslizarse o quebrarse.
- No se apresure a salir, el sismo dura sólo unos segundos y es posible que termine antes de que usted lo haya logrado.
- De ser posible cierre las llaves del gas, baje el switch principal de alimentación eléctrica y evite encender cerillos o cualquier fuente de incendio.

Después

- Verifique si hay lesionados, incendios o fugas de cualquier tipo, de ser así, llame a los servicios de auxilio.
- Use el teléfono solo para llamadas de emergencia. Escuche la radio para informarse y colabore con las autoridades.
- Si es necesario evacuar el inmueble, hágalo con calma, cuidado y orden, siga las instrucciones de las autoridades.
- Reúnase con su familia en el lugar previamente establecido.
- No encienda cerillos no use aparatos eléctricos hasta asegurarse de que no hay fugas de gas.
- Efectúe con cuidado una revisión completa de su casa y mobiliario. No haga uso de ella si presenta daños graves.
- Limpie los líquidos derramados o escombros que ofrezcan peligro.
- Esté preparado para futuros sismos, llamados réplicas. Generalmente son más débiles. Pero pueden ocasionar daños adicionales.
- Aléjese de edificios dañados y evite circular por donde existan deterioros considerables.
- No consuma alimentos ni bebidas que hayan podido estar en contacto con vidrios rotos o algún contaminante.
- En caso de quedar atrapado, conserve la calma y trate de comunicarse al exterior golpeando con algún objeto.

- No propague rumores. Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastre.

Qué hacer en caso de sismo en:**La vía pública**

- Mantener la calma evitando gritar y/o realizar acciones que manifiesten pánico.
- Evitar lanzarse a correr. Una buena parte de las desgracias que ocurren durante los sismos se deben a las personas que corren sin fijarse, y son atropelladas o sufren caídas.
- Analizar la zona donde se encuentra a fin de dirigirse al sitio más seguro. Este será aquel que no tenga edificios cercanos con ventanales u que esté alejado de los cables que conducen energía eléctrica.
- Evitar acercarse a los postes donde se encuentran los transformadores.
- Tratar de situarse en centro de los camellones o en los paraderos del transporte público, a fin de garantizar su protección.
- Encender la radio a fin de informarse sobre la magnitud del evento y sus consecuencias.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.

En el vehículo

- Mantener el control del automóvil disminuyendo la velocidad hasta detenerse por completo.
- Estacionar el vehículo evitando quedar a la sombra de los edificios que tienen de cinco a siete pisos, los cuales son más vulnerables.
- Evitar descender de la unidad y mantener la calma.
- Encender el radio a fin de informarse sobre la magnitud del evento y sus consecuencias.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.

En el transporte eléctrico

- Mantener la calma y evitar ser presa del pánico.
- Evitar dentro de lo posible descender del vehículo.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.

En la residencia

- Mantener la calma.
- Comprobar que las llaves del gas estén cerradas y que los aparatos eléctricos estén apagados.
- Realizar en caso de contar con el tiempo suficiente, la evaluación del inmueble.

- Evitar situarse en los sitios donde se encuentren repisas o libreros que puedan caerle encima.
- Reunir a la familia en la misma habitación y esperar a que concluya el movimiento.
- Encender la radio a fin de informarse sobre la magnitud del evento y sus consecuencias.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.
- Es importante que las familias que viven en zonas sísmicas cuenten con un botiquín de primeros auxilios, un radio de pilas, una linterna, agua potable y un sobre con sus documentos más importantes (identificaciones, cuentas bancarias, etc.).
- A fin de tomarlos al momento de iniciarse el movimiento telúrico.

En los centros de trabajo

- Mantener la calma.
- Apagar el equipo eléctrico.
- Evitar perder el tiempo reuniendo las pertenencias personales
- Evitar correr y gritar.
- Evitar el uso de los elevadores y escaleras eléctricas.
- Seguir las señales que marcan las rutas de evacuación.
- Buscar salir del edificio una zona segura considerando los ventanales de los inmuebles cercanos, los cables de corriente eléctrica, los transformadores y el flujo vehicular.
- Encender el radio a fin de informarse sobre la magnitud del evento y sus consecuencias.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.

En los centros de reunión

- Mantener la calma y evitar conductas alarmantes.
- Seguir la ruta de evacuación.
- Evitar correr.
- Evitar quedar bajo repisas que contengan adornos o bajo las lámparas del local.
- Evitar las cercanías de los aparadores o ventanas.
- Evitar en uso de los elevadores o escaleras eléctricas.
- Situarse en lugares que muestren seguridad (bajo las trabes o las esquinas que estén reforzadas con columnas).
- Encender la radio a fin de informarse sobre la magnitud del evento y sus consecuencias.
- Comunicarse con sus familiares para conocer su estado.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Capítulo 1

En este capítulo se presentaron las características principales que influyen en el peligro sísmico para la Ciudad de México. La ocurrencia de sismos de magnitudes mayores a 6.0 grados en la escala de Richter, como sismos de subducción, por su frecuencia son los que mas peligro ofrecen a la ciudad, pero estudios recientes indican que la falla, la caída de esfuerzos y magnitud de sismos por falla normal son mas energéticos que los de subducción.

La Ciudad de México se encuentra dentro de antiguos lagos que con el paso del tiempo se ha drenado, convirtiendo el terreno en material lacustre lo cual provoca la amplificación de ondas sísmicas en el terreno.

Es casi imposible la predicción de un sismo para poder evacuar las zonas de mayor riesgo, pero es posible proponer escenarios en función del peligro, que permitan estimar las consecuencias, de sismos potencialmente peligrosos. Se propusieron dos escenarios con la finalidad de cubrir de forma general el peligro sísmico que puede sufrir la ciudad.

El primero un sismo de falla inversa de $M_w=8.2$ se ubica en la brecha sísmica de Guerrero, por su poca actividad sísmica en el ultimo siglo se espera la liberación de energía en por lo menos un sismo de gran magnitud o varios de baja magnitud (la ocurrencia de estos últimos no determinan que deje de ocurrir un sismo de gran magnitud). Los espectros de respuesta de aceleración muestran en comparación al sismo de 1985, mayor intensidad de aceleraciones principalmente en la estación CD (suelo blando).

Por otro lado el segundo escenario propuesto corresponde a un escenario de falla normal de $M_w=7.7$, esta ubicado dentro de la provincia tectónica de profundidad intermedia, aproximadamente a 137 km de la ciudad, en el espectro de respuesta de aceleración de un sismo de $M_w=7.0$ se observa que para estructuras con menos de 5 niveles existen las máximas aceleraciones en la estación CU a diferencia del primer escenario donde las aceleraciones pico se encuentran para estructuras de aproximadamente 10 niveles.

Capítulo 2

Se presento la estimación de pérdidas de los dos escenarios propuestos asociados a la vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de México. La función de vulnerabilidad sísmica permite

obtener la probabilidad del daño o pérdida en función de la magnitud de la fuente sísmica, características locales del lugar y características de las estructuras.

La información utilizada en la evaluación dependió de varias suposiciones que simplificaron el cálculo. La dificultad de no tener los datos disponibles radica en el acceso restringido, las delegaciones tienen información más completa pero aun no esta disponible por su importancia.

Los resultados de las pérdidas económicas mostraron que sistemas estructurales son los más dañados. El que más presento pérdida económica fue el sistema de marcos de concreto entre 5 y 10 niveles (T4), dentro de los sistemas de marcos de concreto y contraventeados las estructuras con más de 10 niveles y menos de 5 niveles resultaron con menos pérdida.

Para el segundo escenario la diferencia mas importante es que las estructuras del grupo de sistema de mampostería y naves industriales de cubierta ligera, fueron la mayor fuente de pérdidas. El escenario que arrojo la mayor pérdida económica fue el de profundidad intermedia por su mayor cercanía a la ciudad. Sin olvidar que es el que menos probabilidad tiene de ocurrir.

La pérdidas económicas al ser comparadas con el PIB nacional del año 2006, son de gran impacto, del 4.55% (subducción) y 14.89% (profundidad intermedia). El FONDEN al que le fue reducido el presupuesto por los desastres del 2005, presenta insuficiencia para cubrir las pérdidas de cualquiera de los dos escenarios y además los demás desastres naturales que se presentan en la República Mexicana.

Las pérdidas humanas que resultaron de los dos escenarios son muy similares, teniendo en común que el sub-escenario más crítico es por la noche. De la misma forma el sistema estructural que mostro mayor pérdida humana fue el sistema de marcos de concreto entre 5 y 10 niveles (T4), debido a que en la ciudad, la mayoría de estructuras es del tipo de uso para vivienda, las mayores pérdidas son asociadas a gente que se encuentra en su vivienda.

El sub-escenario más critico resulto en 72, 296 víctimas para el escenario de subducción y 87, 830 víctimas para el escenario de profundidad intermedia. En el terremoto de 1985, tuvo 6, 000 victimas oficiales, pero hay fuentes que mencionan que llegaron a las 40, 000 victimas. Los escenarios propuestos sugieren un mayor número de victimas, mas que la importancia de la contabilización de estas pérdidas es identificar cual es el momento de mayor vulnerabilidad para la población. Las cantidades antes presentadas por los escenarios están alrededor del 1% de pérdida humana respecto a la población de la Ciudad de México.

Capítulo 3

La estimación de pérdidas económicas y humanas no es suficiente para poder actuar estratégicamente, por esta razón es necesario ubicar las zonas de mayor riesgo sísmico en un

mapa. El catastro digital de un localidad es la herramienta principal que permitirá en un estudio de escenarios de riesgo obtener un diagnostico inmediato que señale los lugares críticos.

Las delegaciones de mayor riesgo resultado del escenario mas probable (subducción) son: Cuauhtémoc, Hipódromo, Centro, Juárez, Roma Norte que en promedio no rebasan el año de construcción 1923. La principal referencia en zonas de alto riesgo esta dada por las avenidas Paseo de la Reforma, Av. Juárez, 5 de Noviembre, Av. Insurgentes, entre otras.

El nivel de pérdida de los hospitales indica que en general los hospitales no se derrumbaran totalmente, lo cual permitirá tener la oportunidad de desalojar el hospital en caso de que ya no pueda funcionar o de usarlo para atender a los heridos.

Capítulo 4

En la mitigación del riesgo, es responsabilidad del gobierno, directamente del Sistema Nacional de Protección Civil, encargado de coordinar las acciones de respuesta por medio de las unidades estatales y municipales de Protección Civil y el ejercito nacional por medio del PLAN DN-III-E. El FONDEN provee de los recursos económicos, mientras que el CENAPRED se encarga de hacer estudios que permitan prevenir futuros desastres.

Por otra parte la precepción de la gente ante el riesgo sísmico es importante por que determina la predisposición de vulnerabilidad que tiene ante un sismo. En general la gente elije construcciones seguras pero tiene creencias equivocadas respecto a que secciones robustas de columnas, través y muros proporcionan mayor seguridad.

La conciencia de la gente en la ciudad en general es suficiente pero no la deseable ya que no aseguran sus viviendas, no las reparan con ayuda profesional, y no atienden responsablemente a las medidas de seguridad. La gente prefiere ser informada por medio de las noticias en televisión y radio, pero también acepta información de folletos informativos.

Se incluyen sugerencias para mitigar el riesgo las cuales se conocen solo generalmente. En la medida que la población tome respeto y consciencia por el riesgo de vivir en determinado lugar, estará mejor preparada para un desastre.

REFERENCIAS

Ordaz, M y C Reyes (1999), "Earthquake hazard in Mexico City: observations versus computations," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 89, No.5, pp. 1379-1383.

Jaimes, M (2006), "Acelerogramas de sitios afectados por varias fuentes sísmicas", *Tesis Doctoral*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma México.

Jaimes, M. A. y Reinoso, E. (2006a). "Comparación del comportamiento de edificios en el valle de México ante sismos de subducción y falla normal," Aceptado con revisiones en la *Revista de Ingeniería Sísmica*

Jaimes, M.A., Reinoso E., y Ordaz M. (2006b). Empirical Green's functions modified by attenuation. Enviado para su posible publicación en el *Bull Seism. Soc. Am.*

Ordaz M, Pérez Rocha y Sánchez Sesma (2005), "Evaluación de Riesgos Sísmicos en Presas", Seminario: *Evaluación de Riesgos en Presas*, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Reyes, C. E, Miranda, Ordaz, M. R, Meli (2002), "Estimación de espectros de aceleraciones correspondientes a diferentes periodos de retorno para las distintas zonas sísmicas de la Ciudad de México", *Revista de Ingeniería Sísmica* No. 66 95-121.

Martínez, D. 2005, "Sistema Nacional de Epidemiología", *Revista de Vigilancia Epidemiológica* No. 52, Secretaría de Salud.

Reinoso, E. 1991, "Efectos sísmicos locales en el Valle de México: amplificación medida en la zona lacustre", *Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 2, 224-236, Manzanillo, México.

PSM "Mapas de peligro sísmico en México", Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F., 1996.

Singh, S.K. y Ordaz, M., 1994, "Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una Visión Actual". CENAPRED.

Esteve, L., 1970, "Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería", *Serie Azul 246*, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Esteve, L., "Seismicity", Capítulo 6 de Seismic Risk and Engineering Decisions, editado por C. Lomnitz y E. Rosenblueth, Elsevier, 1976.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre". Secretaría de Gobernación (2001).

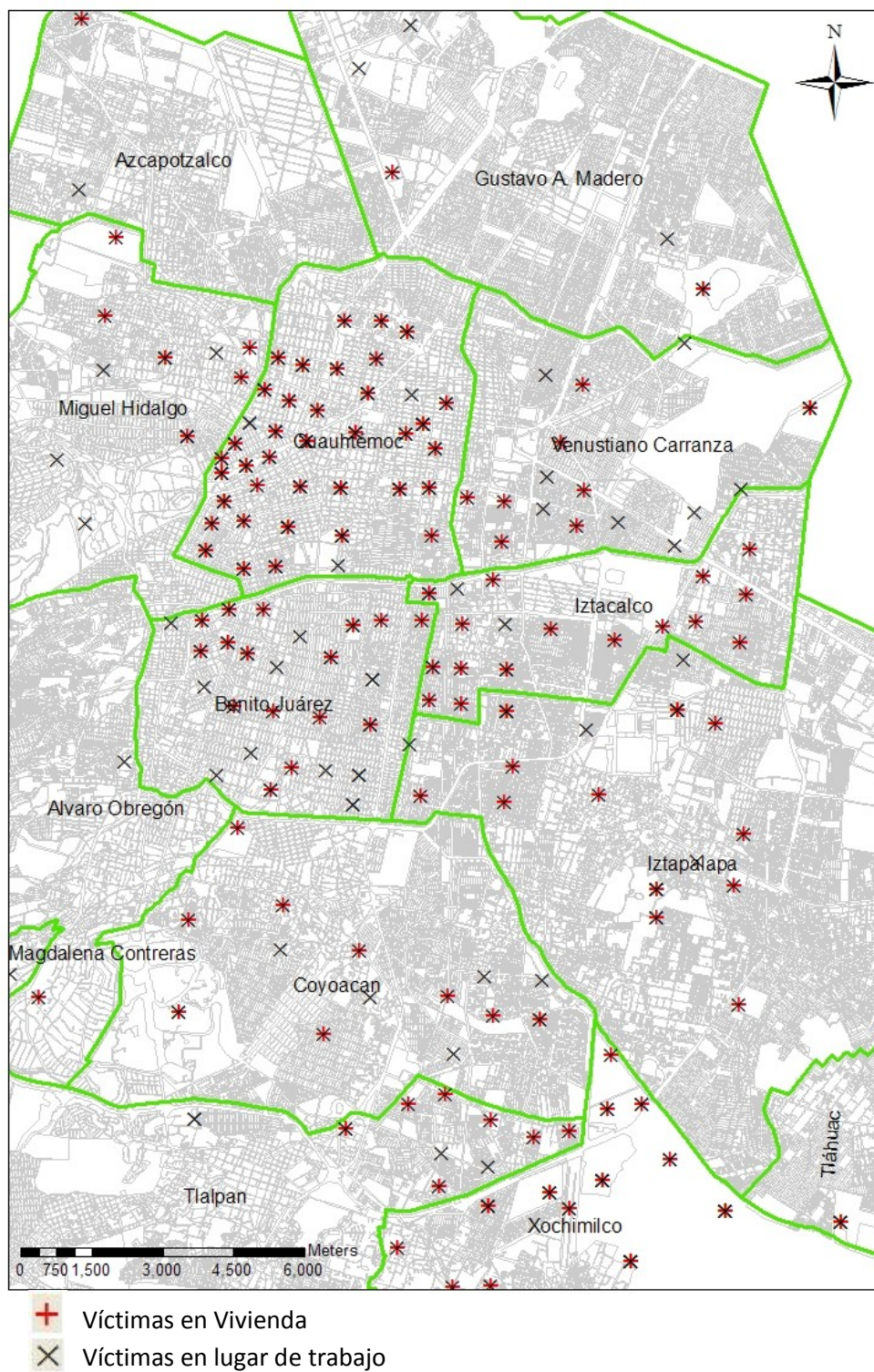
Centro Nacional de Prevención de Desastres. "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año" 2000, 2001, 2002, 2003, 2004. Secretaría de Gobernación.

INEGI, Sistema Municipal de Base de Datos (SIMBA), Banco de Información Económica (BIE), <http://www.inegi.gob.mx>.

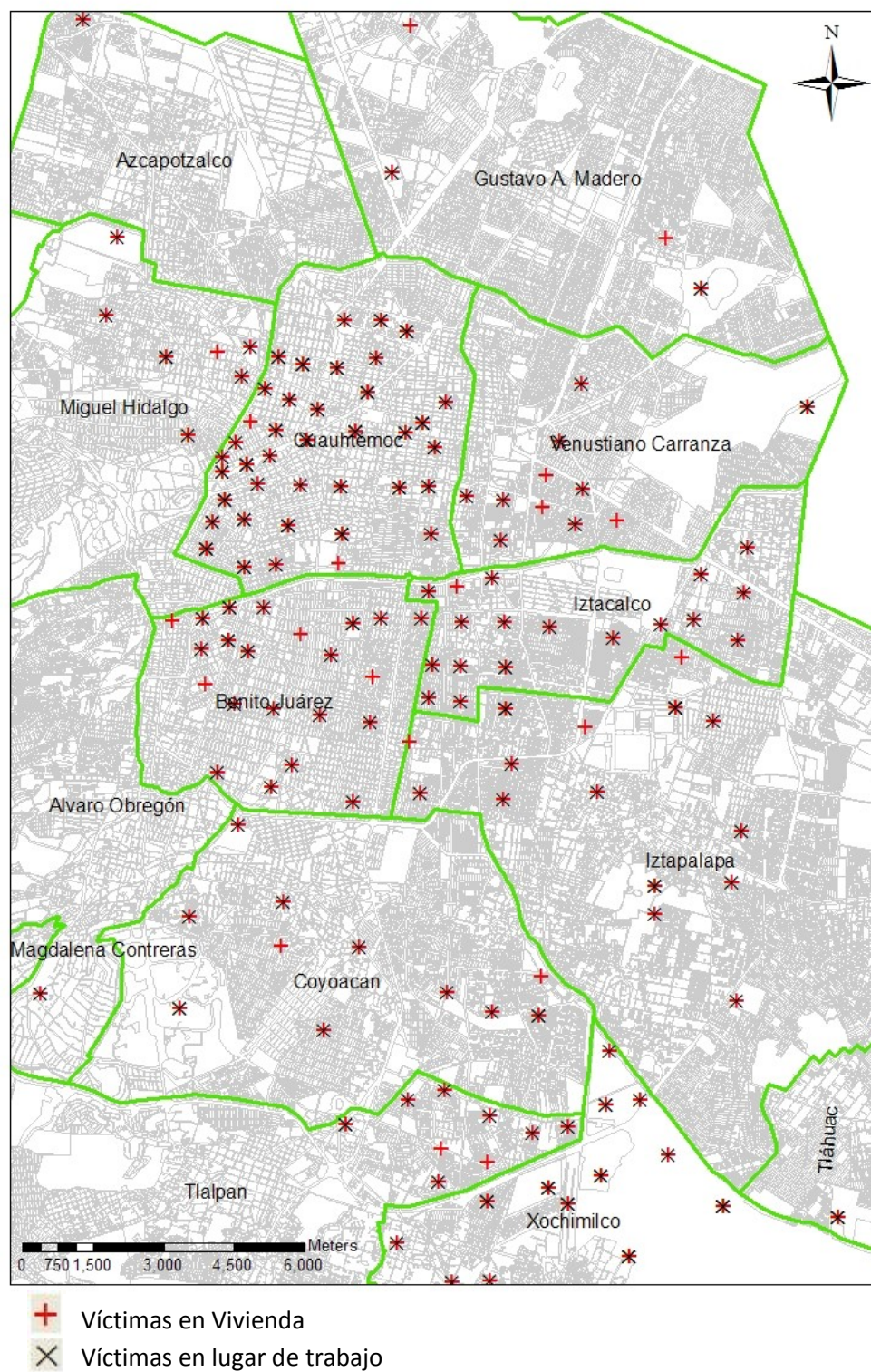
Banco de México al 13 de octubre de 2006, <http://www.banxico.org.mx>.

ANEXOS

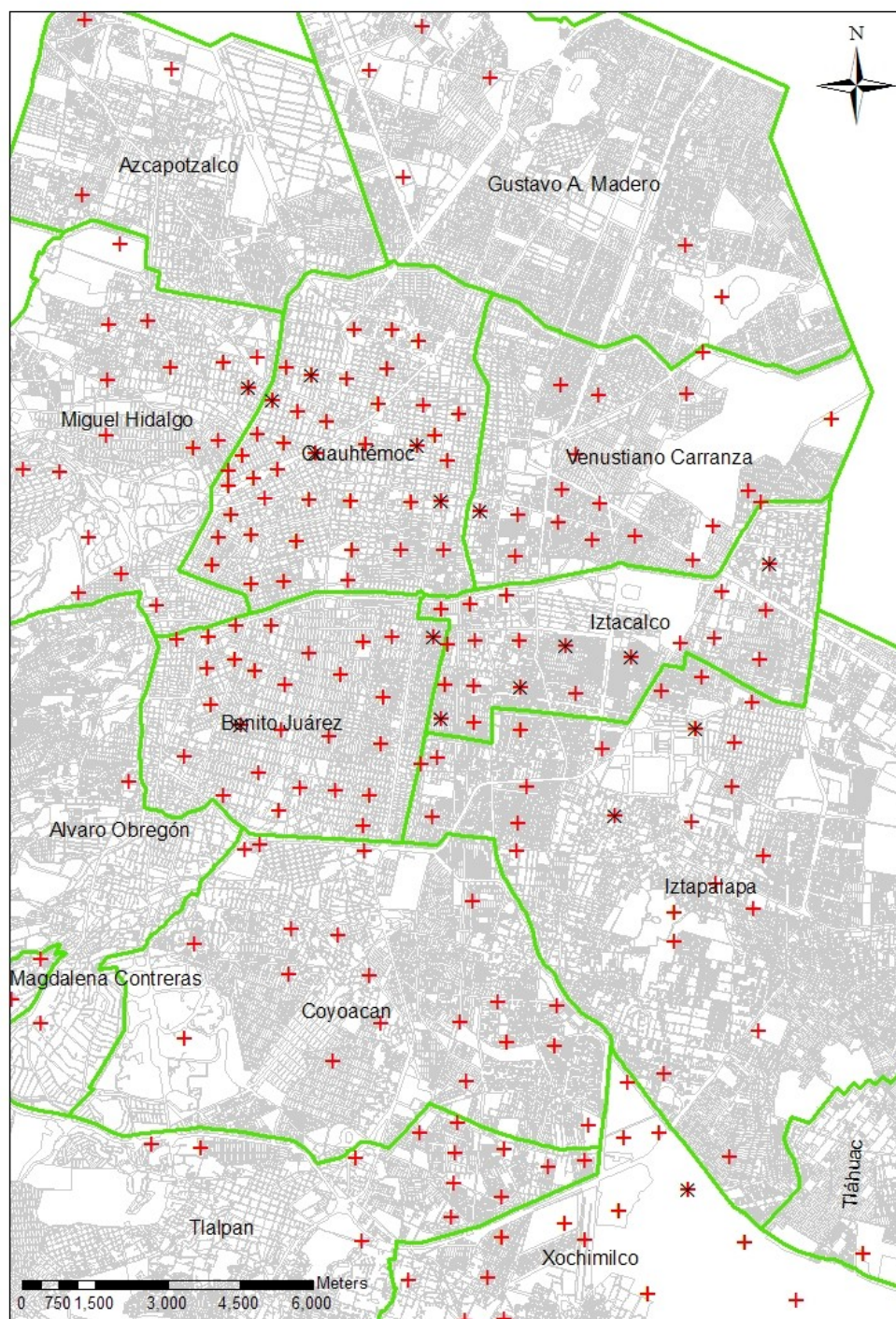
Anexo 1.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Día (día hábil)	57
Anexo 2.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Transporte (día hábil)	58
Anexo 3.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (día hábil).	59
Anexo 4.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Tarde/día (fin de semana).	60
Anexo 5.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (fin de semana).	61
Anexo 6.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Día (día hábil).	62
Anexo 7.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Transporte (día hábil).	63
Anexo 8.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (día hábil).	64
Anexo 9.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Tarde/día (fin de semana).	65
Anexo 10.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (fin de semana).	66



Anexo 1.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Día (día hábil)

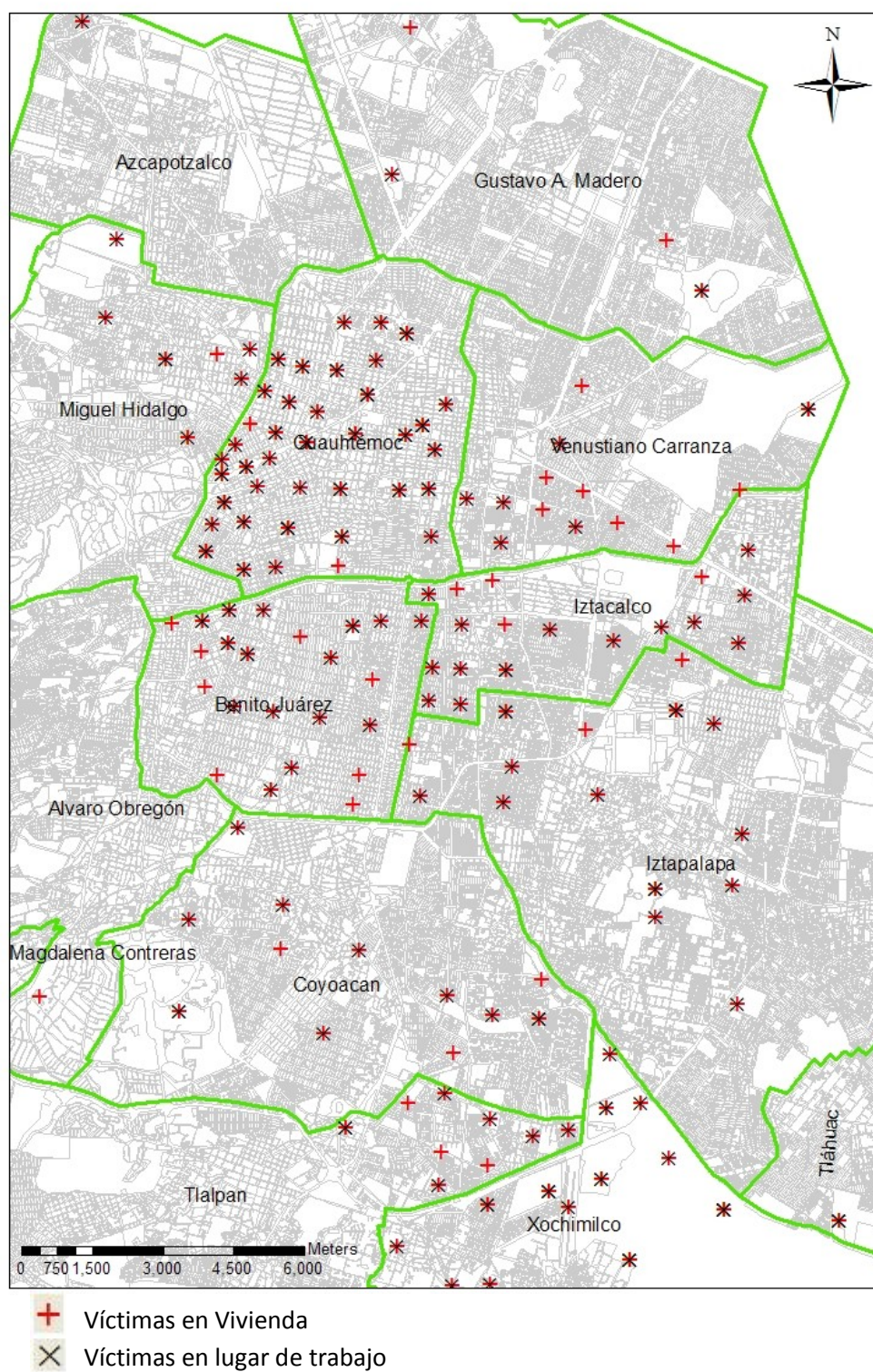


Anexo 2.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Transporte (día hábil)

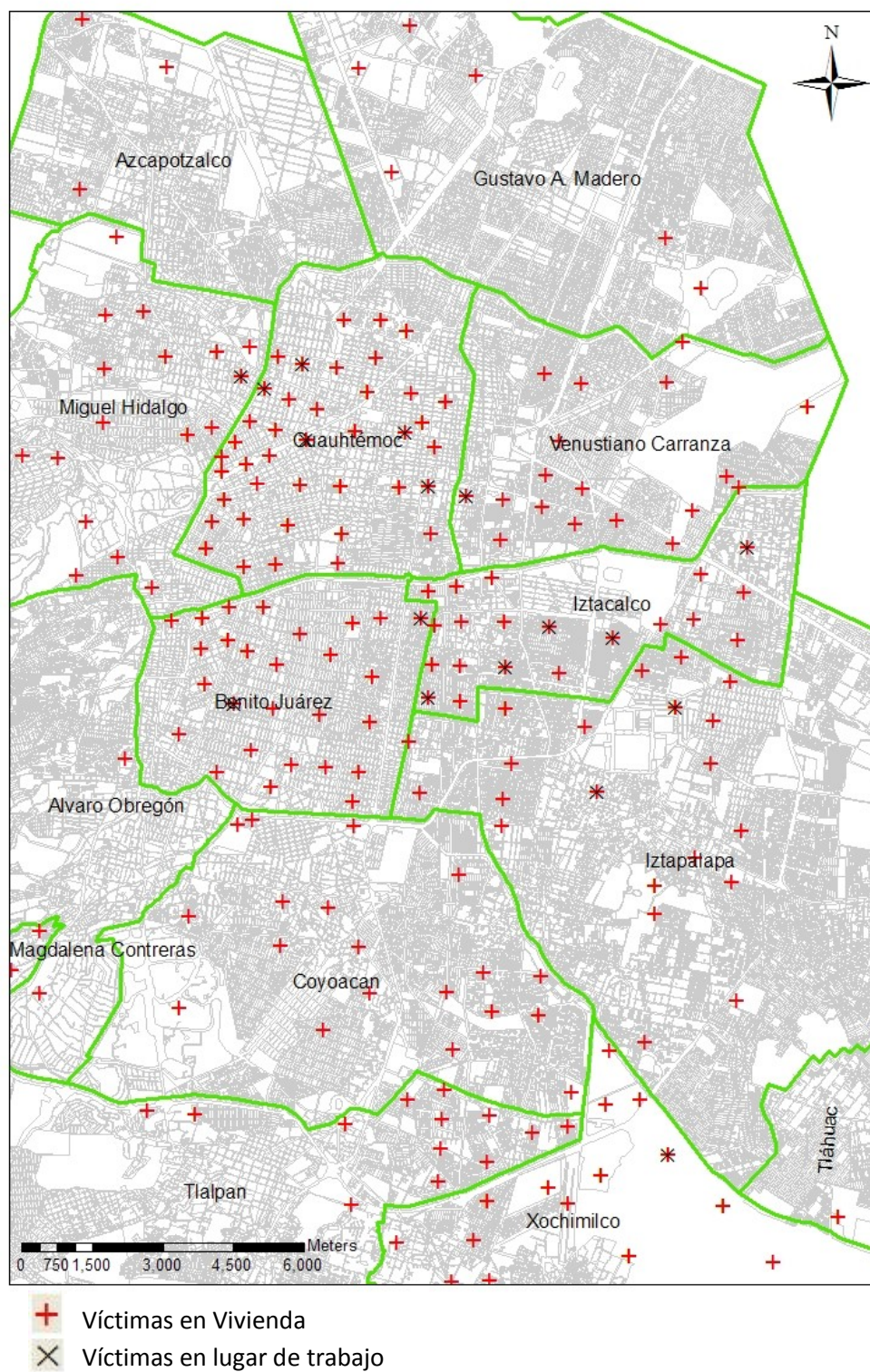


- + Víctimas en Vivienda
- * Víctimas en lugar de trabajo

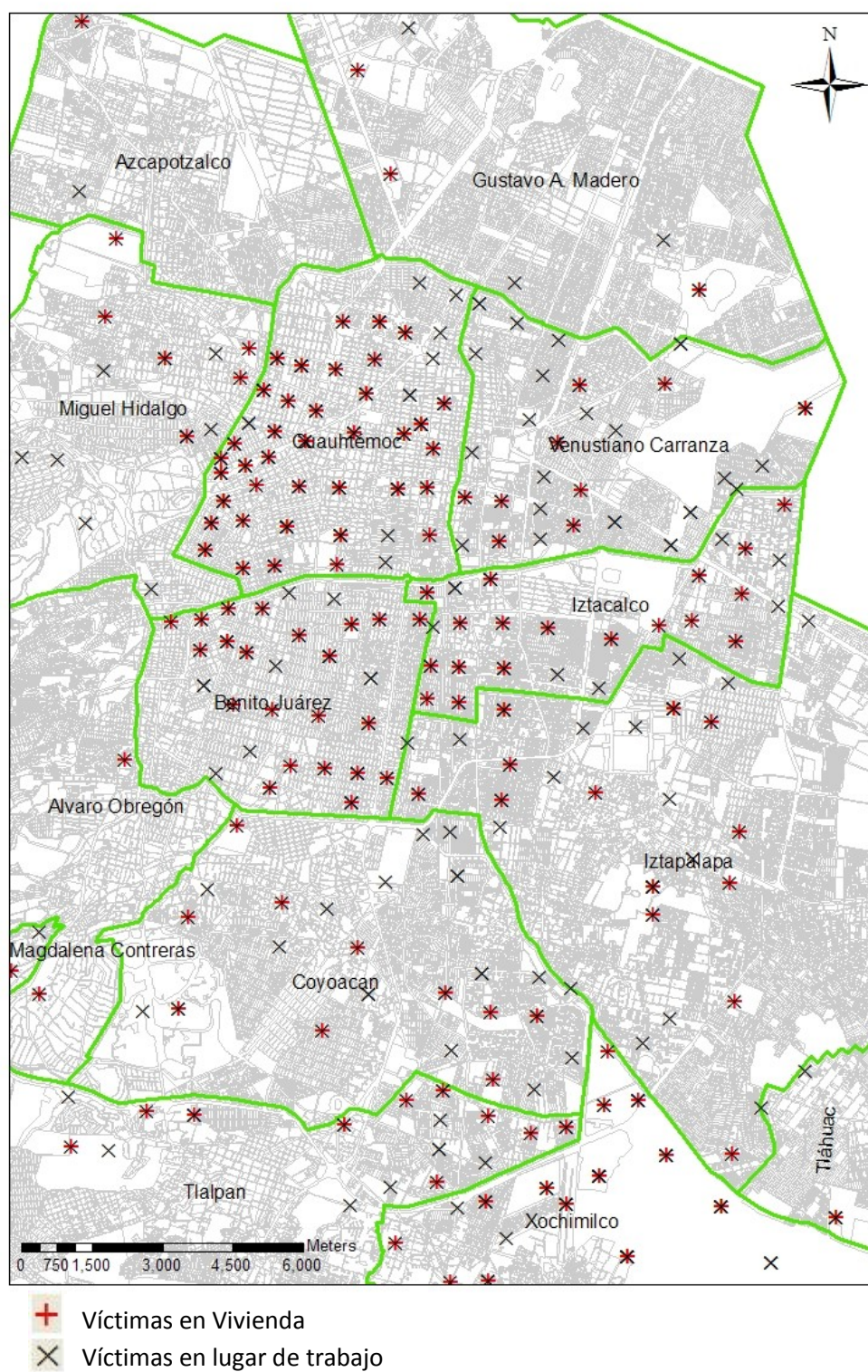
Anexo 3.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (día hábil).



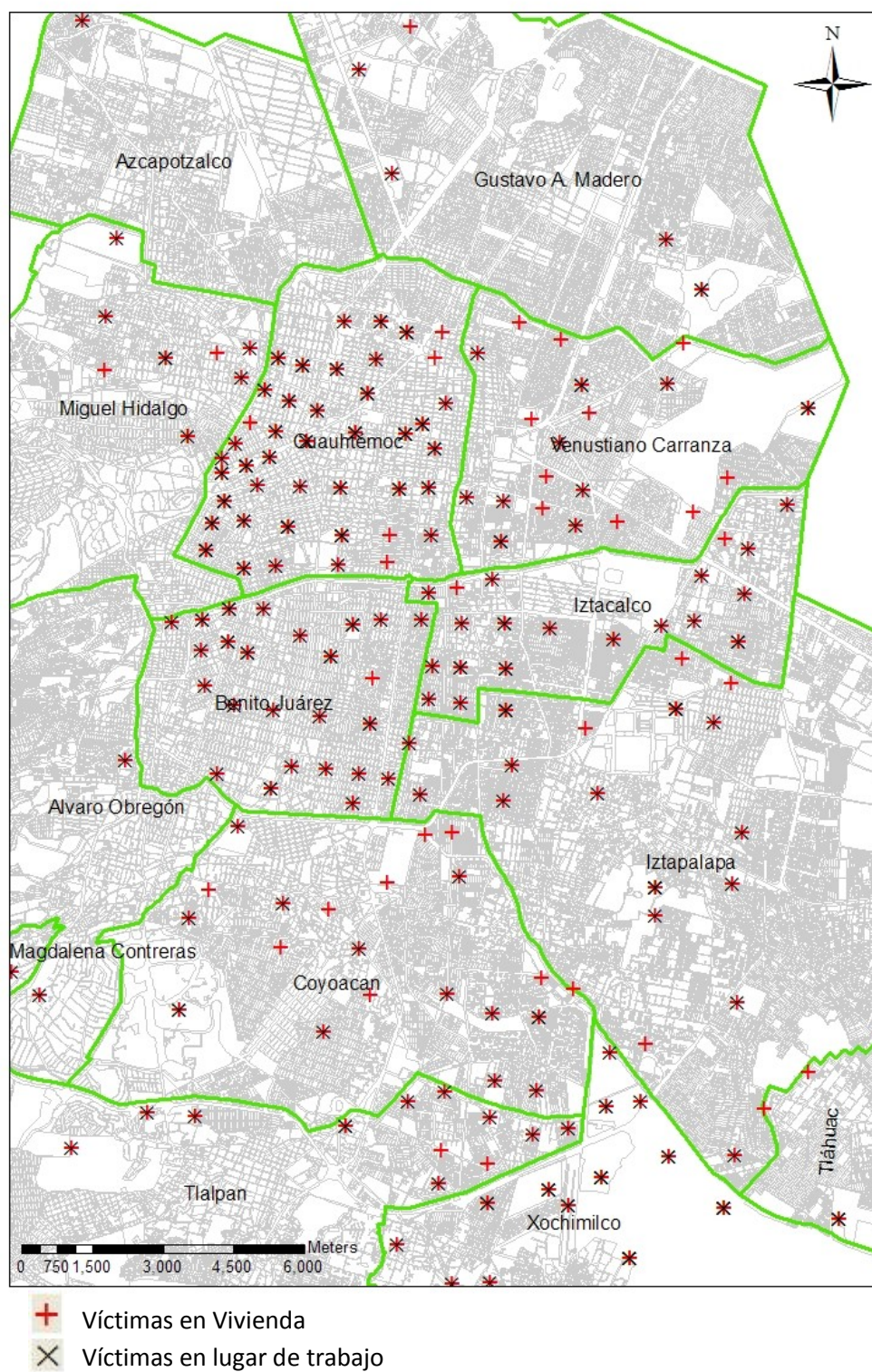
Anexo 4.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Tarde/día (fin de semana).



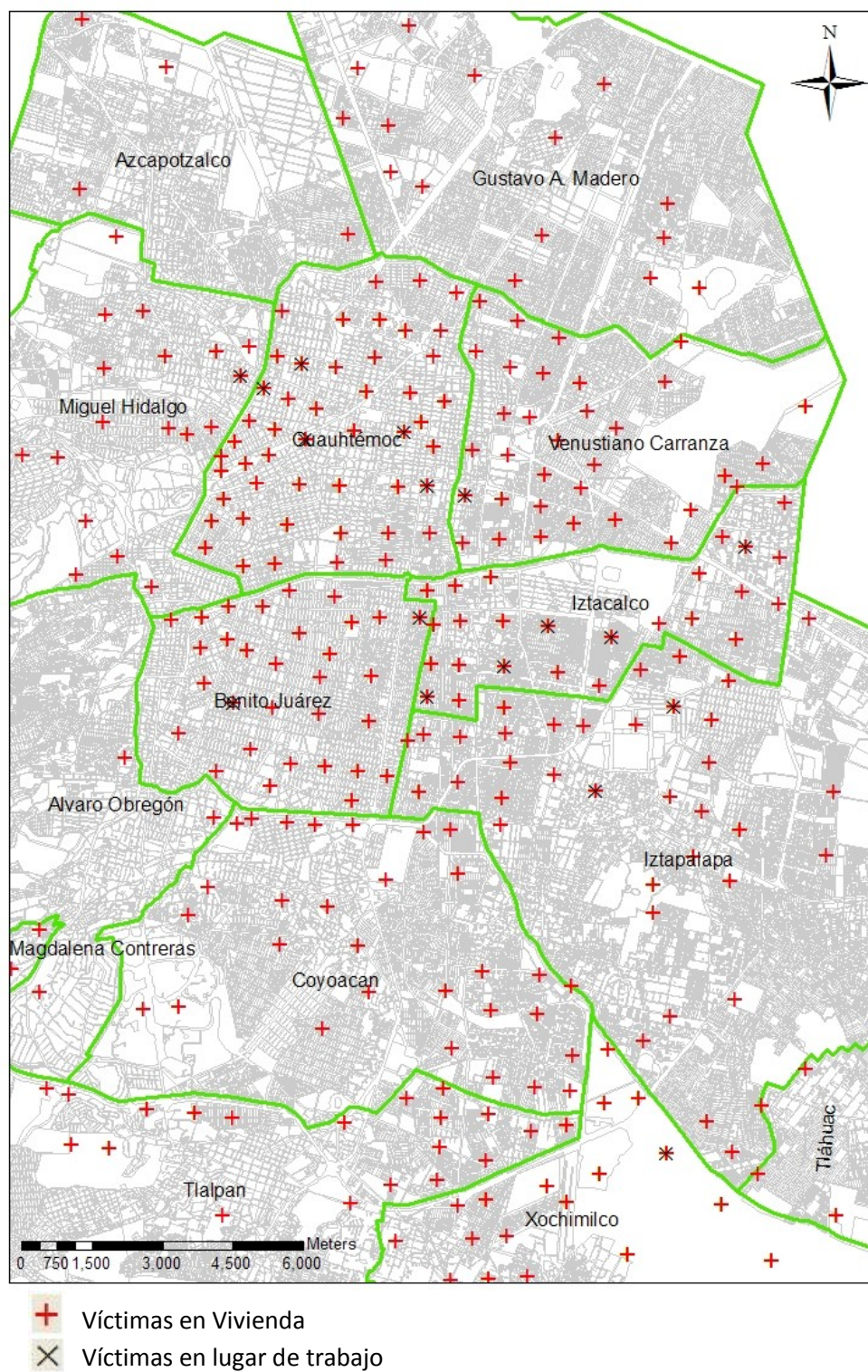
Anexo 5.- Subducción: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (fin de semana).



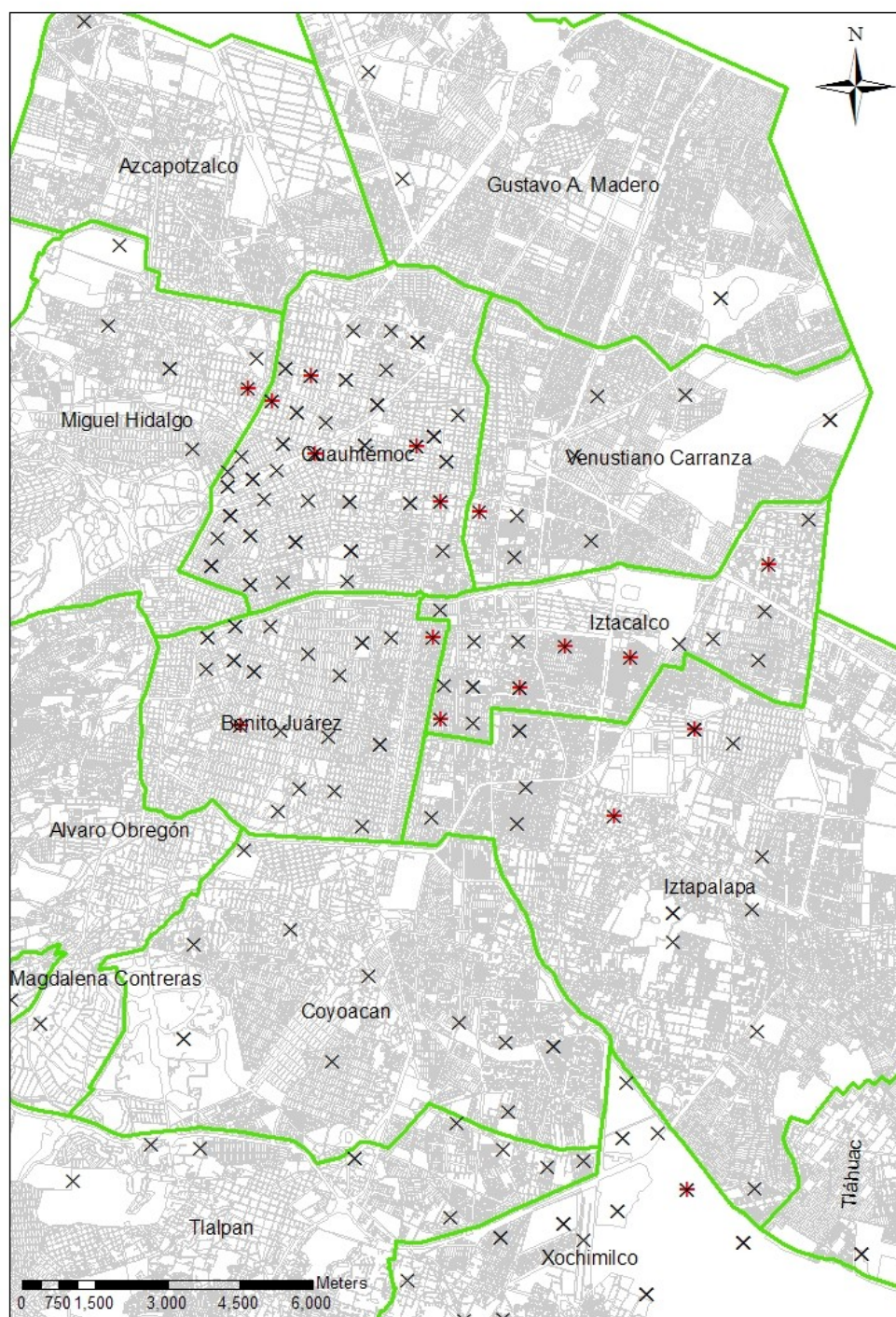
Anexo 6.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Día (día hábil).



Anexo 7.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Transporte (día hábil).

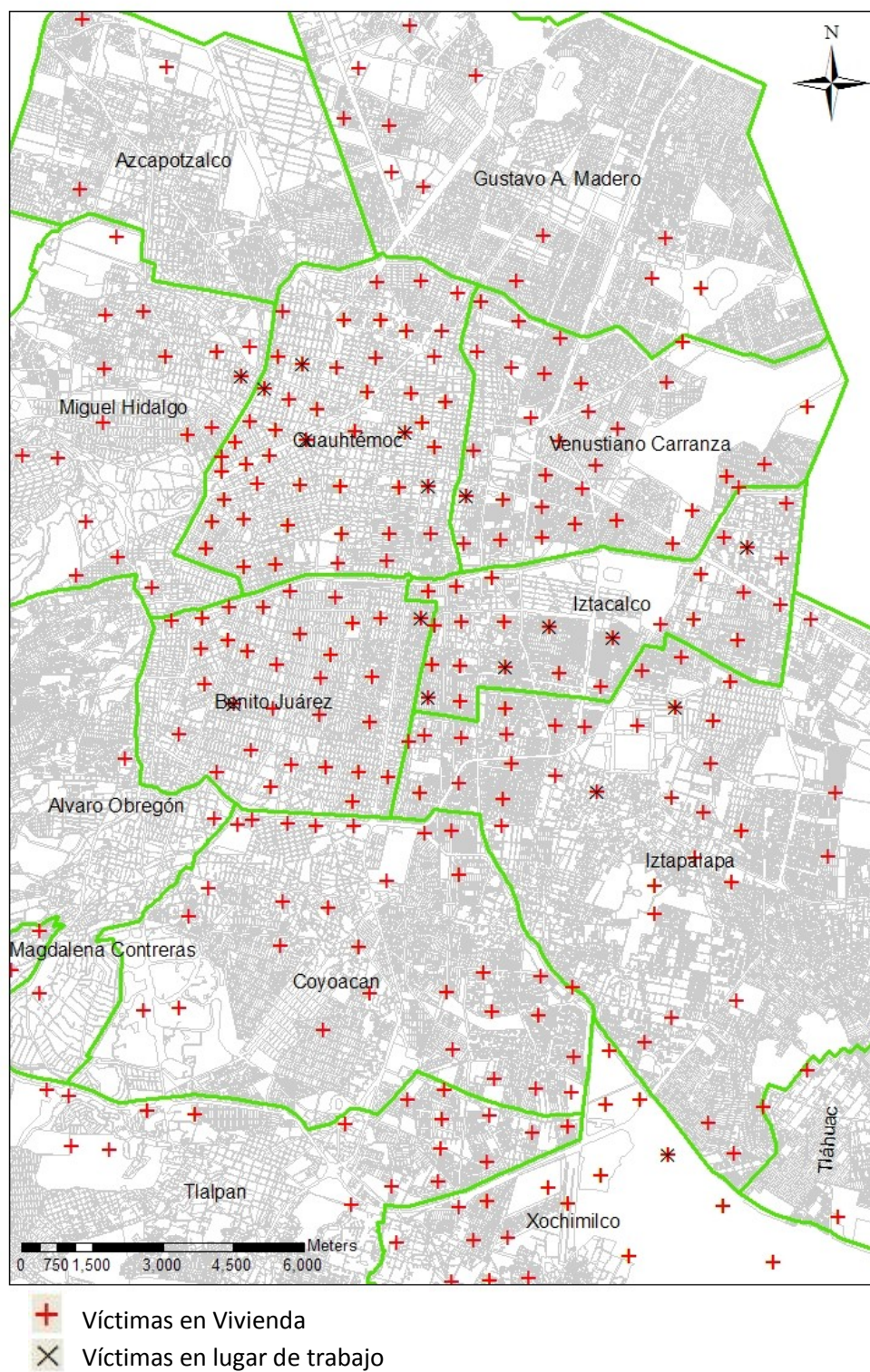


Anexo 8.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (día hábil).



- + Víctimas en Vivienda
- x Víctimas en lugar de trabajo

Anexo 9.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Tarde/día (fin de semana).



Anexo 10.- Profundidad Intermedia: Sub-escenario de pérdidas humanas Noche (fin de semana).