

Guatemala es un país expuesto a una variedad de amenazas incluyendo los terremotos. Ubicado en la intersección de tres placas tectónicas, el país ha sufrido grandes terremotos como el del 4 de febrero de 1976 que provocó más de 23,000 fatalidades y afectó a casi cinco millones de habitantes en todo el país.

Para responder a eventos catastróficos desencadenados por sismos y otras amenazas en el territorio nacional, las entidades que coordinan y realizan las actividades de respuesta y recuperación deben incluir como parte de sus esfuerzos la preparación para una respuesta efectiva y oportuna, que incluya un conocimiento de los niveles de riesgo sísmico en todas las regiones del país y una capacidad para realizar evaluaciones de daños como base para responder a las necesidades que provocan tales eventos.

Tomando en consideración la relevancia del Centro de Operaciones de Emergencia de coordinar los esfuerzos de respuesta en todo el país, dicha instancia debe tener la capacidad para estimar inicialmente de manera teórica los impactos de sismos en todo el país para todos los sectores de desarrollo.

El Centro Científico Jensen, en conjunto con investigadores de la Universidad Mariano Gálvez, expertos y profesionales Guatemaltecos de diversas instituciones y de otros científicos a nivel mundial, se han puesto como meta desarrollar un procedimiento que permita estimar de manera teórica, en un intervalo de tiempo de varias horas, los impactos de sismos en cualquier región del país enfocando el sector vivienda a nivel municipal. Las Notas Técnicas **ETS-SV** describen todos los aspectos técnicos y científicos del procedimiento teórico y los avances a la fecha que realizan los investigadores involucrados en esta actividad de investigación.

Esta Nota Técnica **ETS-SV 1** describe la teoría general sobre la cual se basa el procedimiento que está siendo desarrollado para estimar impactos.

Estimación teórica de impactos por sismos en el Sector Vivienda de Guatemala



Enfocando el riesgo sísmico en el sector vivienda

El riesgo sísmico representa el potencial de pérdidas que ocasionaría un terremoto que podría ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro en términos de vidas, impactos en las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios. En el contexto del sector de la vivienda el riesgo sísmico representa la combinación de la probabilidad de que se produzca un sismo y sus consecuencias negativas en dicho sector.

Desde el año 2008 los investigadores del Centro Científico Jensen realizaron una evaluación del riesgo sísmico en el sector vivienda de Guatemala combinando la información de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural del sector vivienda.



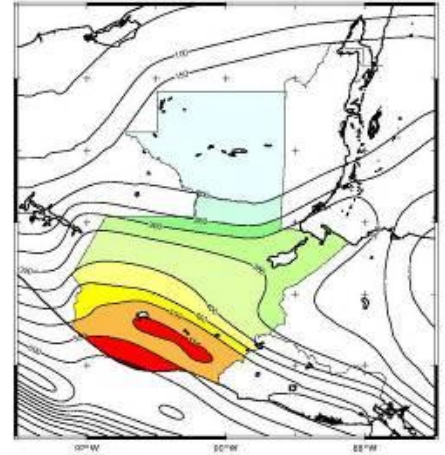
La amenaza sísmica en Guatemala

La amenaza sísmica se define para cada punto de la superficie de la Tierra como la probabilidad de que en dicho punto la **Aceleración Pico del Suelo** (PGA por sus siglas en inglés) alcance o sobrepase un valor específico en un período de retorno de 500 años. Desde hace varias décadas, expertos en sismología de Centro América y de otros países han llevado a cabo investigaciones para elaborar mapas de amenaza sísmica para Guatemala y Centro América.

Uno de los primeros mapas de amenaza sísmica para Guatemala fue elaborado por Kiremidjian, Shah y Lubetin en 1977. El mapa más reciente de amenaza sísmica ha sido elaborado en el marco del Proyecto **RESIS II** en el año 2010.

Reconociendo como fuentes de amenaza la zona de subducción, el sistema de fallas Polochic-Motagua-Chamelecón, otras fallas menores como las de Mixco y la cadena volcánica, los expertos han definido zonas de mayor amenaza en la región sur del país y en una franja de la cadena volcánica.

AGIES ha elaborado un mapa de amenaza sísmica para todo el país como parte de las Normas de Construcción que ha propuesto para todo tipo de infraestructura (ver la siguiente página).



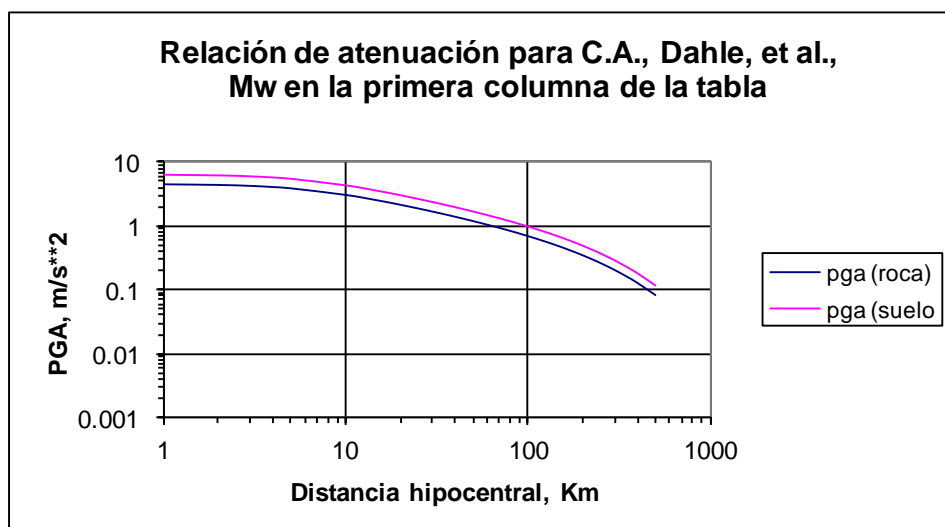
La Aceleración Pico del Suelo o PGA que experimenta cada punto del país debido a cualquier sismo o terremoto depende de varios factores, entre ellos:

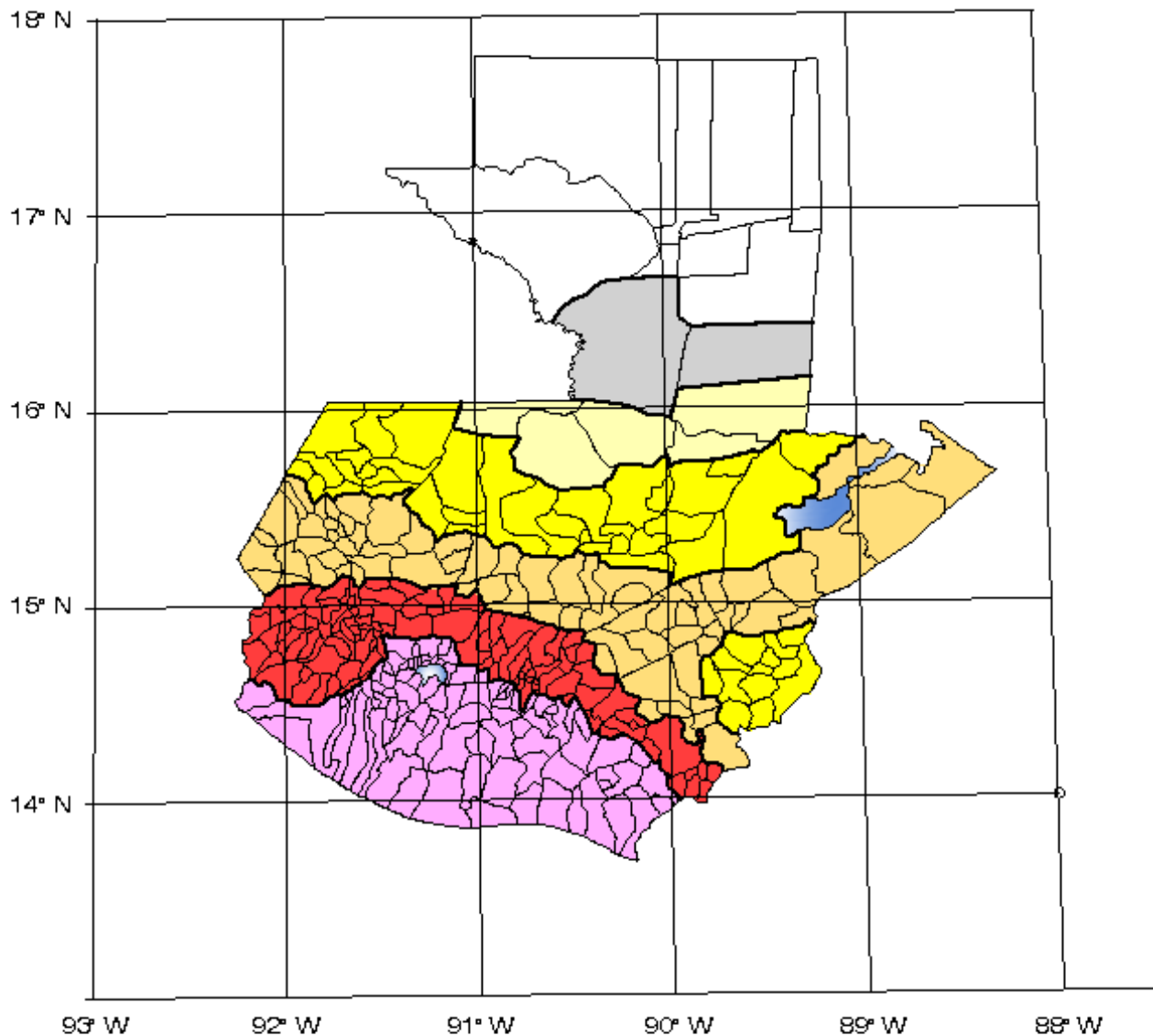
- La magnitud, la profundidad y la ubicación geográfica del epicentro del sismo o terremoto;
- La atenuación de las ondas sísmicas de acuerdo al tipo de rocas por las cuales se propagan dichas ondas sísmicas;
- La distancia a la cual se encuentra el punto en el cual se mide la PGA del epicentro.
- Los efectos locales debido al tipo de suelo en la localidad donde se mide la PGA.








Las relaciones de atenuación de ondas sísmicas

En América Central se han desarrollado en las últimas décadas varias relaciones de atenuación analizando registros de acelerómetros asociados a sismos. Entre las relaciones de atenuación figuran las de Esteva (1970), Donovan (1973) y Climent (1994) y la de Dahle et al.

Debido a que en Guatemala no hay suficientes registros de acelerómetros para eventos sísmicos, por lo general estas relaciones se han deducido usando datos de Costa Rica.





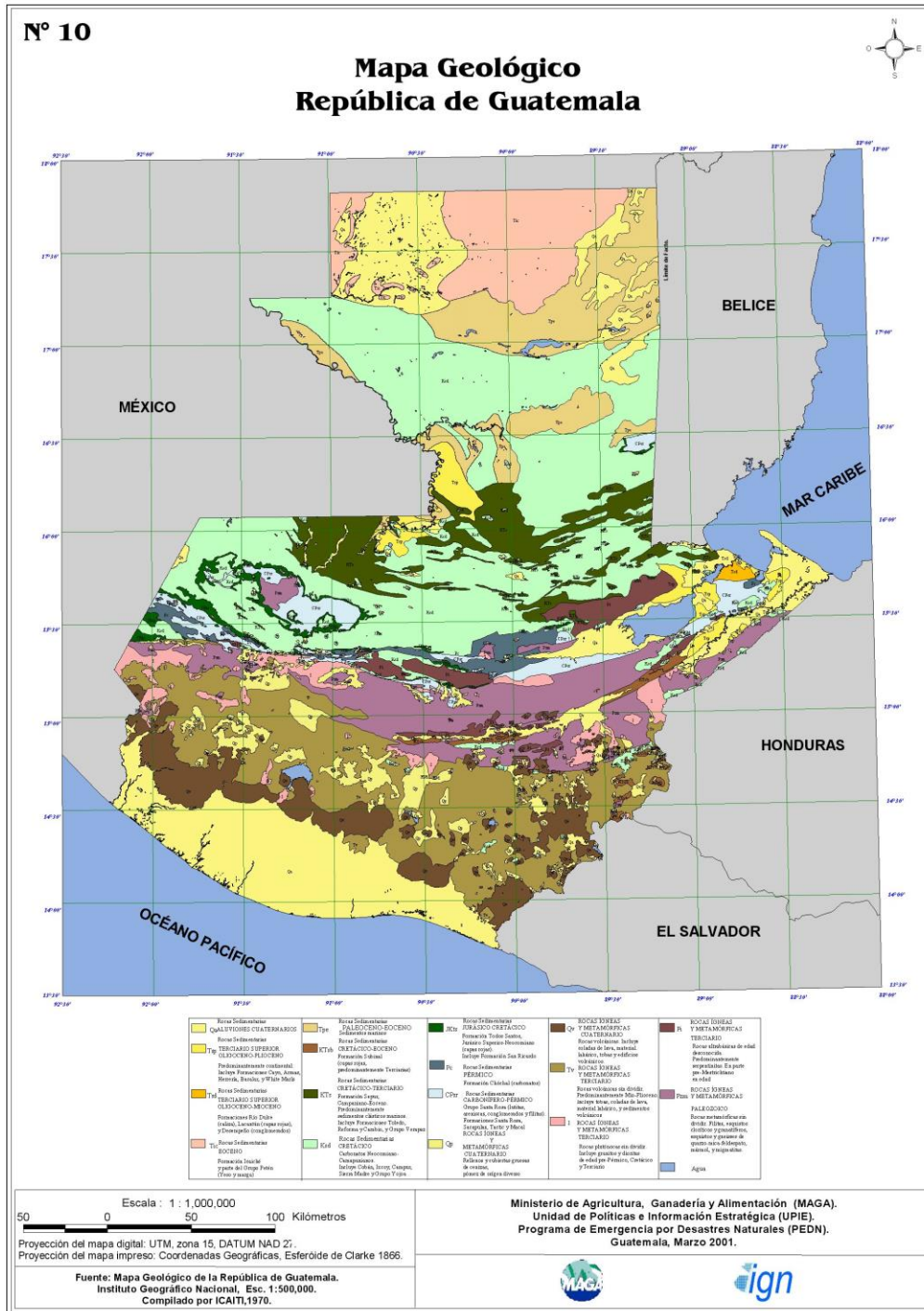
	I_o	S_{cr}	S_{1r}
2a		0.50g	0.20g
2b		0.70g	0.27g
3a		0.90g	0.35g
3b		1.10g	0.43g
4		1.30g	0.50g
4		1.50g	0.55g
4		1.65g	0.60g

**ZONIFICACION SISMICA
 REPUBLICA DE GUATEMALA**
**INDICE DE SISMICIDAD (I_o)
 Y PARAMETROS DEL SISMO EXTREMO
 CON Pe=2% EN 50 AÑOS**
S_{cr} y S_{1r} EN EL BASAMENTO ROCOSO
 MAPA AGIES BASADO EN RESIS II

Fuente: *Manual de Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala - AGIES*

La geología Guatemala

Las distintas formaciones geológicas que se manifiestan en todo el país tienen un efecto en lo que se refiere a la propagación de ondas sísmicas. De particular relevancia para el procedimiento propuesto es la incorporación de la respuesta local del sitio a ondas sísmicas, que afectan la PGA, la velocidad y el desplazamiento en cada punto del país. Como punto de partida se usa el mapa geológico de Guatemala elaborado por el IGN.



El mapa geológico hace referencia a distintos tipos de rocas incluyendo:

- Qa Aluviones cuaternarios
- Qp Rocas metamórficas del cuaternario (rellenos de pómez y cenizas volcánicas);
- Qv Rocas ígneas y metamórficas del cuaternario (rocas volcánicas, coladas de lava, material lahárico, tobas, edificios volcánicos);
- Tv Rocas ígneas y metamórficas del Terciario (tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos);
- I Rocas ígneas y metamórficas del terciario (granitos y dioritas);
- Pi Rocas ígneas y metamórficas del terciario (serpentinitas);
- Pzm Rocas ígneas y metamórficas del paleozoico (filitas, esquistos cloríticos, mármol, etc);

El procedimiento propuesto hace uso de esta información para estimar que grado de intensidad debe aumentarse a municipios específicos de acuerdo a la geología predominante.

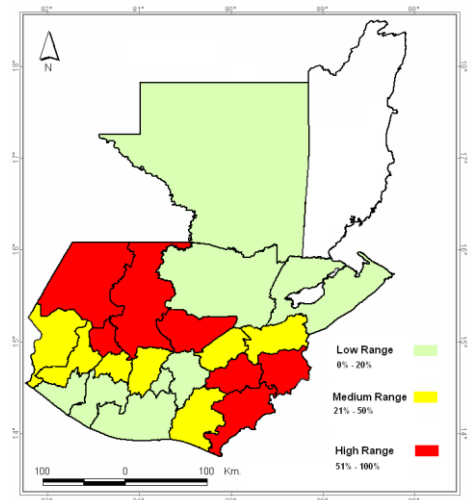
La vulnerabilidad estructural o física de las viviendas está asociada a dos factores: la **calidad de los materiales de construcción** y las **técnicas constructivas empleadas comúnmente**. Aunque un análisis preciso de la vulnerabilidad requiere de un análisis detallado, para los efectos del procedimiento propuesto se hará uso de las clases de vulnerabilidad que propone la **Escala Macrosísmica Europea 1998 (EME-98)**. Dicha escala se basa solamente en los materiales de construcción de pared. La selección de esta escala permite que el procedimiento empleado se ajuste a los datos de los censos de vivienda que realiza el Instituto Nacional de Estadística prácticamente cada década a nivel de todo el país.

La vulnerabilidad estructural o física del Sector Vivienda en Guatemala y la EME-98

Clase de Vulnerabilidad (EME-98)	Materiales de Construcción considerados en esta clase	Comentarios
Clase A: adobe	Adobe	Se asume que el adobe de Guatemala es similar al adobe de Europa. EME-98. Sin embargo se debe reconocer que talvez hay dos tipos de adobe en Guatemala: el adobe de viviendas en La Antigua o en la capital, que es grueso y que se parece al Europeo y el de poblados rurales que es mucho más delgado y por lo tanto, más vulnerable.
Clase A: otros materiales	Otros tipos de materiales de construcción de pared incluyendo palo, lepa, caña, lamina metálica, carton, etc.	Se incluyen viviendas con estos materiales de construcción de pared debido a la falta de información que se tiene.
Clase B: Bajareque	Bajareque	Se asume que el bajareque es un poco menos vulnerable que el adobe dado que incorpora un refuerzo interno de madera. Sin embargo, se debe reconocer que para viviendas de un siglo o muchas décadas, es posible que la madera ya no posea las propiedades estructurales iniciales y de ahí que se parezca al adobe en su nivel de vulnerabilidad.
Clase C: Mampostería reforzada o confinada	Block, ladrillo (unidades de roca manufacturas artificialmente) y concreto (edificios).	Se asume que todas las viviendas de ladrillo, block o cemento son de mampostería confinada reforzada.
Clase D: Madera	Madera.	Se asume que la madera de Guatemala se comporta de manera similar a la madera de Europa.

La vulnerabilidad estructural de viviendas en los Departamentos de Guatemala

Como es de esperarse, en los municipios del país hay viviendas construidas con diversos tipos de materiales de pared. Sumando el número de viviendas por clase de vulnerabilidad a nivel departamental, es posible hacer una estimación del porcentaje de viviendas que pertenecen a la clase A con respecto al número total de viviendas para cada departamento. Esto permite hacer un mapa indicando aquellos Departamentos donde el porcentaje de viviendas de la clase A es hasta un 20% del total (nivel bajo), hasta un 50% del total (moderado) y más del 50% del total (alto).

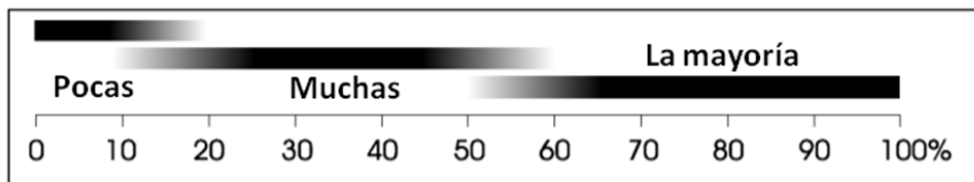


La EME-98: Estableciendo la intensidad usando grados de daños y clases de vulnerabilidad

La EME-98 propone que la estimación de intensidad se realice haciendo un análisis de los grados de daños experimentados por viviendas o estructuras de distintas clases de vulnerabilidad y una cuantificación de que fracción de viviendas de las distintas clases de vulnerabilidad experimentaron diversos tipos de daños.

Para el procedimiento propuesto se utilizarán los datos de las *Evaluaciones de Daños y Análisis de Necesidades* (EDAN) que realiza CONRED en zonas afectadas y adaptando en la medida de lo posible los tres grados de daños reportados en los EDAN (daños leves, moderados y severos) a los 5 grados de daños que propone la EME-98. Además, esta adaptación debe reconocer que los EDAN no incorporan clases de vulnerabilidad. De ahí que se asume que los daños reportados en los EDAN se refieren a edificaciones o viviendas de clases A y B.

La EME-98 incorpora 6 clases de vulnerabilidad, 5 tipos de grados de daños y atributos como “Pocos”, “Muchos” y “La Mayoría” para determinar el nivel de intensidad provocado por un terremoto. La escala propone que en una ciudad o poblado, el nivel de intensidad normalmente debería ser único para toda la ciudad o poblado, aunque en casos extremos puede ser necesario caracterizar la intensidad hasta con dos niveles contiguos. Para tal fin, la escala reconoce que los daños se manifiestan de manera diferenciada de acuerdo a la clase de vulnerabilidad de las viviendas. La escala aumenta de manera lineal los grados de daños para cada clase de vulnerabilidad de acuerdo al nivel de intensidad haciendo uso de esos atributos para diferenciar las proporciones de viviendas afectadas de acuerdo a su clase de vulnerabilidad.



Nivel	Grado de daño de acuerdo a la clase de Vulnerabilidad	
IV. Sentido	No hay daños en las viviendas de ninguna clase	
V. Fuerte	Muchas de clase A sufren grado 1	Pocas de clase A sufren grado 2 Pocas de clase B sufren grado 1
VI. Daño leve	Muchas de clase A sufren grado 2 Muchas de clase B sufren grado 1	Pocas de clase A sufren grado 3 Pocas de clase B sufren grado 2 Pocas de clase C sufren grado 1
VII. Daño	Muchas de clase A sufren grado 3 Muchas de clase B sufren grado 2	Pocas de clase A sufren grado 4 Pocas de clase B sufren grado 3 Pocas de clase C sufren grado 2 Pocas de clase D sufren grado 1
VIII. Daño fuerte	Muchas de clase A sufren grado 4 Muchas de clase B sufren grado 3 Muchas de clase C sufren grado 2 Muchas de clase D sufren grado 1	Pocas de clase A sufren grado 5 Pocas de clase B sufren grado 4 Pocas de clase C sufren grado 3 Pocas de clase D sufren grado 2
IX. Destructivo	Muchas de clase A sufren grado 5 Muchas de clase B sufren grado 4 Muchas de clase C sufren grado 3 Muchas de clase D sufren grado 2 Muchas de clase E sufren grado 1	Pocas de clase B sufren grado 5 Pocas de clase C sufren grado 4 Pocas de clase D sufren grado 3 Pocas de clase E sufren grado 2
X. Muy Destructivo	La mayoría de clase A sufren grado 5 Muchas de clase B sufren grado 5 Muchas de clase C sufren grado 4 Muchas de clase D sufren grado 3 Muchas de clase E sufren grado 2 Muchas de clase F sufren grado 1	Pocas de clase C sufren grado 5 Pocas de clase D sufren grado 4 Pocas de clase E sufren grado 3 Pocas de clase F sufren grado 2

El grupo de investigación que enfoca sus esfuerzos en el desarrollo de este procedimiento ha establecido el siguiente procedimiento para estimar de manera teórica la intensidad de sismos en cualquier municipio de la República haciendo uso de los siguientes insumos:

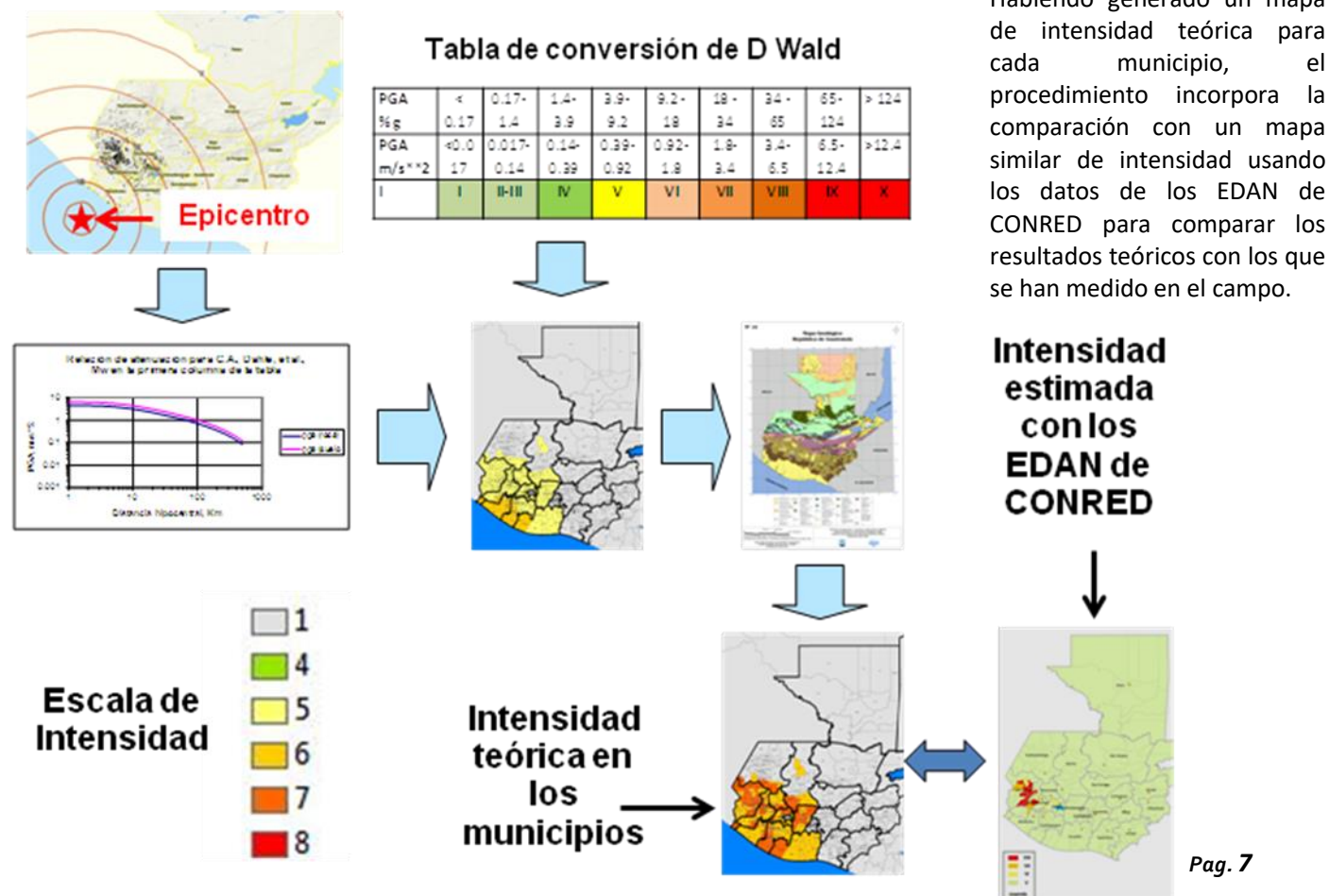
- Datos específicos del sismo como los reporta el INSIVUMEH (magnitud, localización del epicentro y profundidad);
- Relación de atenuación para Guatemala (Dahle et al, Esteva, Ciment, etc);
- Tabla de aumento de nivel de intensidad de acuerdo al tipo de formación geológica, usando el mapa Geológico de Guatemala como base;
- Tabla de D. Wald de USGS para transformar de PGA a intensidad;
- Datos de los EDAN del COE y de los Censos del INE para estimar la intensidad real en los municipios.

Procedimiento propuesto para estimar intensidades asociadas a terremotos

Transformación de rangos de PGA a intensidad

Tabla de David Wald (USGS) para transformar de rangos de PGA a Intensidad.

PGA % g	< 0.17	0.17- 1.4	1.4- 3.9	3.9- 9.2	9.2 - 18	18 - 34	34 - 65	65- 124	> 124
PGA m/s**2	<0.0 17	0.017- 0.14	0.14- 0.39	0.39- 0.92	0.92- 1.8	1.8- 3.4	3.4- 6.5	6.5- 12.4	>12.4
I	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X



Habiendo generado un mapa de intensidad teórica para cada municipio, el procedimiento incorpora la comparación con un mapa similar de intensidad usando los datos de los EDAN de CONRED para comparar los resultados teóricos con los que se han medido en el campo.