

# PREVENCIÓN DE DAÑOS POR RIESGO SÍSMICO A TRAVÉS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA CONSTRUCCIONES CON ALTA VULNERABILIDAD SÍSMICA

---

Caso de estudio: viviendas autoconstruidas de la República de Haití.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA (ETSA)  
MASTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA AVANZADA, PAISAJE,  
URBANISMO Y DISEÑO  
Línea de Tecnologías Avanzadas para la Arquitectura y el Urbanismo  
Curso Académico 2013-2014

Febrero 2015



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# Prevención de daños por riesgo sísmico a través de nuevas tecnologías para construcciones con alta vulnerabilidad sísmica

Caso de estudio: viviendas autoconstruidas de la República de Haití.

## AUTORA

Haydee Carolina Flaquer Polanco

## TUTORES

Ernesto Fenolosa Fomer  
Begoña Serrano Lanzarote  
Adolfo Alonso Durá

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA (ETSA)

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA AVANZADA, PAISAJE, URBANISMO Y DISEÑO  
Línea de Tecnologías Avanzadas para la Arquitectura y el Urbanismo  
Curso Académico 2013-2014

Febrero 2015



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# Agradecimientos

A Dios, por siempre ser mi guía, mi sustento, por nunca abandonarme manifestándose su presencia y su amor cada día de mi vida.

Al Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de la República Dominicana (MESCyT), por darme la oportunidad de cursar este master que anhelaba con todo mi corazón; por permitirme crecer como persona y profesional gracias a las vivencias que he podido experimentar.

A mis padres, hermano, abuela y abuelo: Tami, Jacqueline, Guille, Doña Nelly y Don Chino; por ser mi fortaleza, mi motivación, mi roca, mi ejemplo; por demostrarme que la distancia no es nada si el amor prima por sobre todas las cosas, por su comprensión, apoyo y por tomarse cada proyecto mío como si fuera de ustedes, gracias a ustedes soy lo que soy, son mi mayor felicidad.

A todos mis familiares, en especial a mis tíos, tías, primos y primas, por siempre apoyarme, manifestarme su amor y motivación durante mi carrera académica y cada etapa de mi vida.

A mis amigos del corazón, Alejandro, Alma, Guillermo, Jean Carlos, Lorayna, Pedrito y Wilmayris; no tengo palabras para describir lo bendecida que me siento por tenerlos. Gracias por demostrarme que la amistad verdadera existe y que cada día se fortalece a pesar de cualquier circunstancia, gracias por su amor y apoyo; más que todo gracias por siempre estar.

A Vianney Méndez Cruz, por vivir esta aventura conmigo y nunca soltarme de su mano, por ser mi soporte en los momentos difíciles y mi luz en los momentos de felicidad, por las palabras de aliento en mis días grises y por las sonrisas que alegraron mi alma, sin ti esto no habría sido lo mismo, gracias, gracias, gracias.

A mis compañeros y amigos del MAAPUD, por permitirme formar parte de sus vidas, por ser la familia que me abrigó en todos estos meses lejos de casa, son los mejores!

A mis profesores y tutores de la UPV, especialmente a la Prof. Begoña Serrano Lanzarote, Prof. Adolfo A. Dura y Ernesto Fenollosa Forner, por su gran disposición y colaboración durante mi periodo académico y posteriormente en la realización de este trabajo de fin de master, significan mucho para mí.

# Dedicatoria

A papi, mami, Guille, abuela y en especial a abuelo, Don Ernesto Polanco de Jesús.

Siempre vivirás en mi corazón...

## RESUMEN

La investigación proyecta el estudio y análisis de las causas de vulnerabilidad de edificaciones ubicadas en la República de Haití. Con el propósito de elaborar una ficha de evaluación de vulnerabilidad de edificaciones, que busca identificar las problemáticas existentes y plantear soluciones de prevención por sismo para esas tipologías.

Específicamente, estudiar la situación de desfavorables cualidades constructivas en las que vive Haití. Partiendo de que se deduce que estas cualidades son extraordinariamente altas con relación a la media mundial.

Planteando sistemas innovadores que promuevan el interés por intervenir en edificaciones estructuralmente inseguras, identificando sus ventajas y la forma en que colaborarían a remediar la situación habitacional y constructiva de este país.

**Palabras claves:** vulnerabilidad, sismo, autoconstrucción, riesgo, prevención, nuevas tecnologías.

## ABSTRACT

The research aims to study and analyze the causes of vulnerability of buildings located in the Republic of Haiti, with the intention of developing a record card for the evaluation of vulnerability of buildings, which seeks to identify existing problems, to discuss possible solutions for the earthquake prevention.

Specifically, analyze the situation of unfavorable constructive qualities in which Haiti live. Starting from the deduction that there are unfavorable qualities that are unusually high relative to the world average.

In order to present the possible innovative systems that promote the collective interest in intervening in structurally unsafe buildings, discovering its benefits and how they collaborate and remedy the housing situation in this country.

**Keywords:** vulnerability, earthquake, self-construction, risk, prevention, new technologies.



# ÍNDICE

<b>Capítulo I: Preliminares</b>	
11 Introducción .....	12
12 Motivación .....	14
13 Objetivo general .....	15
14 Objetivos específicos .....	15
15 Justificación .....	16
16 Metodología de trabajo .....	17
17 Preguntas de la investigación .....	18
<b>Capítulo II: Estado del conocimiento</b>	
Acercamiento a la investigación .....	22
<b>2. Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico</b>	
2.1. Peligrosidad .....	26
2.1.a. Información a Considerar y fases a seguir en la evaluación de la peligrosidad .....	27
2.1.b. Identificación de características sismo tectónicas .....	29
Recapitulaciones y observaciones .....	37
2.2 Vulnerabilidad .....	38
2.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica .....	39
2.2.2 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica .....	43
2.2.a Sistema de puntuación del índice de vulnerabilidad sísmica de edificios .....	44
2.2.b Método para la determinación de la vulnerabilidad estructural de hospitales .....	45
2.2.c Nivel de vulnerabilidad potencial desarrollado por HMC, 1997 .....	46
2.2.d. Método del índice de vulnerabilidad (BENEDETTI & PETRINI, 1984) .....	47
2.2.d.1 Cálculo del índice de vulnerabilidad .....	48
2.2.d.2 Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad .....	49
2.2.d.3 Método del índice de vulnerabilidad en edificios de hormigón armado .....	56
2.2.e Tabla comparativa de métodos de evaluación de vulnerabilidad .....	57
Recapitulaciones y observaciones .....	59

# ÍNDICE

2.3 Riesgo sísmico .....	61
2.3.1 Gestión el riesgo .....	62
2.3.1a Riesgo físico .....	65
2.3.1b Visión integral del riesgo .....	66
2.3.2 Prevención del riesgo .....	68
2.3.2a Política de identificación de riesgos .....	68
2.3.2b Política de gestión de riesgos para catástrofes en lugares con alta peligrosidad sísmica ...	70
2.3.2c Políticas de reducción de riesgos .....	72
Recapitulaciones y observaciones .....	75
2.4 Identificación y caracterización de daños en edificaciones .....	78
2.4.1 Lesiones en las edificaciones .....	78
2.4.2 Lesiones causadas por defectos, daños y deterioro .....	80
2.4.2a Defectos .....	80
2.4.2b Daños .....	81
2.4.2c Deterioro .....	81
2.5. La prevención ante catástrofes sísmicas .....	82
2.5.1 Metodologías, protocolos y procedimientos de prevención existentes .....	84
<b>Capítulo III: Riesgo sísmico y auto construcción</b>	
<b>3. Riesgo sísmico y auto construcción en la República de Haití</b> .....	88
3.1 El Territorio Haitiano .....	88
3.1.1 Principales lineamientos tectónicos de la Isla La Hspaniola .....	89
3.2 Riesgo sísmico en el territorio Haitiano .....	90
3.2.1 Historial sísmico de la República de Haití .....	91
3.2.2 Peligrosidad sísmica en el territorio haitiano .....	91
3.2.3 Vulnerabilidad sísmica del territorio haitiano .....	92
3.2.4 La Auto construcción .....	93
3.2.4.a Identificación de zonas de concentración de viviendas auto construidas e identificación de tipologías de edificaciones existentes .....	94
3.2.4.b Daños más comunes en las viviendas auto construidas identificadas .....	96
3.2.5 Caracterización del riesgo sísmico considerando el nivel de vulnerabilidad producto de autoconstrucción .....	104



# ÍNDICE

<b>Capítulo IV:</b> Prevención de daños estructurales por riesgo sísmico	
4.1 Antecedentes .....	108
4.2 Características generales y consideraciones .....	108
- Objetivos del plan .....	108
- Alcance y limitaciones de su aplicación .....	108
- Requerimientos básicos para manejo de la información .....	109
4.3. Propuesta de Ficha de Evaluación de Edificaciones .....	110
<b>Capítulo V:</b> Nuevas tecnologías de prevención	
5.1 ¿Hay sistemas de prevención? .....	116
5.2 Estudio de mercado .....	116
5.3 Nuevas tecnologías para prevención .....	117
5.3.1 Malla textil o fibra sísmica: demora el colapso y aporta resistencia .....	117
5.3.2 Aglomerantes y morteros .....	118
5.3.3 Armadura .....	118
5.3.4 Posibles propuestas de intervención para edificaciones auto construidas .....	119
5.3.4.a Intervenciones en estructuras de barras de hormigón armado .....	119
5.3.4.b Intervenciones en estructuras de obras de fábrica o mampostería .....	119
5.3.4.c Intervenciones no estructurales .....	119
5.3.5 Tabla de posibles soluciones de prevención de daños frente a sismos en tipologías identificadas .....	120
Conclusiones .....	122
Anexos .....	127
Bibliografía de textos .....	138
Bibliografía de figuras .....	141
Bibliografía de imágenes .....	142
Bibliografía de ecuaciones .....	144
Bibliografía de tablas .....	145



Imagen 1: Haitianos recogen escombros de iglesia en Puerto Príncipe. Fuente: [www.taringa.net](http://www.taringa.net)



# CAPÍTULO I

PRELIMINARES

## INTRODUCCIÓN

La región del Caribe (Centroamérica, el norte de Suramérica y el Caribe insular) es una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Durante los pasados 500 años se han generado terremotos muy significativos causando muertes, daños a la propiedad y pérdidas económicas.

Entre el año 2009 y el 2012 se han concebido los más significativos sismos, contemplándose el terremoto de Haití en el año 2010 como el más devastador del Caribe, con la muerte de alrededor de 300,000 personas y numerosas pérdidas económicas.

Se puede observar que el desarrollo urbano de la isla Hispaniola se encuentra implantado de manera espontánea en todo el litoral buscando el aprovechamiento de los recursos costeros. Identificándose en la parte noroeste el sector agrícola. A diferencia de la República Dominicana, el suelo haitiano no es muy fértil, motivo de la deforestación y el mal manejo del mismo.

Como resultado de este incorrecto manejo, la mala elección de terrenos para la construcción de edificaciones y la forma irresponsable e insegura de construir, se produce un incremento en la vulnerabilidad de las edificaciones frente a catástrofes sísmicas.

Siguiendo a (FERRERO, 2003) "El paradigma naturalista dominante hasta bien reciente en materia de desastres, defendía la concepción del desastre como la expresión inevitable de la acción de la naturaleza (agente activo) sobre la sociedad (agente pasivo). En las últimas décadas se ha impuesto el enfoque multidisciplinar. Bajo esa concepción, los desastres no son únicamente fenómenos naturales sino "socio-naturales."

Se atribuye a la sociedad la capacidad de gestionar de manera apropiada los riesgos que pudieran surgir, apelando a tomar decisiones que vayan en pro del desarrollo y la protección de los ciudadanos.

Sin embargo, la mala práctica y aplicación de los recursos no solo se convierte en un detonante cuando ocurren sismos, inundaciones y huracanes, sino que también altera negativamente las condiciones de vulnerabilidad, sufriendose mayores pérdidas cada vez que se experimentan estas catástrofes.

Según Andrew Maskrey\*, "un desastre natural es la coincidencia entre un fenómeno natural peligroso y determinadas situaciones específicas." Esto quiere decir que hay otros aspectos que deben ser contemplados. Que de manera directa o indirecta afectan las condiciones de vulnerabilidad.



---

\* Andrew Maskrey: Autor del libro "Los desastres no son naturales." Miembro de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.



Estas situaciones específicas son por un lado responsabilidad de la sociedad, principalmente por la manera en que plantea su relación con la naturaleza y el entorno que la rodea.

Esto indica que el individuo juega un papel crucial en la relación entre el ente activo, en este caso "El sismo" y el ente pasivo "La Sociedad", por lo que es preciso examinar medidas que correspondan con cada parte, buscando un equilibrio que evite pérdidas humanas y materiales significativas.

Teniendo en cuenta la falta de información y la irresponsabilidad de los organismos que rigen la sociedad, será necesario promover la concientización de los ciudadanos para que de manera autónoma sientan la responsabilidad de asumir este compromiso.

Este trabajo de fin de master busca crear un mecanismo de evaluación de vulnerabilidad. Con la intención de descifrar los mensajes que transmiten las edificaciones (construcciones informales, autoconstrucción, etc.). Sugiriendo la implementación de nuevas tecnologías económicamente factibles que incrementen la seguridad de estas edificaciones.

Para lograr esto se pretende:

- Analizar el estado del conocimiento sobre el riesgo sísmico desde el punto de vista preventivo.
- Indagar sobre metodologías de identificación y evaluación de vulnerabilidad.
- Analizar posibles sistemas de intervención para el acondicionamiento de edificaciones.
- Comprobar que dichas soluciones se adaptan apropiadamente a las problemáticas identificadas.

El enfoque de la investigación sobre las posibles soluciones se ajusta a la orientación técnica de productos de prevención, dándole prioridad a puntualizar de qué forma pueden ayudar a solucionar las problemáticas identificadas en las edificaciones.

## MOTIVACIÓN

El riesgo sísmico en la isla La Hispaniola no se le da la prioridad que requiere. No se educa al ciudadano a considerar en el proceso constructivo el posible acontecimiento de un sismo, ni se vela porque se construyan edificaciones seguras ante estas catástrofes.

Las personas, principalmente de escasos recursos no sienten interés por conocer la situación del territorio en el que habitan, sino vivir en una casa de "concreto", poniendo en riesgo su vida de manera inconsciente.

Generalmente se reportaba un promedio de entre 1,500 a 2000 temblores por año en Centro América. Sin embargo, desde el año 2009 la región no alcanza los 1,400 sismos por año. De acuerdo con la Red Sísmica de Nicaragua se debe a que la tierra esta liberando menos energía de lo acostumbrado.

En ese contexto, se han presentado varios terremotos significativos en los años 2010 y 2012 en:

- El Salvador con una magnitud de 6.7  $M_L$
- Costa Rica con una magnitud de 7.3  $M_L$
- La República de Haití con una magnitud de 7.0.  $M_L$

Ésta última representa la motivación principal de este trabajo de fin de master. Entendiéndose que ocurrió en el territorio de la isla La Hispaniola, isla que la República de Haití comparte con República Dominicana.

La situación Económica, social y política del territorio Haitiano es calificada como crítica, considerando que es el país más pobre de todo el continente americano y uno de los más desfavorecidos del mundo. Según *The World Factbook*, el 80% de su población vive en la pobreza y dos tercios de ella son dependientes del sector de la agricultura y la pesca.

La motivación de este trabajo de fin de master se ve influenciada por la necesidad de un método de actuación pre-sismo que aporte a un comportamiento apropiado de las edificaciones, reduciendo las pérdidas humanas y materiales.



## OBJETIVO GENERAL

Conocer los mensajes que transmiten las edificaciones de Puerto Príncipe, Haití, con respecto a las condiciones de vulnerabilidad en las que se encuentran, e identificar sistemas de prevención de daños por sismo que mejoren el comportamiento de estas edificaciones. Así mismo, responder de forma simple, económica y eficiente, en el orden de las posibilidades sociales y humanas, a las problemáticas estructurales y constructivas que se pueden encontrar en lugares con alta peligrosidad sísmica y desfavorables condiciones constructivas o autoconstrucción.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la situación del territorio haitiano desde el punto de vista sísmico.
- Identificar las características constructivas y estructurales de las edificaciones de Haití.
- Crear una ficha de evaluación de vulnerabilidad de edificaciones.
- Descubrir soluciones estructurales innovadoras que se puedan implementar a edificios en estas condiciones, respondiendo a las posibilidades económicas, sociales, de tiempo y efectividad necesarias.
- Lograr que los usuarios de las edificaciones mal construidas o autoconstruidas ubicadas en lugares con peligrosidad sísmica puedan identificar de manera sencilla y rápida los mensajes que transmiten los inmuebles que habitan. Permitiéndose evaluar, intervenir y mejorar sus condiciones.
- Identificar cuales soluciones son efectivas para las tipologías constructivas del caso de estudio.

## JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, el riesgo por terremotos en las ciudades latinoamericanas ha incrementado, principalmente debido a un alto crecimiento en la urbanización, equivocaciones en los usos del suelo y en la construcción, infraestructura, servicios inadecuados, y degradación ambiental.

En las dos repúblicas que conforman el territorio de la isla La Hispaniola no se cumple la normativas de construcción sismorresistente, y esto considerando la estimación racional de pérdidas por terremotos en construcciones, es prioritario en un territorio con alto riesgo.

La falta de educación sobre esta temática en la sociedad provoca que de manera irresponsable se establezcan edificaciones que al momento de ocurrir un sismo atentan contra la vida de sus habitantes.

En este caso, La investigación se justifica por la ausencia de un sistema de prevención y gestión del riesgo sísmico, que fije en conjunto con las entidades competentes las políticas de prevención necesarias, velando por el cumplimiento de las mismas. A fin de minimizar los efectos negativos que estas puedan producir sobre la población, sus bienes, el medio ambiente y la actividad económica de la ciudad.

Considerándose necesario este recurso y su implementación para contribuir a la mejora equitativa de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras.

# METODOLOGÍA



La metodología a seguir para el desarrollo del trabajo esta conformada por cinco fases:

- **Fase 1:** Preliminares

Una primera fase en la que se recopilará la información necesaria para tener los conocimientos preliminares de la investigación, la misma funcionará para plantear los alcances y extensión del estudio.

- **Fase 2:** Estado del conocimiento

En la segunda fase se llevará a cabo una recopilación y análisis de datos relacionados a la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico. Esta etapa de la investigación permitirá tener los conocimientos necesarios para abordar el caso de estudio. Se especificarán las herramientas y procedimientos de análisis de los elementos necesarios para identificar la situación del caso de estudio y las problemáticas que posee.

- **Fase 3:** Caso de estudio

En esta fase se estudiará de la situación sísmica del territorio de Haití. Se analizarán los antecedentes sísmicos, la peligrosidad y los factores que motivan a la alta sismicidad. En ese mismo orden, se analizarán las zonas con mayor vulnerabilidad de Puerto Príncipe, capital de Haití. Para posteriormente caracterizar las tipologías constructivas, materiales y nivel de vulnerabilidad de las edificaciones; igualmente se identificarán las lesiones producto del sismo del 2010. Esta etapa de la metodología permitirá obtener un diagnóstico sobre la situación actual de las edificaciones en Puerto Príncipe y las problemáticas que presentan estas edificaciones.

- **Fase 4:** Aportes

En la fase cuatro se aportará una ficha simplificada de evaluación de vulnerabilidad de edificaciones. Que permitirá identificar las problemáticas que predominan en las tipologías identificadas en el capítulo anterior y servirá como un recurso para lugares con estas cualidades que requieran de una evaluación de vulnerabilidad de sus edificaciones.

- **Fase 5:** Manejo de resultados

En la fase cinco se estudiarán las posibles soluciones en el mercado para las problemáticas identificadas en las construcciones de Puerto Príncipe. Se elaborará una tabla que permitirá conocer cuál de estas soluciones puede ser utilizada en cada tipología y de qué forma contribuirá a evitar daños si se presenta un sismo.

Estas informaciones nos ayudarán a establecer las conclusiones que resumirán el estudio y permitirán tener una noción más amplia sobre las posibilidades de intervención desde una perspectiva preventiva. Los resultados que se obtengan contribuirán con la situación constructiva de la República de Haití, y permitirán conocer la realidad de este sector en la actualidad.

# PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN



## CAPÍTULO I: PRELIMINARES

- ¿Cuál es el enfoque y alcance de la investigación?
- ¿Cuál es la motivación principal de la elaboración de esta investigación?
- ¿Cuál es el propósito que se busca con la elaboración de esta investigación?
- ¿Cómo se justifica la elaboración de este trabajo de fin de master?
- ¿Qué tipo de estrategias metodológicas se van a utilizar para desarrollar la investigación?

## CAPÍTULO II: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

- ¿En qué consiste la peligrosidad?
- ¿Cómo se identifica la peligrosidad sísmica?
- ¿En qué consiste la Vulnerabilidad y cómo se evalúa?
- ¿Cuáles son los posibles métodos de evaluación de vulnerabilidad?
- ¿En qué consiste el riesgo sísmico?
- ¿Cómo se identifica, gestiona y reduce el riesgo sísmico?
- ¿Existe la posibilidad de gestionar las catástrofes en lugares con alta peligrosidad? ¿Cómo?
- ¿Cómo se identifican las lesiones en las estructuras y edificaciones?
- ¿Cuáles son las principales lesiones que se pueden observar en las edificaciones?
- ¿Qué aspectos dan origen a las lesiones en las edificaciones?
- ¿En qué consiste prevenir?
- ¿Cómo se previene?
- ¿Cuáles planes de prevención existen?

## CAPÍTULO III: RIESGO SÍSMICO Y AUTOCONSTRUCCIÓN

- ¿Cuál es la situación sísmica del territorio haitiano?
- ¿Cuáles son las zonas más vulnerables? Y ¿Por qué?
- ¿Cómo son las edificaciones ( Estructura, materiales, forma, etc.?)
- ¿Qué daños o lesiones presentan estas edificaciones?
- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones?
- ¿De acuerdo con esos datos cuál es el riesgo sísmico de Haití?

## CAPÍTULO IV: PREVENCIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES POR RIESGO SÍSMICO

- ¿Cuál es el enfoque que necesita una propuesta de prevención de daños por vulnerabilidad sísmica?
- ¿Cómo se obtendría la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones ?
- ¿Qué debe tener la ficha de evaluación y como se debe llenar la información?

## CAPÍTULO V: NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PREVENCIÓN

- ¿Hay sistemas de prevención?
- ¿Qué hay en el mercado?
- ¿Qué soluciones de intervención se pueden utilizar en viviendas autoconstruidas?
- ¿Cuál es el costo en comparación con los sistemas convencionales?
- ¿Estos sistemas son compatibles con las edificaciones existentes en Haití?
- ¿Es posible que las viviendas sean más resistentes con estos sistemas?
- ¿Se obtienen buenos resultados con su aplicación?
- ¿Estos sistemas son la solución ante la problemática de alto riesgo sísmico de países pobres?

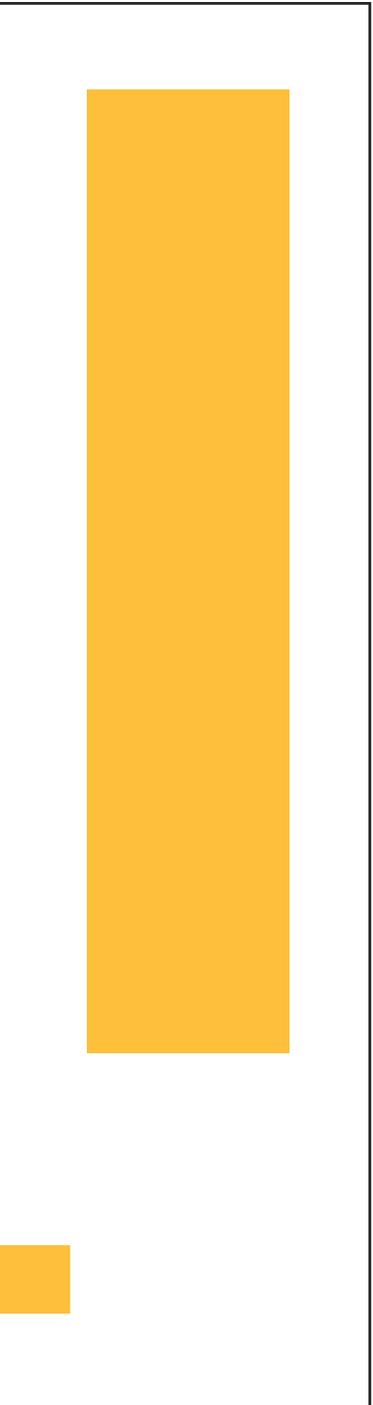




Imagen 2: Afectado por el terremoto Haití visita iglesia en Puerto Príncipe. Fuente: [www.huffingtonpost.es](http://www.huffingtonpost.es)



# CAPÍTULO II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

## 2.0 Acercamiento a la investigación

El escenario de pérdidas debido a un terremoto que afecte una ciudad, depende de muchas variables, algunas de las cuales están asociadas al fenómeno mismo (por ej., características del sismo, duración, trayectoria, distancia hipo-central, etc.). Existen variables relacionadas con el entorno y ubicación de las edificaciones como tipo y característica de los suelos, topografía, etc.; Otras variables directamente dependientes de las características físicas y dinámicas de las edificaciones existentes como materiales y configuración estructural.

Desde un punto de vista, la evaluación del posible escenario de pérdidas por sismo en un centro urbano depende de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad del escenario a dicha amenaza. Concretamente, la obtención de la vulnerabilidad requiere la determinación del grado de susceptibilidad que determina la posibilidad de ser o no afectado por la amenaza. Para escenarios urbanos se debe por lo tanto determinar no solamente el tipo y características de la amenaza potencial sobre la ciudad, sino también la respuesta y el nivel de daños de la misma.

En ese sentido, Martha Carreño (CARREÑO, 2010) docente de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Catalunya a través de su tesis doctoral: "Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: acciones "ex ante y ex post", realiza un recorrido descriptivo de técnicas que se refieren a la evaluación del riesgo sísmico y su gestión como un elemento concertado en dos etapas, compuesta por acciones, que parten de la interpretación de medidas estructurales y no estructurales tratadas por los Sistemas Nacionales de Gestión. Dichas medidas corresponden a una diversidad de acciones que, según algunos autores se pueden asociar a etapas de carácter administrativo o a una secuencia cíclica que se repite entre desastres, antes y después de su ocurrencia. Esta secuencia la constituyen la prevención, la mitigación, la preparación, la alerta, la respuesta, la rehabilitación y la reconstrucción. Este orden fue denominado ciclo de los desastres y fue planteado por la Universidad de Wisconsin. Reconociéndose en general como medidas de reducción de riesgo las acciones ex ante, es decir aquellas que se realizan con anterioridad a la ocurrencia de los desastres, con el fin de evitar que dichos desastres se presenten y/o para disminuir sus efectos. Los términos de prevención pretenden reducir los factores de amenaza y vulnerabilidad en la sociedad y así reducir la posibilidad o la magnitud de futuros desastres o daños.



Imagen 3



Imagen 4

Imagen 3: Deslizamiento de tierra en la carretera entre la comunidad del Valle du Jacmel y Benetm, en el departamento del Sud Est. Haití. (2010) Recuperado de [www.es.wfp.org](http://www.es.wfp.org)

Imagen 4: Tsunami impacta el norte de Japón. (2011). Recuperado de [www.bbc.com](http://www.bbc.com)

Imagen 5: Incendio tras el terremoto de San Francisco. (1906). Recuperado de [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

Imagen 6: Colapso estructural del Palacio Presidencial de Haití. (2010). Recuperado de [www.archvys.com](http://www.archvys.com)

Imagen 7: Haitianos caminan entre los escombros luego del terremoto. (2010). Recuperado de [www.ehacional.com.do](http://www.ehacional.com.do)



Imagen 5



Imagen 6



Imagen 7

La fase de preparación comprende actividades que promueven mejores opciones y prácticas durante la fase previa a un desastre o una vez impactada una sociedad por un evento físico determinado. Por otra parte, las acciones *ex post* que corresponden a la gestión de los desastres. Estas son la respuesta en caso de emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción.

Dentro de las acciones *ex ante* se han hecho muchos estudios que han tratado el problema del riesgo parcialmente, o con enfoques específicos de alguna disciplina. Las evaluaciones de carácter técnico suelen ser vistas como ingenuas desde la perspectiva social, debido al enfoque científico limitado a aspectos técnicos que le ha dado la ingeniería a este tipo de estimaciones.

Sin embargo, las metodologías de evaluación han demostrado en muchos casos su utilidad práctica. Por otra parte, los ingenieros suelen hacer críticas a los enfoques y análisis de los investigadores que pertenecen al campo de las ciencias sociales, debido a que sus planteamientos son básicamente opiniones críticas y, en muchos casos, tan amplios que no se concretan en soluciones o medidas prácticas que orienten la gestión preventiva.

Existe una necesidad de metodologías que enfoquen la evaluación del riesgo sísmico en forma integral y multidisciplinar, y que evalúe de manera conjunta el impacto directo y el impacto indirecto de un terremoto o un evento catastrófico.

Existen numerosos trabajos en el tema de evaluación de las edificaciones, su estructura y el daño que se produce cuando son afectadas por terremotos, entendiéndose que en la mayoría de los casos las acciones posteriores se ven influenciadas por soluciones temporales que no han acertado con suficiente seguridad el estado de las edificaciones.

Es aquí donde al aspecto social y natural le corresponde cuadrar su relación de manera colateral, el riesgo sísmico no depende solo del temblor en sí, sino también de la resistencia de los edificios y de las características sociales de su población, teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades sociales, y la gobernabilidad de la ciudad.

#### Factores naturales

Deslizamientos, Tsunamis, Réplicas, Condiciones Climáticas, Hora del Día.

#### Factores generados por el hombre

Materiales Peligrosos, Incendios, Diques, Factores estructurales, Factores no estructurales



Imagen 8. Haitiana prepara galletas de barro para vender, Haití. Fuente: [www.vbrasa.wordpress.com](http://www.vbrasa.wordpress.com)



Imagen 9

La naturaleza como agente activo y el ente social como indicadores se condicionan mutuamente, el desastre<sup>1</sup> es un suceso inevitable sobre el ente social que se interpreta como ente pasivo, es decir, es el producto o materialización de los riesgos existentes. Según Aurelio Ferrero y Daniela Gargantini el primer desastre es la pobreza (FERRERO & GARGANTINI, 2003).

Siendo América Latina una región con altos niveles de pobreza, esta siendo afectada por desastres naturales en forma cada vez más recurrente, lo que se agrava por la creciente intensidad y diversidad de los fenómenos. Una de las principales razones de la vulnerabilidad reside en que los principales sectores de pobreza de las ciudades se sitúan en zonas de alto riesgo, observándose en esta situación un parámetro divisorio entre la ciudad que se rige por la legalidad, la regulación, y los asentamientos informales a los cuales no se les exige una implantación apropiada ni se les requiere la seguridad como principal factor en su habitabilidad.

Se deduce en este caso que el factor que produce la vulnerabilidad es claramente identificable. La problemática se fundamenta en la necesidad de un sistema de prevención efectivo que reflexione sobre las carencias y problemas estructurales, y que no sea considerado para el momento de la catástrofe promoviendo activar mecanismos de rehabilitación o intervención post-sismo, sin quitarle la importancia a estos últimos.

---

Imagen 8: Haitiana prepara "galletas de barro" (2010)  
Recuperado de [www.vbrasa.wordpress.com](http://www.vbrasa.wordpress.com)

Imagen 9: Colapso de asentamientos informales en Puerto Príncipe durante sismo de Enero.(2010)  
Recuperado de [www.pobrezaafricayhaiti.blogspot.com](http://www.pobrezaafricayhaiti.blogspot.com)

<sup>1</sup>Desastre: Concebido como "cualquier fenómeno de origen natural o humano que cambia el medio ambiente, ocupado por una comunidad vulnerable a este fenómeno". Fuente: HIC-DEA Tecnologías para prevenir y mitigar desastres en zonas de alto riesgo, México.

## 2. Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico

### 2.1. Peligrosidad

Según la Unidad de Registro Sísmico de la Universidad de Alicante, la *peligrosidad sísmica* es la probabilidad de que el valor de un cierto parámetro que mide el movimiento del suelo (intensidad, aceleración...) sea superado en un determinado periodo de tiempo, también llamado periodo de exposición.

Por ejemplo, un periodo de retorno de 500 años para un grado de intensidad VII MSK equivale a decir que: hay una probabilidad del 10% de que se produzca un terremoto de intensidad igual o superior al grado VIII en un periodo de exposición de 50 años o bien que la probabilidad anual de que ocurra un terremoto de grado VIII o superior es del 0.2% anual durante el periodo de años definido, es decir, que el suelo no sufra una sacudida superior a una intensidad fijada.

Dado que los parámetros inherentes al movimiento son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, la peligrosidad es a menudo estimada en función de los valores máximos de estos parámetros, denominados habitualmente PGD, PGV, PGA<sup>2</sup>, pero también es habitual su expresión en términos de intensidad macro sísmica, relacionada con la destructividad del terremoto. La elección del parámetro depende de los condicionantes propios de la evaluación y de la aplicación a la que esta vaya dirigida.

Los métodos de evaluación de peligrosidad se clasifican en dos grandes grupos (RODRÍGUEZ, 2013):

**Deterministas:** asumen la hipótesis de estacionalidad de la sismicidad, considerando que los terremotos en el futuro se producirán de forma análoga a como lo hicieron en el pasado y conducen a la estimación de los límites superiores del movimiento, expresados por los valores máximos del parámetro empleado para su descripción.

Estos concluyen, p.e., con una intensidad esperada en el emplazamiento de VIII, que se interpreta como la mayor intensidad que se va a sentir en el mismo como consecuencia de cualquier terremoto en la zona circundante.

**Probabilistas:** Deducen las relaciones de recurrencia de los fenómenos sísmicos de una zona a partir de la información existente en la misma y con ellas obtienen las funciones de probabilidad de los parámetros buscados.

Estas opciones asocian a cada valor del parámetro una probabilidad anual de excedencia, o bien un periodo de retorno, que se define como el valor inverso de esa probabilidad. Así un posible resultado sería una intensidad VIII en el emplazamiento con probabilidad anual de ser superada de 0.002, o bien esa misma intensidad con periodo de retorno de 500 años.

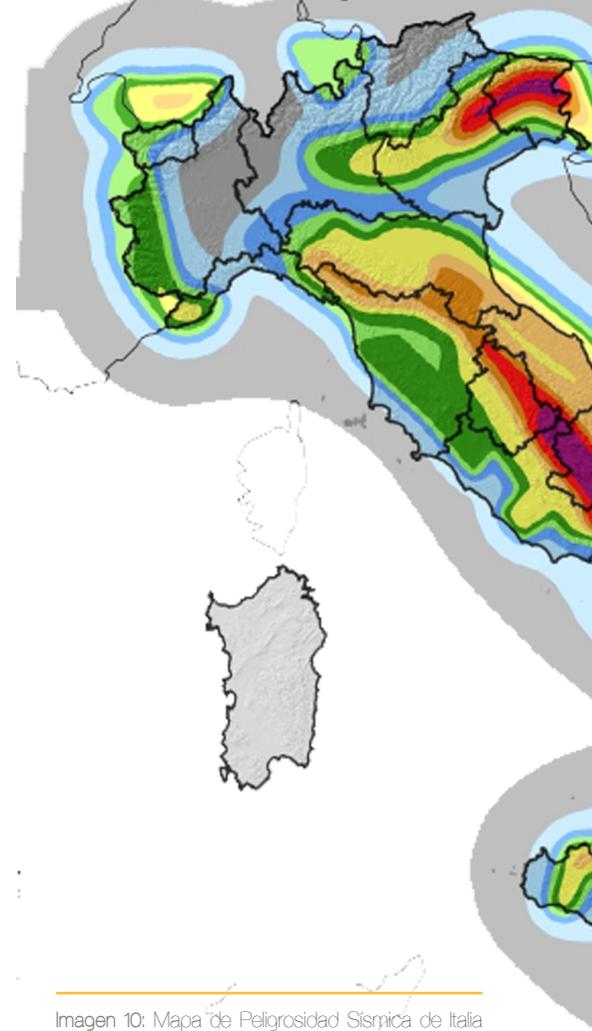
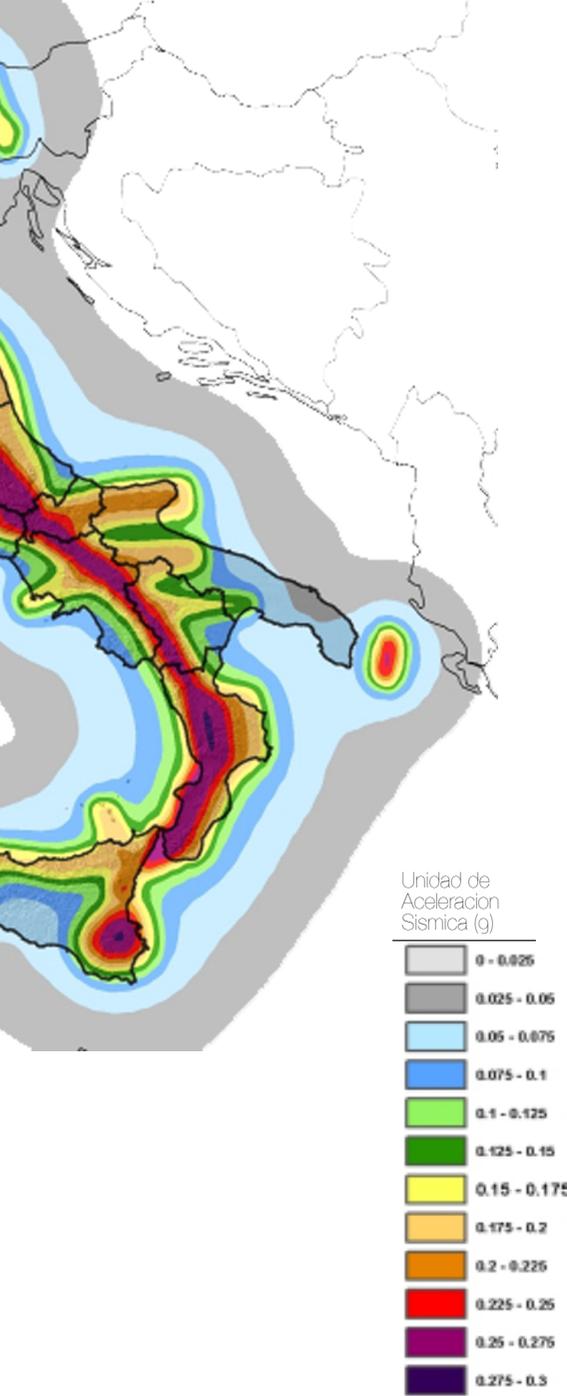


Imagen 10: Mapa de Peligrosidad Sísmica de Italia en unidades de aceleración sísmica, (g) (2012) Recuperado de (ARETXABALA, 2012). *La Sicilia e il rischio sísmico*.

<sup>2</sup> Peak ground displacement (PGD); Peak ground velocity (PGV); Peak ground acceleration (PGA).

<sup>3</sup> Microzonación: consiste en la delimitación, dentro de un territorio, de micro zonas geográficas donde se pronostican respuestas diferentes ante la ocurrencia de un sismo fuerte, producto de contrastes laterales y en profundidad de las características geológicas, hidroclógicas y geo morfológicas locales y su transcripción en regulaciones o documentos normativos que rijan la planificación del desarrollo constructivo de un territorio. (2008). MACAU, A. *Microzonación sísmica*.



En contra de lo que intuitivamente cabe suponer, el periodo de retorno no indica el intervalo de tiempo promedio entre dos terremotos que generan esa intensidad, sino el periodo de años en el que se espera que la intensidad del movimiento sobrepase el nivel de referencia, con probabilidad del 64%.

Los resultados obtenidos del análisis dependen del método elegido y de la extensión del estudio. La apropiada evaluación de la peligrosidad debe considerar dos aspectos importantes de la zona de estudio: la sismicidad de la región circundante o área de influencia, con identificación de zonas sísmicas en la misma y la atenuación sísmica regional.

Combinando los dos aspectos se llega a determinar la intensidad del movimiento en un emplazamiento como consecuencia de los terremotos que puedan afectar al mismo, integrando el efecto de la fuente y la propagación de energía de esta al emplazamiento.

Si no se introduce expresamente el efecto local del suelo en el movimiento, este se considera caracterizado en roca o suelo duro, siendo así el tratamiento que se sigue generalmente en estudios de peligrosidad regional.

Quando la estimación se realiza en un emplazamiento específico, es necesario cuantificar la amplificación local y aplicarla a los resultados anteriores para obtener intensidades del movimiento que incluyan este efecto. Esta situación se aborda por medio de estudios de microzonación<sup>3</sup>. Específicamente, en el planeamiento urbano, los mapas de microzonación sísmica posibilitan reducir los costos por concepto de protecciones antisísmicas.

## 2.1.a. Información a considerar y fases a seguir en la evaluación de la peligrosidad

La predicción del movimiento en un emplazamiento dado requiere agregar la contribución de los tres factores que intervienen: radiación generada en la fuente, propagación a través del medio y efecto local del suelo en el emplazamiento en cuestión.

Para tener en cuenta el término fuente se analiza la sismicidad de la región de influencia para un emplazamiento dado, se identifican las fallas activas en la misma y las zonas sísmo genéticas, y éstas se caracterizan por las leyes de recurrencia de la sismicidad asociada o por los máximos sismos potenciales.

De esta forma se contempla la actividad de las fuentes que pueden generar movimiento en un emplazamiento dado: caracterizando tanto el tamaño como la distribución espacio-temporal de los sismos que ocurren en ellas. El segundo aspecto que contribuye al movimiento es la propagación de las ondas a través de la trayectoria, desde la fuente hasta el emplazamiento donde se realiza la predicción (RODRIGUEZ, 2013).

En el trayecto la energía se atenúa, más o menos dependiendo del medio, y por ello es conveniente contemplar este hecho estimando leyes de atenuación específicas para cada zona. Aplicando las leyes de atenuación con la distancia a los movimientos generados en las zonas fuente de los terremotos, es posible determinar el movimiento esperado en un cierto emplazamiento y a cierta distancia de la fuente; siempre que éste se localice en roca o suelo duro y no se encuentre en una irregularidad topográfica, en cuyo caso el propio emplazamiento no introduce una amplificación local al movimiento.

Si la composición del suelo bajo el emplazamiento es diferente a roca o existe una topografía irregular, para realizar una predicción realista del movimiento hay que considerar el tercer factor integrante de la agitación, es decir, el efecto local, que puede amplificar o de-amplificar notablemente la radiación incidente en la base rocosa.

El conocimiento de la sismicidad de la región donde se quiere predecir el movimiento es el primer paso a seguir en todo estudio de peligrosidad; es necesario conocer bien la ocurrencia de terremotos en el pasado, para poder predecirla en el futuro. Es necesario que de manera previa se defina el alcance de la zona cuya sismicidad podría afectar de manera directa o indirecta un determinado emplazamiento.

Considerando que la mayoría de las normativas delimitan un área de influencia en un círculo de 300 km en torno al punto que se pretende evaluar e imponen el análisis de la sismicidad en la región comprendida dentro del mismo (BENITO, 1998). Esta área suele ser suficiente, aunque a veces se presentan excepciones, como es el caso del Sudoeste de la Península Ibérica, cuyo estudio requiere una ampliación de la zona hasta englobar la estructura tectónica de Azores-Gibraltar.

Los terremotos originados en ésta han hecho sentir sus efectos en casi toda la península debido a su baja atenuación y han sido determinantes en la peligrosidad del Sudoeste a distancias superiores, en ocasiones, a los 400 km del epicentro. De ahí la necesidad de ampliar el radio de la zona en los correspondientes estudios.

Una vez definida el área de influencia, es necesario recopilar toda la información existente sobre los terremotos con epicentro en ella:

- Catálogos instrumentales y macrosísmicos
- Documentos de sismicidad histórica
- Mapas isosistas<sup>4</sup>

De esta información se extraen los datos referentes a parámetros de localización y tamaño, profundidad focal, área de réplicas de los mayores terremotos, y frecuencia de ocurrencia de sismos para distintos niveles de intensidad o magnitud, quedando así caracterizada la sismicidad de la zona, para proceder después, en fases sucesivas, a determinar las características de los movimientos que se pueden generar.

Se identifica una falla como activa cuando existe evidencia de alineación de epicentros a lo largo de la falla.

Imagen 11: Mapa isosista Terremoto del 6 de Mayo de 1951, El Salvador. (1987) ALVAREZ, S. *Informe Técnico-Sismológico del Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986.*

Imagen 12: Mapa isosista Terremoto del 3 de Junio de 1965, El Salvador. (1987) ALVAREZ, S. *Informe Técnico-Sismológico del Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986.*

Imagen 13: Mapa isosista Terremoto del 19 de Junio de 1982, El Salvador. (1982) ALVAREZ, S. *Informe Técnico-Sismológico del Terremoto en El Salvador del 19 de junio de 1982.*

<sup>4</sup>Mapas isosistas: representan curvas con igual nivel de intensidad a partir de observaciones de un evento en particular. La escala de intensidades utilizada es la Mercalli Modificada (MM). (2008). Recuperado de [www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv)

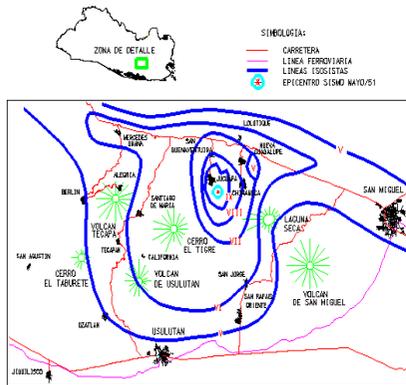


Imagen 11

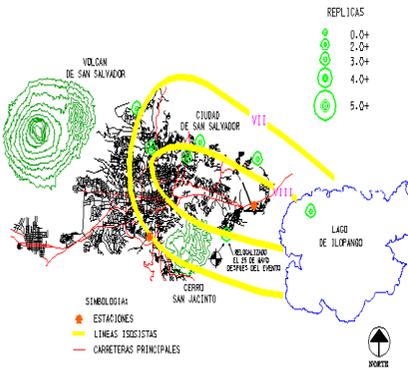


Imagen 12

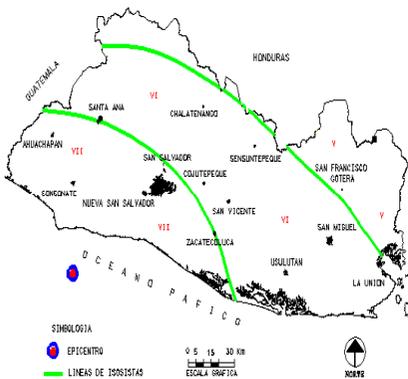


Imagen 13

Los catálogos instrumentales y macrosísmicos son las fuentes de información más objetiva para conocer con certeza el comportamiento sísmico de la mayoría de los lugares de este siglo, estos se pueden encontrar en instituciones a nivel nacional o regional. Los resultados de estos catálogos deben sustentarse con los contenidos de documentos históricos comprando la autenticidad de los mismos con la ayuda de historiadores.

Otro recurso son los mapas isosistas, estos son mapas que reflejan las intensidades sentidas de un terremoto o de distribuciones de daños que son de particular interés, ya que indican la extensión geográfica de los daños y su variación. Partiendo de que el nivel mas alto es el de la intensidad epicentral  $I_0$  y este se encarga de reflejar la severidad del terremoto. Por medio de mapas de  $I_0$  y se indica la localización de fuentes de los sismos más severos de una zona o región específica.

La situación actual con relación a los mapas isosistas es que en la mayoría de los territorios se posee mapas con un intervalo de tiempo entre 300 y 400 años, por lo que es difícil asegurar que los terremotos en el futuro se desarrollen dentro de las zonas indicadas, ya que puede que en ellas no estén contempladas mayores sismos ocurridos.

## 2.1.b. Identificación de características sismo tectónicas

La sismicidad previamente analizada debe ser relacionada con la tectónica de la zona, esta acción tiene como objetivo principal identificar las fallas activas de la región y las zonas sismo genéticas, de potencial sísmico uniforme; así como los máximos sismos potenciales asociados a ellas y las leyes de recurrencia que gobiernan la sismicidad. Estos datos caracterizaran el termino "Fuente" y serán una información de partida en toda evaluación de peligrosidad (BENITO, 1998).

### Pasos para la identificación

#### Fallas activas y zonas sismogenéticas

En primer lugar se identifican las fallas y estructuras tectónicas en la zona, para proceder después a analizar su posible asociación con la sismicidad observada. Si se encuentran evidencias de correlación entre sismos y estructuras, pueden identificarse como fallas activas.

La normativa nuclear define también fuentes sismo tectónicas capaces, como aquellas que presentan deformación en superficie o cerca de ella debido a movimientos en los últimos 500,000 años, o al menos un movimiento en los últimos 50,000 años, según el criterio de la USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission), 1997.

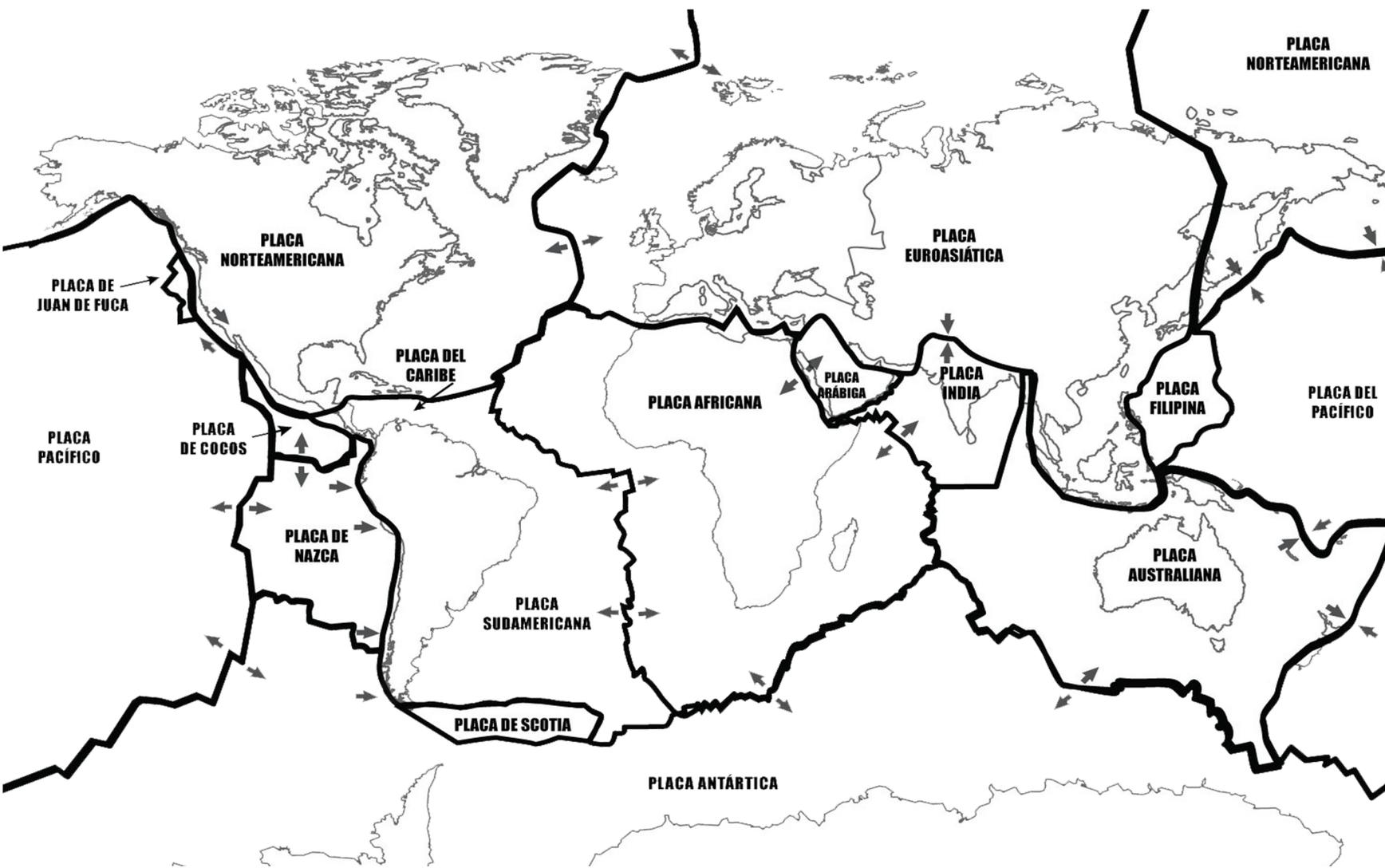


Imagen 14: Representación gráfica de la distribución de placas tectónicas del mundo. Fuente: [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

Es importante trazar todas las fallas activas, representando su tamaño, orientación y características, la distribución de los esfuerzos que indican los puntos con mayor probabilidad de ocurrencia de sismos y el terremoto característico, o máximo generado en la falla, cuya determinación más fiable requiere estudios de paleosismicidad (MILLAMOR & BERRYMAN, 1999).

Es importante destacar que para el análisis de áreas con instalaciones nucleares o almacenes de residuos radiactivos, es necesario un análisis más detallado del emplazamiento. Sin embargo, en un ámbito más general, esta fase del estudio se realiza normalmente con menor detalle, considerando la información contenida en mapas geológicos, estructurales, geomorfológicos, etc.

Pero son pocos los casos en los que la sismicidad observada puede asociarse a una línea o plano de falla, siendo más normal que los terremotos ocurran dentro de sistemas de fallas de mayor extensión; es decir, áreas de fallas múltiples, donde se agrupa la sismicidad.

Estas áreas pueden ser definidas como zonas fuente, dentro de las cuales la sismicidad se asume uniforme. Identificando los límites de estas zonas se definen las "zonas sísmogenéticas", capaces de generar terremotos de características similares en cualquier punto de las mismas.

En el interior de cada zona se considera que la sismicidad se distribuye de forma uniforme, espacial y temporalmente, ajustándose a un *modelo de Poisson*<sup>6</sup>. En base a estas hipótesis la identificación de los límites debe hacerse con un cuidadoso estudio sísmico y geológico, y no deja de ser un proceso subjetivo que conlleva gran incertidumbre y que tiene un efecto muy significativo en la peligrosidad de emplazamientos cerca de esas fuentes.

Por ello es recomendable considerar un rango de variabilidad en los límites de las zonas, en lugar de delinear contornos exactos, e incorporar las incertidumbres en el estudio completo de peligrosidad (BENDER & PERKINS, 1982). Una vez realizada la compartimentación sismotectónica, la información necesaria de las zonas para continuar el resto del estudio depende del carácter determinista o probabilista del mismo.

Los métodos deterministas requieren tan solo el conocimiento del *máximo sismo potencial o del terremoto característico*<sup>7</sup>, mientras que los probabilistas necesitan la estimación previa de leyes de recurrencia de los sismos en cada falla o zona de sísmo genética.

### Atenuación Sísmica Regional

El segundo factor integrante de la agitación es la propagación de ondas a lo largo de la trayectoria desde la fuente hasta el emplazamiento. Este se aborda en estudios de peligrosidad determinando la atenuación sísmica regional. La amplitud de las ondas se atenúa en su propagación como consecuencia de la expansión geométrica del frente de ondas y de la anelasticidad<sup>7</sup> del medio.

"Se puede ligeramente mayorar si no se tienen los datos exactos del máximo sismo histórico, aumentando el *p.e.*, un grado de intensidad o medio grado su magnitud, considerando el potencial sísmico de la zona."

Imagen 14: Representación gráfica de la distribución de las placas tectónicas. (2014). Recuperado de [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

<sup>6</sup> Modelo de Poisson: La distribución de Poisson es junto con la distribución binomial, una de las más importantes es la distribución de probabilidad para variables discretas, es decir, sólo puede tomar los valores 0, 1, 2, 3, 4. GUERRIERO, V., *Power Law Distribution: Method of Multi-scale Inferential Statistics*

<sup>7</sup> Máximo sismo potencial o terremoto característico: es el mayor que puede esperarse en una estructura o zona y para determinarlo debe conocerse el máximo ocurrido en el pasado. (2002) MENA U, *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*.

<sup>7</sup> Anelasticidad: Comportamiento de un cuerpo que no presenta una elasticidad perfecta, pues no recupera la forma y dimensiones que tenía previamente a la sollicitación. (1990) ANDERSON et al. *Materials Science*.

## Efecto del Suelo

Cuando la predicción se realiza teniendo solamente en cuenta los aspectos anteriores, fuente y propagación, el movimiento queda caracterizado en roca o suelo duro, sin que intervengan efectos locales. Pero cuando el movimiento se produce en otro tiempo de emplazamientos, suelos con espesor variable de sedimentos o en ciertas irregularidades topográficas, es necesario tener en cuenta la influencia de las condiciones locales, esencialmente geología superficial y topografía.

Ha quedado demostrado en muchos terremotos recientes que este efecto local puede introducir un factor de amplificación altamente significativo, llegando a multiplicar por 5 la aceleración pico, respecto a la registrada en roca, o bien a aumentar 3 grados la intensidad macrosísmica. La influencia de estos factores en la peligrosidad se aborda usualmente por medio de estudios de microzonación.

La amplificación local del suelo no afecta igual a las diferentes amplitudes del movimiento, encontrándose factores de amplificación variables para las distintas frecuencias. Los suelos blandos presentan baja frecuencia propia, y tienden a amplificar más las frecuencias de este orden, filtrando en cambio las altas frecuencias del movimiento. Por ello, los factores de amplificación de estos suelos son mayores para aceleraciones espectrales de baja frecuencia o para el desplazamiento y la velocidad pico, de menor contenido frecuencial que la aceleración pico, *PGA* (BARBAT, 1996).

En estudios de peligrosidad, los efectos del emplazamiento son a menudo introducidos en las leyes de atenuación, que se formulan para tres tipos de suelos: roca, aluvión superficial (suelo intermedio) y aluvión profundo (suelo blando).

## Escenarios de Peligrosidad

Al momento de tomar en consideración el diseño antisísmico es necesario considerar la peligrosidad del lugar dada en forma de historias temporales de la aceleración, es decir, conocer el patrón histórico de aceleraciones por la cual ha pasado dicho emplazamiento. Esto se puede lograr por medio de la utilización de acelerogramas de terremotos reales, que puedan representar el movimiento esperado y esto permite definir escenarios de peligrosidad.

Estos escenarios representan un evento de una magnitud particular y una cierta localización que se representa en la mayoría de los casos por un par magnitud-distancia. Cuando se expresa así la peligrosidad, no se integra la acción de todas las fuentes en un mismo emplazamiento, sino que se separa la contribución de las zonas más influyentes y se representa el movimiento generado por cada una de ellas. Esta nueva solución alternativa al cálculo de la peligrosidad total, resulta más realista para aplicaciones de diseño sismorresistente (BOOMER & MARTÍNEZ-PEREIRA, 1998).

El efecto de incluir varias fuentes hace crecer la tasa asociada al movimiento para un cierto nivel de peligrosidad, pero una estructura es diseñada para resistir únicamente un terremoto, no para una serie de terremotos originados en varias fuentes que se produzcan simultáneamente.

---

Imagen 15: Mapa de las zonas sísmicas de Catalunya (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat](http://www.igc.cat)

Imagen 16: Mapa de zonas sísmicas que resulta de considerar el efecto del suelo (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat](http://www.igc.cat)

Imagen 17: Mapa de vulnerabilidad sísmica por daños en edificaciones (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat](http://www.igc.cat)

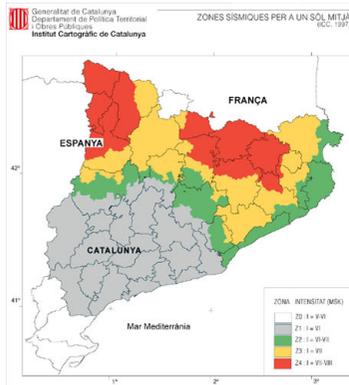


Imagen 15

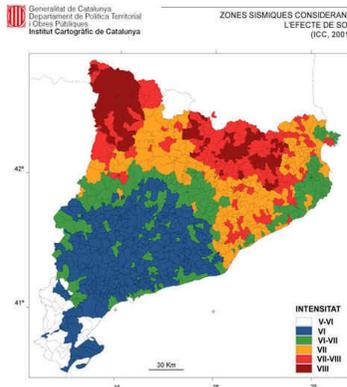


Imagen 16

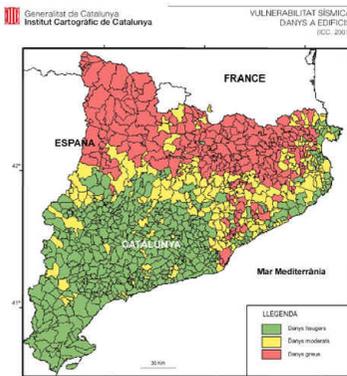


Imagen 17

## Quantificación de Incertidumbres

El proceso de estimación de la peligrosidad conlleva numerosas incertidumbres de diferente naturaleza, que hacen que los resultados finales se vean afectados de mayor o menor grado de desviación. La cuantificación de estas incertidumbres es importante para dar, como resultado de la predicción del movimiento, un valor del parámetro característico junto con el error en su estimación.

Existen esencialmente dos tipos de incertidumbres:

- Epistemológicas: inherentes al modelo asumido para la predicción del movimiento, que sólo podrían estimarse si se conociera el modelo real.
- Aleatorias: asociadas a errores en la estimación de parámetros de un determinado modelo. Pueden reducirse aumentando la cantidad y calidad de los datos existentes para estimar con mayor precisión dichos parámetros.

Ambos tipos de incertidumbres se presentan en las diferentes fases de cálculo de la peligrosidad:

- Definición de zonas sismogénicas y relaciones de recurrencia.
- Leyes de atenuación.
- Efecto de las condiciones locales del emplazamiento.

La cuantificación de las incertidumbres ha sido objeto de numerosos estudios (TORO & ABRAHAMSON, 1997) y es cada vez más generalizado el tratamiento conjunto de incertidumbres sistemáticas y aleatorias, existiendo actualmente numerosos algoritmos para su estimación junto con los resultados de peligrosidad (WOO, 1992). La aplicación formal del juicio de expertos está siendo cada día más frecuente para evaluar fenómenos relacionados con la seguridad, en los que la base del conocimiento no resulta suficientemente amplia. Este es el caso de la peligrosidad sísmica, donde se tiene una importante laguna del conocimiento y donde además se requiere un control de incertidumbres que no puede resolverse por métodos clásicos.

El juicio estructurado de expertos es un proceso formal en el que la opinión de éstos es obtenida y calibrada en un protocolo que sigue las siguientes fases:

- 1) Selección del equipo de expertos a opinar sobre distintas cuestiones relativas al problema, ingenieros, sismólogos, geólogos, etc.

- 2) Descomposición del problema en sus diferentes aspectos. En el caso de la peligrosidad se discuten la zonificación sismogénica, la parametrización de modelos de recurrencia y la estimación de leyes de atenuación, fundamentalmente.
- 3) Identificación de las fuentes de información, considerando la documentación y datos relevantes sobre la cuestión a tratar.
- 4) Entrenamiento, familiarizando a los expertos con los procesos de objetivación de este protocolo.
- 5) Obtención de la opinión de expertos, que deberá ser emitida finalmente de manera pre-establecida por medio de cuestionarios.
- 6) Cambio de opiniones: se agregarán las evaluaciones individuales y tras una serie de discursos se emitirá una opinión global, que caracterice de forma adecuada la incertidumbre existente en el tema.
- 7) Documentación del proceso, obteniendo un informe que recoja todos los aspectos en la ejecución del mismo y los resultados.

El juicio de expertos fue practicado por primera vez en estimaciones de peligrosidad sísmica por el *Electric Power Research Institute*, en 1986, (EPRI, 1986). El juicio de expertos es requerido, fundamentalmente, en estudios de seguridad destinados al diseño de instalaciones críticas, donde el nivel de riesgo aceptable es muy pequeño y se requiere un buen conocimiento de la incertidumbre.

### Resultados de la Evaluación de Peligrosidad

Los resultados de toda evaluación de peligrosidad dependen del parámetro que representa el movimiento, de la extensión del estudio y la aplicación a la que vaya dirigida.

Para fines de diseño antisísmico, la peligrosidad debe ser expresada en términos de parámetros que definen las cargas sísmicas. El más comúnmente usado para ellos es la aceleración pico (*PGA*), que presenta cierta correlación con el daño causado. Sin embargo, la *PGA* no tiene en cuenta el contenido frecuencial del movimiento y es independiente de la duración de la sacudida, que puede ser determinante de la respuesta dinámica de la estructura.

Por ello, cobran cada vez más importancia los estudios de peligrosidad en términos de ordenadas espectrales de aceleración (*SA(w)*), para diferentes frecuencias del movimiento. En cualquier caso, la estimación de la peligrosidad en función de estos parámetros es problemática cuando no se tienen suficientes registros de movimiento fuerte del suelo.

En zonas de moderada sismicidad, es generalizado el uso de intensidad macrosísmica (*I*), como medida de la peligrosidad, siendo además un parámetro adecuado para aplicaciones dirigidas a estimaciones de pérdidas.

Si el estudio se realiza en un emplazamiento específico, los resultados serán los valores máximos de los parámetros empleados (*P.E.*),  $I_{max}$  o  $PGA_{max}$ , o bien, las curvas de probabilidad de superación de diferentes valores de ese parámetro, en términos de probabilidad anual de excedencia o de periodo de retorno. Cuando la peligrosidad se evalúa en un área extensa, los valores del parámetro elegido se representan en mapas de isolinneas, que muestran la variación regional de la peligrosidad para un periodo de retorno dado, sin tener explícitamente en cuenta las condiciones locales.

---

Imagen 18: Mapa de peligrosidad sísmica (2011).  
 Terremotos: actividad sísmica de Baleares.  
 Recuperado de [www.elmundo.es](http://www.elmundo.es)

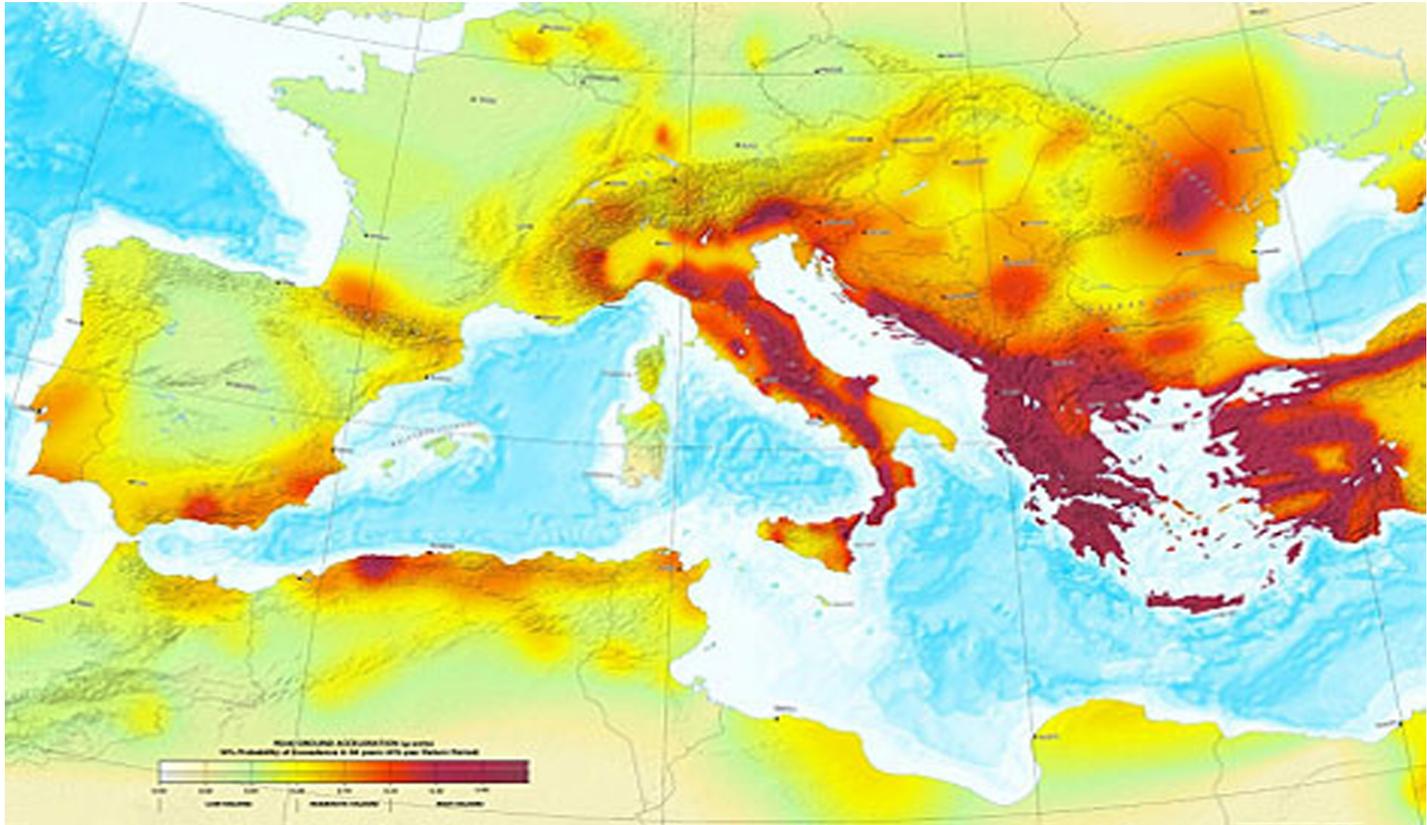
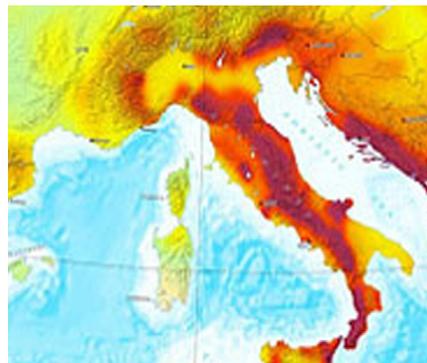
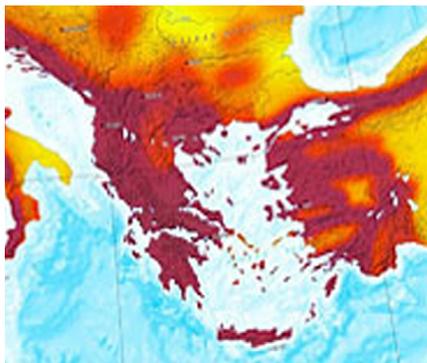
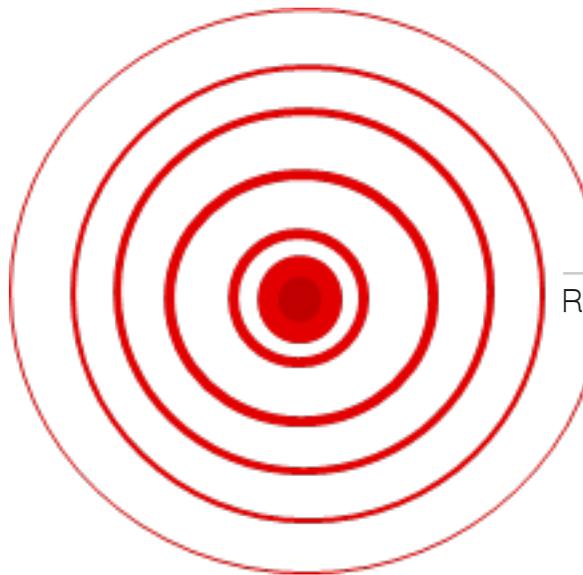


Imagen 18





---

Recapitulaciones y observaciones

PELIGROSIDAD SÍSMICA



Estos diferentes aspectos de identificación permiten concretizar y estimar las fuerzas o el conjunto de acciones esperadas que podrían afectar en un tiempo determinado el suelo de una zona. Considerando primordialmente las cualidades de la misma y el análisis de los sismos ocurridos anteriormente.

Esto sirve para tener una información accesible (que se puede manifestar gráfica o teóricamente) y clara sobre las condiciones sísmicas de una región, permitiendo al gobierno de la ciudad manifestar al ciudadano las posibilidades de ocurrencia de un sismo a través del patrón histórico de aceleración del territorio.

Así mismo, conocer la frecuencia con la que un terremoto ocurre en una zona estipulada y la magnitud con la que se puede y suele producir, determinando su tamaño en base al cálculo de la energía que éste libere partiendo de su magnitud y su intensidad.

Gracias a estas informaciones se plantean áreas con alta, moderada o baja probabilidad de ocurrencia y a partir de las cuales de acuerdo con la situación constructiva se procede a determinar la peligrosidad del territorio. Al mismo tiempo, desde el punto de vista de mitigación del riesgo se reconocen zonas (vulnerables) en las cuales se debe tomar en cuenta cualidades estructurales con coeficientes de seguridad significativos que sirvan para prevenir los daños o colapso de las edificaciones.

De acuerdo con los datos expuestos, los resultados del patrón histórico de ocurrencia en conjunto con los datos característicos de los distintos sismos ocurridos en una región y las informaciones sismogénicas, la peligrosidad sísmica de una territorio no cambia con el tiempo, mientras que el riesgo sísmico si puede variar si aumenta la vulnerabilidad de las construcciones.

## 2.2. Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad puede utilizarse no solo para describir aspectos estructurales sino también para describir aspectos no estructurales, funcionales, operativos, entre otros.

En este sentido, es necesario aclarar el tipo de afectación o daño que se considera en la evaluación de vulnerabilidad. La vulnerabilidad estructural, se produce cuando los edificios se construyen en base a proyectos y materiales que son insuficientes para resistir a las tensiones extremas (por ejemplo, fuertes vientos, presiones, hidroestáticas, o sacudidas sísmicas) (LINDELL et al , 2007).

El concepto de vulnerabilidad ha sido ampliamente desarrollado en diferentes investigaciones. La definición más aceptada de *vulnerabilidad física* indica que es la propensión de un sistema a sufrir daños debido a su interacción con procesos externos e internos, potencialmente peligrosos. Es una propiedad relativa de los sistemas, esto significa que el grado de vulnerabilidad depende de la amenaza a la que esté expuesto el sistema.

En este sentido, un sistema puede ser más vulnerable a un fenómeno que a otro. Mientras que la vulnerabilidad social es el grado de daños que pueden sufrir, debido a cierta amenaza, los grupos humanos asentados en un lugar específico, en función de un conjunto de factores socio económicos y culturales (CEPAL, 2005); al respecto (BARBAT et al, 2010) expresan que la vulnerabilidad puede definirse como un factor de riesgo interno de un elemento expuesto a eventos de peligro, y corresponde a su predisposición intrínseca a ser afectado o ser susceptible de sufrir daños.

En otras palabras, la vulnerabilidad física, económica, política o de sensibilidad social, es la predisposición de una comunidad a sufrir daños en el caso de que ocurra un evento de amenaza de origen natural o antropogénico.

Las diferencias expuestas en la vulnerabilidad social y en el contexto material determinan la severidad y el carácter selectivo de los efectos asociados a un evento en particular. Por otra parte, (SANDI et al , 2008) y otros expresan una definición cualitativa de la vulnerabilidad sísmica como: "la predisposición de una categoría de elementos en riesgo de sufrir efectos adversos causados por terremotos potenciales".



Imagen 19



Imagen 20



Imagen 21



Las mejoras necesarias se refieren esencialmente a:

- La caracterización de los elementos en riesgo, que se investigarán.
- La caracterización de la acción sísmica y la cuantificación de su severidad.
- La caracterización de los posibles efectos del terremoto y la cuantificación de su severidad.
- La caracterización de la predisposición a que aparezcan efectos de diferentes niveles de severidad, como función de la acción sísmica.

Así mismo, (BONETT, 2003) considera que un estudio de vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, lo cual está condicionado por varios factores, tales como: el tipo de daño que se pretende evaluar, el nivel de amenaza existente en la zona, la información disponible sobre la estructuras y los datos relacionados con los daños observados durante sismos que han afectado la zona de interés.

Una vez definidos estos factores, según (YÉPEZ et al, 1996) el objetivo de los estudios de vulnerabilidades determinar el daño esperado en una estructura, en un grupo de estructuras o en toda una zona urbana, suponiendo que llegue a ocurrir un sismo de determinadas características. Conocido el daño esperado, buscar soluciones para reducirlo y lograr disminuir en gran medida las pérdidas que pudiese ocasionar un futuro terremoto.

Estas soluciones repercutirán un coste económico, el cual se podrá contrastar con los costes de las pérdidas esperadas, para así decidir si es justificable realizar inversiones de mejora y reforzamiento de dichas estructuras. Por este motivo, los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen, conjuntamente con los estudios de amenaza o peligrosidad, uno de los factores determinantes del *riesgo sísmico específico*, el cual representa la probabilidad total de que una estructura sufra varios niveles de daño durante un periodo específico de tiempo.

## 2.2.1 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Partiendo de las posibilidades las evaluaciones de vulnerabilidad dentro de un área urbana se puede realizar por medio de modelos numéricos del daño físico de las estructuras, analizando la situación de los edificios existentes o realizando simulaciones para conocer el comportamiento que tendría determinada edificación al momento de presentarse un sismo con determinada intensidad. Es de aquí de donde se obtienen conclusiones a partir de la *vulnerabilidad observada* y la *vulnerabilidad calculada*, siendo la primera obtenida por la observación de daños posteriores a un terremoto y la segunda obtenida mediante un análisis matemático en ensayos de laboratorio y cuyo resultado es probabilístico.



Imagen 22

Imagen 19: Colapso de vivienda de 2 niveles durante terremoto de Haití por mala ubicación de pilares. (2010) SALDARRIAGA, L. *Lesiones de los terremotos de Haití y Chile*. Recuperado de [www.desdelavegardubsolis.blogspot.com.es](http://www.desdelavegardubsolis.blogspot.com.es)

Imagen 20: Vulnerabilidad estructural (2014). Plan Lima y Callao 2035. Municipalidad metropolitana de Lima, Perú. Recuperado de [www.plam2035.gob.pe](http://www.plam2035.gob.pe)

Imagen 21: Densidad poblacional en Gamarra, San Cosme y El Pino de Lima, Perú. (2014). Plan Lima y Callao 2035. Municipalidad metropolitana de Lima, Perú. Recuperado de [www.plam2035.gob.pe](http://www.plam2035.gob.pe)

Imagen 22: Edificio construido a base de anexos en el barrio Petares de Caracas, Venezuela. (2008). Ciudad barrio. Recuperado de [www.cafedelasciudades.com.ar](http://www.cafedelasciudades.com.ar)



Imagen 23: Un barranco de limones en Guatemala. Fuente: [www.plataformaurbana.cl](http://www.plataformaurbana.cl)

Desde hace años diferentes investigadores han desarrollado distintas formas para sistematizar los métodos y técnicas para evaluar la vulnerabilidad sísmica, con el objetivo de predecir el daño que provocaría un sismo con la menor incertidumbre posible.

Es importante al momento de utilizar o investigar sobre alguno de estos sistemas tener claro que difieren debido a los diferentes niveles de dependencia de los siguientes factores: naturaleza y objetivo de la evaluación, calidad y disponibilidad de la información, las características de los edificios inspeccionados, la escala de evaluación, los criterios de la metodología, el grado de fiabilidad de los resultados esperados y el uso por el usuario final de la información producida.

Básicamente son considerables a fines de evaluación las investigaciones de (BONETT, 2003), (SAFINA, 2003) y (MICENTE et al, 2011), las mismas parten de clasificaciones importantes establecidas a partir de las investigaciones de (CORSANEGRO & PETRINI, 1990) y de (DOLCE et al, 1994).

Por otra parte, las técnicas de evaluación de vulnerabilidad y riesgo sísmico en la actualidad se han visto motivadas por las actuaciones post sismo. Debido a esto se presenta la necesidad de crear técnicas de evaluación preventivas. Estas se ponen en práctica a partir de la elaboración de análisis a gran escala o de forma específica en edificaciones por medio de inventarios de los elementos estructurales, analizando la situación en la que se encuentren los mismos.

Estas metodologías se han desarrollado en países como: Chile, Costa Rica, Perú, Colombia y Nicaragua. Creando guías para ser aplicadas específicamente en lugares con escasos recursos, con la intención de que se pueda conocer la vulnerabilidad de los elementos en riesgo. Particularmente en el caso de Costa Rica los planes desarrollados buscan tener un control de las informaciones para dotar a los gobiernos locales de las herramientas necesarias para emprender la gestión de la prevención y mitigación de los desastres.

Se puso en práctica un plan en la municipalidad de Cañas, entre las conclusiones preliminares del proyecto se observaron algunas debilidades no solo en el área de estudio, sino en sentido general en todo el territorio de Costa Rica, relacionadas con poca información sobre variables de amenazas y vulnerabilidad en muchas comunidades, también se encontró entre las instituciones que manejan geo-información la falta de estandarización de los datos geo-referenciados además del uso de formatos y escalas diferentes.

Las evaluaciones de vulnerabilidad según el instituto geofísico de Perú, se deben considerar como primordiales en los países con alta sismicidad especialmente en las áreas que se encuentran pobladas por edificaciones informales, entendiéndose que una solución eficaz para la implementación de los planes de actuación preventivos es estandarizar las plantillas de evaluación de forma que sean lo más sencillas posibles, buscando que respondan con las incertidumbres de vulnerabilidad lo más claro y preciso posible.

Las técnicas de evaluación de vulnerabilidad y riesgo sísmico en la actualidad se han visto motivadas por las actuaciones post sismo. Debido a esto se presenta la necesidad de crear técnicas de evaluación preventivas.

Imagen 23: Asentamientos informales, Guatemala. (2012) RODRÍGUEZ, Y, *Un barranco de limones*. Recuperado de [www.plataformaurbana.cl](http://www.plataformaurbana.cl)

De acuerdo con los distintos planes presentados en países latinoamericanos, el proceso de evaluación se realiza a partir de los siguientes patrones, siempre adaptándose a las cualidades del lugar en el que se encuentre la zona a intervenir, teniendo como objetivo recolectar datos básicos para el manejo de desastres a nivel municipal, con la finalidad de desarrollar una base de datos que contenga el siguiente tipo de información:

- Mapas de amenazas indicando la probabilidad de ocurrencia de fenómenos potencialmente dañinos en un periodo de tiempo dado. Esto es resultado de la generación de mapas de amenazas sísmica para diferentes periodos de recurrencia.
- Una base de datos de elementos en riesgo, enfocando en las edificaciones e infraestructura.
- Análisis de vulnerabilidad de los elementos en riesgo tomando en cuenta la intensidad de los eventos, indicada en los mapas de amenazas, combinado con la información de curvas de daño.
- Estimación de costos para los elementos en riesgo, fundamentalmente para las edificaciones y su contenido.
- Evaluación de riesgo ante amenazas múltiples.

En otro orden, se encuentran las evaluaciones estructurales específicas, las mismas tienen como objetivo principal analizar las edificaciones con la intención de conocer la vulnerabilidad que presenta cada una de manera individual.

En México en el año 2011 el Sistema Nacional de Protección Civil desarrolló un *Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural* (ARAGÓN et al, 2011) en el que se plantean diversos procedimientos para evaluar el nivel de seguridad de las edificaciones existentes, independientemente de que no se haya presentado un evento perturbador, permitiendo determinar el nivel de vulnerabilidad que presenta una estructura ante el sismo máximo probable.

Para el diseño del *Formato de captura de datos para evaluación estructural*, se tomaron en cuenta varios documentos, manuales y escritos varios. Se decidió de acuerdo con sus creadores incluir la mayor cantidad de información en el menor espacio posible. Se concentraron en las cualidades formales del documento como el tamaño de la hoja, y la forma más simple en la que se podría reproducir, incluyendo el tipo de letra.

Así mismo, para mantener los datos lo más concisos posible las opciones se rellenan con datos numéricos o con la selección de casillas. Este protocolo toma en consideración aspectos como la capacitación del personal encuestador, la implementación informática del formato de captura de datos y el diseño de un sistema de inspección para la obtención de los datos detallando los aspectos generales, de uso, características de la estructura, vulnerabilidad, características del sistema estructural, la rehabilitación y los daños generales.



Imagen 24

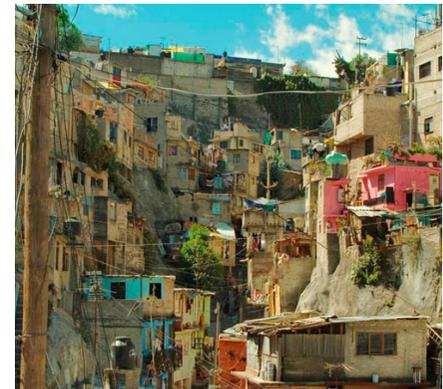


Imagen 25



Imagen 26



## 2.2.2 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad es un factor que requiere de un análisis amplio debido a los argumentos que contiene en sí misma, como elemento catalizador e identificador de las cualidades que constituyen la susceptibilidad, de en este caso, edificaciones frente a una catástrofe natural que se manifiesta espontáneamente y sin previo aviso.

Un aspecto importante dentro de la identificación de factores que impliquen el riesgo sísmico, reside en la metodología de evaluación utilizada en el orden macro o micro, de acuerdo con las investigaciones relacionadas al tema de pre-evaluación de catástrofes.

Existen métodos simplificados, que generalmente son utilizados en lugares de escasos recursos. Un ejemplo del uso de estos sistemas se puede encontrar en Latinoamérica, entendiéndose que estos países en la mayoría de los casos no cuentan con las condiciones apropiadas para realizar un análisis íntegro y detallado de los recursos que indiquen la vulnerabilidad debido a la situación socio-económica y a la falta de información. Esto quiere decir que es necesario implantar métodos de evaluación simples que permitan obtener datos apropiados y de fácil acceso que contribuyan a un análisis correcto y a un resultado que dependiendo de las intenciones se pueda obtener en un tiempo prudente.

La simplicidad es un recurso que sin duda representa un aspecto importante dentro de los métodos de evaluación, esta puede también aplicarse para obtener si se requiere resultados objetivos y con un nivel alto de detalle en los resultados. Indiscutiblemente, cualquier metodología se puede aplicar, siempre que se considere que unas implican grandes gastos, que en algunos casos pueden ser inadmisibles.

Por esta razón, se debe elegir la metodología que mejor se adapte a los objetivos planteados en el estudio de riesgo sísmico, al presupuesto estimado para la elaboración de la evaluación y a la accesibilidad de la información de los elementos que se pretenden estudiar.

A continuación se desarrollaran distintas metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica o calidad estructural de los edificios, con la intención de obtener una tabla que contenga los aspectos positivos, costo, utilización, desventajas, nivel de simplicidad, nivel de detalle, consideración de normativa sismorresistente, consideraciones generales, casos de empleo y de qué manera se obtienen resultados de cada una de estas.

Buscando que se pueda comparar e interpretar de manera sencilla cual de estos posibles métodos es más efectivo de acuerdo con el objetivo de estudio que se vaya a realizar. En el caso de este trabajo de fin de master, se utilizará para el caso de estudio el método del índice de vulnerabilidad desarrollado por (BENEDETTI & PETRINI, 1984), debido a que es el que mejor se adapta a los objetivos del análisis, por lo que se desarrollará de manera más extensa y detallada.

Es indispensable un procedimiento o método ordenado y sistemático que permita proceder para evaluar, analizar e identificar los elementos que compongan el conjunto de cualidades que manifiesten la vulnerabilidad.

**Imagen 24:** Vulnerabilidad física de las edificaciones. Planificación urbanística en la función y gestión del riesgo. (2011). Recuperado de [www.planificaciurbanistica.blogspot.com.es](http://www.planificaciurbanistica.blogspot.com.es)

**Imagen 25:** La auto construcción, factor de riesgo y vulnerabilidad.(2014). ROMERO. L., Recuperado de [www.gacetadigital.unam.mx](http://www.gacetadigital.unam.mx)

**Imagen 26:** Alta densidad poblacional en zonas, factor de riesgo y vulnerabilidad en Haití.(2010). BARRIA. O., Recuperado de [www.veja.abril.com.br](http://www.veja.abril.com.br)

## 2.2.a Sistema de puntuación del índice de vulnerabilidad sísmica de edificios

Un ejemplo de metodología utilizada en estudios a nivel urbano, basadas en la evaluación de algunos parámetros básicos pueden ser las propuestas por (CHANG et al, 1995). Esta metodología corresponde a un sistema de puntuación que evalúa el índice de vulnerabilidad sísmica de los edificios, basada en la propuesta del ATC-21, 1988 (*Rapid Visual Screening of Building for Potencial Seismic Hazards*) pero agregando consideraciones para tomar en cuenta la características específicas del sitio en donde se encuentran ubicados, como son el potencial de licuefacción, el tipo de cimentación y la estabilidad de taludes.

Este sistema de puntuación es adecuado desde el punto de vista costo-efectividad y sobre todo útil para estudios preliminares de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a nivel regional, obteniéndose resultados significativos dentro de los estudios de riesgo sísmico con presupuesto limitado y con la necesidad de obtener resultados rápidos.

El sistema de puntuación consta de 16 criterios o parámetros afectados por un peso dependiendo de la importancia que tenga, estos criterios están divididos en dos grupos principales (ver Tabla 2.2.a.1):

- 1) Categoría estructural
- 2) Categoría del sitio/ Cimentación

Las categorías más importantes o con mayor peso corresponden al tipo de edificio o material utilizado en su construcción y al año o aplicación de una normativa sismorresistente. La variedad de materiales utilizados en la construcción de los edificios se agrupa en 12 tipos que son: marcos sismorresistente de acero, marcos de acero reforzados, edificios de metal ligero, marcos de acero con muros de cortante de hormigón colado en sitio, marcos sismorresistente de hormigón, marcos de acero u hormigón con muros de mampostería no reforzada, edificios inclinados, edificios de hormigón pre-colados, mampostería reforzada y mampostería no reforzada.

La puntuación total máxima del índice de vulnerabilidad en este método es de 108 en donde a mayor puntuación de la estructura representa una menor vulnerabilidad sísmica, obviamente no existen estructuras con una puntuación de 108, ya que es una combinación de efectos entre las características estructurales de edificio y las características del sitio, es decir, aunque una estructura obtenga la máxima calificación en la categoría estructural, por estar en un sitio con características adversas la calificación final se reduce.

Una de las principales ventajas de este tipo de puntuación es el tiempo de aplicación que le lleva a una persona con ciertos conocimientos básicos de ingeniería. En algunos trabajos de campo se ha podido calcular un tiempo de entre 20 y 40 minutos por edificio dependiendo de las condiciones del sitio/estructura y la disponibilidad de datos antes de la visita.

Factor estructural		Peso
Tipo de edificio		20
Año de construcción/ Uso de norma		20
Irregularidad vertical		3
Piso suave		5
Irregularidad torsional		3
Irregularidad en planta		3
Columnas cortas		5
Elevación (solo para hospitales)		5
Acumulación de agua		3
Revestimiento pesado		3
Daño visible		5
Factor de cimentación		Peso
Tipo de suelo		10
Potencial de licuefacción		10
Tipo de cimentación ( Para un potencial de licuefacción alto o moderado)		3
Estabilidad de Taludes		10
<b>Total</b>		<b>108</b>

Tabla 2.2.a.1



## 2.2b Método para la determinación de la vulnerabilidad estructural de hospitales

Un ejemplo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios algo más completo es la propuesta en el trabajo de la OEA (1993), utilizada para el manejo de peligros naturales.

En este trabajo la evaluación de la vulnerabilidad estructural utiliza la metodología propuesta por Hirosawa que esta oficialmente aceptada en Japón por el ministerio de construcción para la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado, introduciendo algunas modificaciones para poder aplicarse a las tipologías y materiales existentes en los países latinoamericanos, especialmente en Chile, Perú, México y Ecuador.

En este método, la vulnerabilidad estructural se determina comparando la capacidad resistente, relacionada con la forma, mantenimiento y daños anteriores de la edificación, con el nivel de sollicitación demandado por los sismos que representan el peligro sísmico y las condiciones locales del sitio donde se ubica la edificación. La comparación se realiza utilizando dos índices  $I_s$ , índice de la resistencia provista por el edificio e  $I_{so}$  o índice de resistencia demandada.

El método recomienda tres niveles de evaluación que van de simple a detallado y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta. El método fue expuesto para utilizarlo en edificios de hormigón armado de altura media existentes o dañados, con altura de entre seis y ocho niveles estructurados con muros o pórticos. Los estudios más recientes han incluido modificaciones para poder aplicarse a edificios mixtos de hormigón armado y de mampostería.

Tabla 2.2a.1: Sistema de puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica propuesta por (CHANG et al, 1995)

La vulnerabilidad estructural se establece comparando los valores siguientes:

- Si  $I_s \geq I_{so}$  Comportamiento seguro frente a un evento sísmico
- Si  $I_s < I_{so}$  Comportamiento incierto frente a un evento sísmico y por lo tanto inseguro.

El cálculo del índice  $I_s$  depende de tres factores que se evalúan a partir de características básicas de la estructura, mediante la ecuación siguiente:

$$I_s = E_o \cdot S_D \cdot T \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

- $E_o$ : Índice sísmico básico de comportamiento estructural
- $S_D$ : Índice de configuración estructural
- $T$ : Índice de deterioro de la edificación

Para observar la información sobre el cálculo de los factores:  $E_o$ ,  $S_D$ ,  $T$ , se remite a (MENA, 2002) pág. 41-45.

## 2.2.c. Nivel de vulnerabilidad potencial desarrollado por HMC, 1997

Uno de los objetivos de esta metodología es determinar o identificar que sección de un edificio existente será susceptible a sufrir un daño ocasionado por un terremoto debido a la falla de alguno de sus componentes. Permitiendo elaborar planes que permitan reducir el daño en los edificios minimizando el riesgo de pérdidas de vidas humanas de alguna forma modificar los reglamentos para diseño de estructuras nuevas.

La evaluación de la vulnerabilidad de un edificio involucra la identificación de los sistemas de marcos resistentes, sistemas de fachada y si el edificio contiene elementos vulnerables como la mampostería no reforzada, pisos blandos, formas estructurales irregulares y cualquier sistema mecánico o eléctrico, que necesite seguir funcionando una vez ocurrido el terremoto. Figura 2.2.c.1.

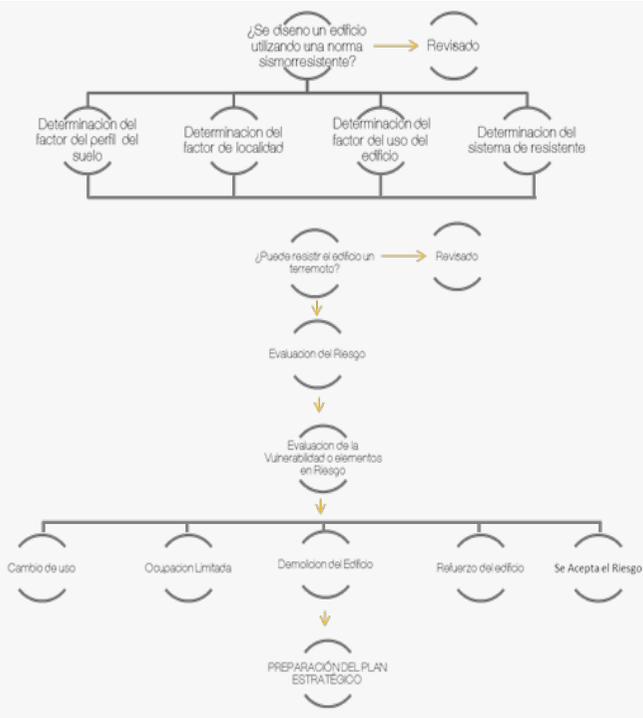


Figura 2.2.c.1

Riesgo del perfil de suelo	Perfil de Suelo	Factor de Riesgo
	Tipo A	1
	Tipo B	2
	Tipo C	3
	Tipo D	4
Tipo E	5	

Riesgo de Localidad	Aceleración del terreno	Factor de Riesgo
	0.3 – 0.4	1
	0.4 – 0.6	2
	0.6 – 0.8	3
	0.8 – 1.0	4
> 1.0	5	

Riesgo de Edificio	Número de habitantes	Factor de Riesgo
	Menos de 5	1
	5 – 10	2
	11 – 20	3
	21 – 50	4
Más de 50	5	

Función post - de sastre	Tipo de edificio	Factor de Riesgo
	Esencial (Hospital)	1
	Necesario (Ayunta)	2
	No necesario (Comercios)	3
Residencial	4	

Tabla 2.2.c.1

Figura 2.2.c.1: Procedimiento utilizado para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios en Queensland, Australia (HMC, 1997)

Tabla 2.2.c.1: Factores necesarios para evaluar la vulnerabilidad potencial de edificios en Queensland, Australia. (HMC, 1997)

Este nivel de vulnerabilidad potencial se puede evaluar de una forma sencilla utilizando criterios de comportamiento como la viabilidad del tipo de edificio, uso, requerimientos post-terremoto y localidad. Estos criterios se determinan basándose en los factores de la Tabla 2.2.c.1, cuya suma permitirá obtener el valor de la vulnerabilidad potencial.

El riesgo de falla de un edificio se puede evaluar asignando una vulnerabilidad potencial causada por:

- 1) El incremento en los requerimientos de la carga de diseño provocadas por un terremoto.
- 2) En nivel de la funcionalidad para el comportamiento post-terremotos.
- 3) El número de ocupantes que utilizan el edificio.

#### **2.2.d. Método del índice de vulnerabilidad (BENEDETTI & PETRINI, 1984)**

El análisis del comportamiento de edificios durante terremotos ocurridos desde el año 1976 en diferentes regiones de Italia, ha permitido a los investigadores de este país identificar algunos de los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios.

Estos parámetros han compilado en un formulario de levantamiento, el cual se viene utilizando desde el año 1984, con el propósito de determinar de una forma rápida y sencilla la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes. La combinación de dichos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor número llamado *índice de vulnerabilidad*, lo que se conoce hoy en día como el *método del índice de vulnerabilidad*.

Este documento se ha analizado varias veces en los últimos años con la intención de modificar sus partidas buscando facilitar las tareas de observación durante el proceso de investigación y recopilación de datos, específicamente, para conseguir una mejor descripción del daño.

Este formulario igualmente puede ser utilizado para evaluaciones post-sismo. De acuerdo con las informaciones de varios especialistas se pueden identificar tres versiones diferentes del formulario, considerando que siempre se mantienen los mismos parámetros que se han identificado desde el principio como los controladores potenciales de daño. La última versión de este documento será la utilizada para el capítulo práctico de este trabajo.

### 2.2.d.1 Cálculo del índice de vulnerabilidad

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de (BENEDETTI & PETRINI, 1984), el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales que, se considera, juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.

A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor número  $K_i$  que varía entre 0 y 45, como se observa en la Tabla 2.2.d.1. Así, por ejemplo, si el parámetro número cuatro "posición del edificio y de la fundación" corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D y el valor numérico  $K_4= 45$ .

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso  $W_i$ , que varía entre 0.25 y 1.5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad (VI) se define por la siguiente expresión ec. 2.

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i$$

ec. 2

Parámetros (i)	Clase $K_i$				Peso $W_i$
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente	0	5	20	45	100
2. Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional	0	5	25	45	150
4. Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5. Diafragma horizontales	0	5	15	45	100
6. Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación	0	5	25	45	100
8. Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta	0	15	25	45	100
10. Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación	0	5	25	45	100

Tabla 2.2.d.1



## 2.2.d.2 Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad

Al analizar la ecuación del índice de vulnerabilidad de Benedetti & Petrini se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Como puede verse en la **Tabla 2.2.d.1**, los parámetros, 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por las instrucciones que se presentan mas adelante. Por el contrario, los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas, las cuales también se describen más adelante.

Tabla 2.2.d.1: Escala de vulnerabilidad de (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

Tabla 2.2.d.2: Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad de edificios de mampostería. (AGUIAR et al, 2001)

El formulario/encuesta que se observara en la Tabla 2.2.d.2, es una versión modificada por (AGUIAR et al, 2001) del utilizado por el Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti in Italia. Una de las simplificaciones que se tienen en cuenta es la de no utilizar el primer nivel de aproximación debido a que los datos que provee no influyen directamente en el cálculo del VI. Por otra parte, del segundo nivel se utiliza únicamente la parte correspondiente a edificios de mampostería, debido a que no se conoce bibliografía sobre funciones de vulnerabilidad para edificios de otro tipo.

No. Edificio: _____
Dirección: _____
Fecha: _____ d/m/a                      No. Observador: _____
1. Organización del sistema resistente: _____
2. Calidad del sistema resistente: _____
3. Resistencia Convencional
1. Numero de pisos N: _____
2. Área total cubierta A: _____ M <sup>2</sup>
3. Área resistente sentido x A: _____ M <sup>2</sup>
Sentido x A: _____ M <sup>2</sup>
1. Resistencia cortante mampostería  Ton/M <sup>2</sup>
2. Altura media de los pisos h: _____ m
3. Peso específico mampostería P: _____ Ton/M <sup>3</sup>
4. Peso por unidad de área diafragma P: _____ Ton/M <sup>2</sup>
4. Posición del edificio y de la cimentación: _____
5. Diafragmas horizontales: _____
6. Configuración en planta $\square = a/L$ : _____ $\square = b/L$ : _____
7. Configuración en elevación. Superficie porche %: _____
T/H: _____ $\pm$ DM/M %: _____
8. Distancia máxima entre los muros L/S: _____
9. Tipo de cubierta: _____
10. Elementos no estructurales: _____
11. Estado de conservación: _____

Tabla 2.2.d.2,

El formulario original, de segundo nivel, incluye los cálculos que debe efectuar el observador durante las investigaciones de campo, para clasificar cada parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D lo cual, además de prolongar el tiempo del levantamiento, facilita la introducción de errores matemáticos.

Por estas razones se ha desarrollado un programa de ordenador para el cálculo del VI con el cual se evitan los inconvenientes descritos anteriormente y se simplifica el formulario de levantamiento, ya que de esta forma solo se requieren los datos estrictamente necesarios para definir VI.

### 2.2.d.3 Instrucciones para el formulario de levantamiento

La asignación de los once parámetros del formulario de acuerdo con lo descrito en el apartado anterior, dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se lleva a cabo con la ayuda de las siguientes instrucciones.

#### 1. Organización del sistema resistente

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la Norma Española para la Construcción Sismorresistente, específicamente el apartado 4.1 de dicha norma.
- B) Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre o de adaraja en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
- C) Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.
- D) Edificio con paredes ortogonales no ligadas.

#### 2. Calidad del sistema resistente

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de los factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Se reporta una de las clases:

- A) Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra, bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.
- B) Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas mas no muy homogéneas en toda la extensión del muro.
- C) Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos e baja calidad y privados de ligamento.
- D) Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

En estas pautas se describe de forma muy breve, el fundamento teórico de cada uno de los parámetros con el objetivo de proporcionar al observador de los recursos, un cierto criterio de selección.

---

Tabla 2.2.d.1: Escala de vulnerabilidad de (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

Tabla 2.2.d.2: Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad de edificios de mampostería. (AGUIAR et al. 2001)



### 3. Resistencia convencional

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura, la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad. El procedimiento utilizado requiere del levantamiento de los datos:

N: número de pisos.

$A_i$ : área total cubierta en  $m^2$ .

$A_{X_i}$ : área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en  $m^2$ . El área resistente de los muros inclinados un ángulo diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por  $(\cos \alpha)^2$

$\tau_k$ : resistencia a cortante características del tipo de mampostería en  $(\text{Ton}/m^2)$ . En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de  $\tau_k$  se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales, utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área  $A_i$  de cada uno de ellos.

$$t_k = \frac{\sum t_i A_i}{\sum A_i} \quad \text{ec.3}$$

h: Altura media de los pisos en metros.

$P_m$ : Peso específico de la mampostería en  $\text{Ton}/m^3$ .

$P_s$ : Peso por unidad de área del diafragma en  $\text{ton}/m^2$ .

### 4. Posición del edificio y de la cimentación

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tiene en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Se reporta una de las siguientes clases:

A) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

B) Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

C) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

D) Edificio cimentado sobre un terreno suelto con pendiente mayor 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

### 5. Edificio con diafragmas

La calidad de los diafragmas horizontales tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se reporta una de las clases:

A) Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:

1. Ausencia de planos a desnivel
2. La deformabilidad del diafragma es despreciable.
3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.

B) Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.

C) Edificio con diafragmas como los de la clase A, que no cumplen con las condiciones 1 y 2.

D) Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

### 6. Configuración en planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativa la relación  $\beta_1 = a/L$  entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación  $\beta_2 = b/L$ . En la Figura 2.2.d.1 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para los cuales se evalúa siempre el caso más desfavorable.

### 7. Configuración en elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad esta constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual ente el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la Figura 2.2.d.2.

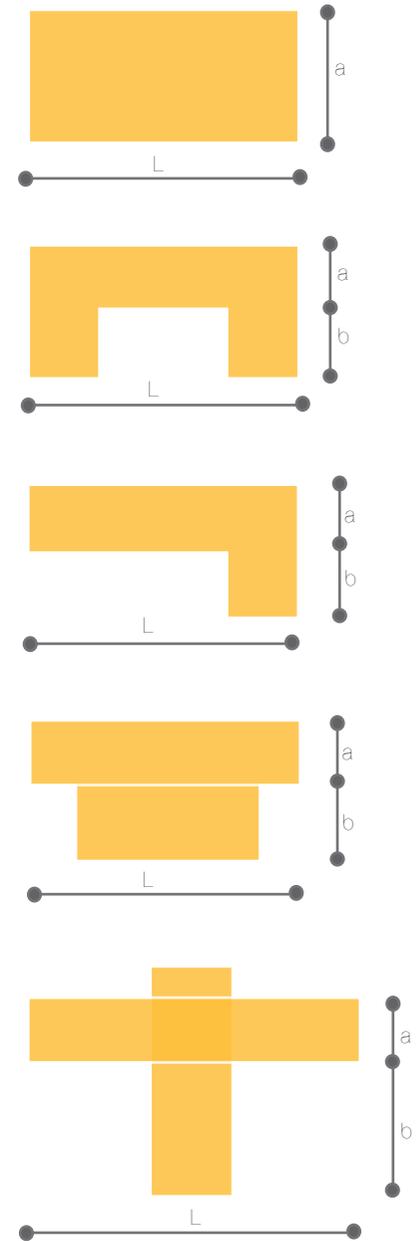


Figura 2.2.d.1

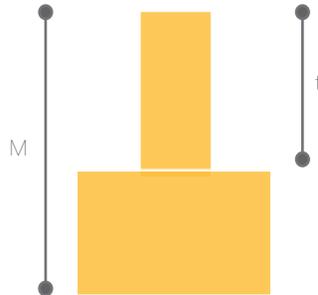
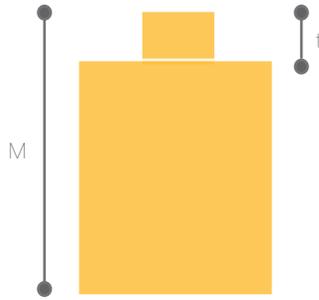


Figura 2.2d.2.

Figura 2.2d.1: Configuración en planta de la estructura. (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

Figura 2.2d.2: Configuración en elevación de la estructura. (BENEDETTI & PETRINI, 1984).



No se deben tener en cuenta las torres de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

También se reporta la variación de masa en porcentaje  $\pm \Delta M/M$  entre dos pisos sucesivos, siendo  $M$  la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de un aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas  $\pm \Delta A/A$ , evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

### 8. Distancia máxima entre los muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancias excesivas entre ellos. Se reporta el factor  $L/S$ , donde  $L$  es el espaciamiento de los muros transversales y  $S$  el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

### 9. Tipo de cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta un de las clases:

- A) Edificio con cubierta estable y provista de viga cumbre. Edificio con cubierta plana.
- B) Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbre, edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbre.
- C) Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbre.
- D) Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbre.

### 10. Elementos no estructurales

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases:

- A) Edificio sin cornisa y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- B) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- C) Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.

D) Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectada a esta de modo deficiente.

### 11. Estado de conservación

Se reporta una de las clases:

- A) Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
- B) Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C) Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
- D) Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

### Cálculos requeridos por los parámetros de naturaleza cuantitativa

Los cálculos requeridos por los parámetros de naturaleza cuantitativa son básicamente de dos tipos: el primer tipo consiste en la aplicación de fórmulas matemáticas sencillas y el segundo tipo consiste en la toma de decisiones con base en condiciones lógicas.

En seguida se explican estos dos tipos de cálculos requeridos por los parámetros 3, 6, 7 y 8. La mayoría de las variables involucradas ya se han explicado.

#### 1- Resistencia convencional

El coeficiente sísmico C, se define como el factor ente la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y esta dado por la expresión:

$$C = \frac{\alpha_0 \tau_\kappa}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 \alpha_0 \tau_\kappa (1 + \gamma)}} \quad \text{ec. 4}$$

Donde:

$$A = \min. \{ A_x ; A \}$$

$$B = \max. \{ A_x ; A \}$$

$$a_0 = A / A_t$$

$$\gamma = B / A$$

$$q = \frac{(A \cdot B) h}{A_t} P_m + P_s$$



El valor representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio. Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor  $\alpha = C/\bar{C}$ , en donde  $\bar{C}$  es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.4.

- A) Edificio con  $\alpha \geq 1$ .
- B) Edificio con  $0.6 \leq \alpha < 1$ .
- C) Edificio con  $0.4 \leq \alpha < 0.6$ .
- D) Edificio con  $\alpha < 0.4$ .

## 2- Configuración en planta

- A) Edificio con  $\beta_1 \geq 0.8$  ó  $\beta_2 \leq 0.1$ .
- B) Edificio con  $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$  ó  $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$ .
- C) Edificio con  $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$  ó  $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$ .
- D) Edificio con  $0.4 > \beta_1$  ó  $0.3 < \beta_2$ .

## 3- Configuración en elevación

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A) Edificio con  $-\Delta M/M < 10\%$ .
- B) Superficie porche  $< 10\%$  ó  $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .
- C) Superficie porche  $= 10\% \cong 20\%$  ó  $-\Delta M/M > 20\%$  ó  $T/H < 2/3$ .
- D) Superficie porche  $> 20\%$  ó  $\Delta M/M > 0$  ó  $T/H > 2/3$ .

## 4- Duración máxima entre los muros

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A) Edificio con  $L/S < 15$ .
- B) Edificio con  $15 \leq L/S < 18$ .
- C) Edificio con  $18 \leq L/S < 25$ .
- D) Edificio con  $L/S \geq 25$ .

### 2.2.d.3 Método del índice de vulnerabilidad en edificios de hormigón armado

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de hormigón, primero se elabora una tabla considerando las características más importantes que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras. Estas calificaciones se muestran en la Tabla 2.2.d.3 Una vez evaluado cada parámetro se realiza una suma ponderada utilizando los factores de peso mostrados en la Tabla 2.2.d.3. Para obtener el índice de vulnerabilidad final mediante la siguiente expresión:

$$I_v = 100 \times \frac{\left(\sum_{i=1}^{11} K_i \times W_i\right) + 1}{34} \quad \text{ec. 5}$$

Las funciones de vulnerabilidad simuladas por (YÉPEZ F. B., 1996) son un ejemplo del empleo de los parámetros para los edificios de hormigón armado. Estas funciones se generaron para dos tipos de estructuras: a) para edificios de hormigón armado con pórticos sismorresistente y b) para edificios de hormigón armado con losas reticulares. La diferencia más importante es que los edificios del primer tipo de estructuración se comportan mejor ante un sismo que los segundos por tener una mejor capacidad de deformación, lo que permite una mayor liberación de energía.

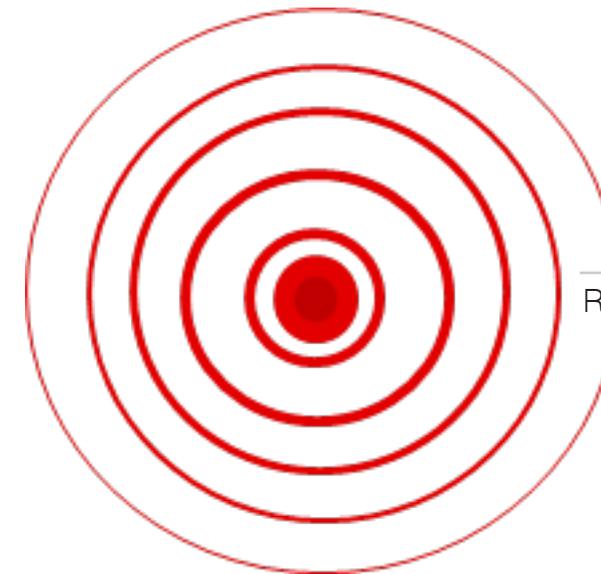
<i>i</i>	Parámetro	<i>K<sub>A</sub></i>	<i>K<sub>B</sub></i>	<i>K<sub>C</sub></i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Diáfragmas horizontales	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1.0
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	1.0

Tabla 2.2.d.3

Tabla 2.2.d.3: Escala numérica del índice de vulnerabilidad  $I_v$  para las estructuras de hormigón armado (BENEDETTI & PETRINI, 1984)

2.2.e Tabla comparativa de métodos de evaluación de vulnerabilidad

MÉTODO	ORIGEN	TIPO DE EVALUACION	COSTO	AMBITO DE APLICACION	NIVEL DE SIMPLICIDAD	NIVEL DE DETALLE	¿CONSIDERA USO DE NORMATIVA?	CONSIDERACIONES	CASOS DE EMPLEO	RESULTADOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sistema de puntuación del índice de vulnerabilidad sísmica de edificios	-Basada en la propuesta del ATC-21, 1988. -Agrega características específicas del emplazamiento.	QUALITATIVO	BAJO (Desde el punto de vista Costo-Efectividad)	-Nivel Urbano -Estudios a Nivel Regional	ALTO	MEDIO	SI	El sistema de puntuación consta de 16 criterios o parámetros afectados por un peso dependiendo de la importancia que tenga, estos criterios están divididos en dos grupos principales: 1) Categoría estructural y 2) Categoría del sitio/ Cimentación	Estudios Preliminares	Se obtiene una puntuación, considerando las cualidades del edificio y las características del sitio.	-Tiempo de aplicación -Fácil utilización a cualquier persona con conocimientos básicos de ingeniería. -Entre 20/40 min por edificio -Se puede aplicar a Macro escala.	-Los resultados son equivalentes al trabajo realizado.
MÉTODO PARA LA DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE HOSPITALES	-Propuesta en el trabajo de la OEA (1993) -Aceptado en Japón por el ministerio de construcción para la evaluación de la seguridad sísmica	QUANTITATIVO	ALTO	- Edificios de hormigón armado de altura media existentes o dañados, con altura de entre seis y ocho niveles estructurados con muros o pórticos. - Los estudios mas recientes han incluido modificaciones para poder aplicarse a edificios mixtos de hormigón armado y de mampostería.	MEDIO	ALTO	SI	En este método, la vulnerabilidad estructural se determina comparando la capacidad resistente, relacionada con la forma, mantenimiento y daños anteriores de la edificación, con el nivel de sollicitación demandado por los sismos que representan el peligro sísmico y las condiciones locales del sitio donde se ubica la edificación. La comparación se realiza utilizando dos índices $I$ ó índice de la resistencia provista por el edificio e $I_w$ o índice de resistencia demandada	Estudios con objetivos específicos y completos	Se obtiene como resultado el comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta.	-Puede ser utilizado como recurso de manejo de peligros naturales. -Posee modificaciones que permiten su aplicación en países latinoamericanos. -Se enfoca en la Vulnerabilidad estructural	-Se necesita de un personal especializado para obtener resultados óptimos. -El método consta de 3 niveles de evaluación que hacen el proceso de elaboración largo comparado con los demás. -En el método no se considero el análisis de edificios con mampostería.
NIVEL DE VULNERABILIDAD DESARROLLADO POR HMC, 1997	-Metodología utilizada para evaluar la vulnerabilidad de los edificios en Queensland, Australia.	QUALITATIVO	ALTO	-Edificios	MEDIO	ALTO	SI	Este nivel de vulnerabilidad potencial se puede evaluar de una forma sencilla utilizando criterios de comportamiento como la viabilidad del tipo de edificio, uso, requerimientos post terremoto y localidad. Estos criterios se determinan basándose en los factores de la Tabla 2.2.c1 cuya suma permitirá obtener el valor de la vulnerabilidad potencial	Identificación de la sección susceptible de un edificio a sufrir daño por un terremoto debido a la falla de alguno de sus componentes.	Los criterios de puntuación se determinan basándose en distintos factores cuya suma permitirá obtener el valor de la vulnerabilidad potencial.	-Permite tener conocimientos del comportamiento específico de elementos estructurales. -Considera el comportamiento post-terremoto de la estructura. -Permite elaborar planes que permitan reducir el daño de los edificios minimizando el riesgo de pérdidas de vidas humanas.	-Requiere de tiempo para obtener resultados completos. - Es necesario de conocimientos especializados en estructura.
MÉTODO DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI & PETRINI	Completación de parámetros analizados durante los terremotos ocurridos en Italia desde 1976.	QUANTITATIVO	MEDIO	-Edificios	ALTO	ALTO	SI	El índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores números que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales que, se considera, juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.  A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor número $K_i$ que varía entre 0 y 45, como se observa en la Tabla 2.3.	Identificación de parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios.	El resultado se puede obtener de manera numérica o por letras. Ej: si el parámetro número cuatro "posición del edificio y de la fundación" corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D que se puede obtener de la tabla y el valor numérico $K_4= 45$ . -Se puede aplicar en estudios urbanos. -Se ha aplicado en Italia con buenos resultados.	-Es de fácil empleo y observación. -La simple forma en la que se manejan los datos la hace económica. -Rápida obtención de resultados. -Los parámetros, 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por las instrucciones que se presentan. -Los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas, las cuales también se describen  -Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (YÉPEZ, 1994) y Murcia en 1999 (MENA <i>et al</i> /1999). -Se ha aplicado a diversos trabajos: (ANGELETTI et al, 1988), (BENEDETTI et al, 1988), (CAICEDO, 1993), (BARBAT et al 1996), (GRIMAZ, 1994), (YÉPEZ, 1996), (MENA, 1997), El proyecto Europeo SERGISAL, 1998. -El daño observado en los edificios después de un terremoto o la simulación por ordenador del daño estructural utilizando modelos mecánicos o matemáticos, permiten deducir por medio de métodos probabilistas las funciones de vulnerabilidad.	-Se determinaran en el proceso de evaluación de vulnerabilidad del caso de estudio. Debido a que se presentan casos específicos en cada evaluación.



---

Recapitulaciones y observaciones

VULNERABILIDAD



Otros métodos populares son:

#### Cuantitativos

- 1) Método Japonés de la norma sísmica.
- 2) Métodos de evaluación de la Energía.
- 3) Método del Dr. Akiyama para edificios de acero, H., Earthquake – Resistant Limit – State Design for Building. Tokyo. 1985

#### Cualitativos

- 1) El método del Ministerio de Construcción del Japón.
- 2) El método Mexicano de evaluación diseñado por J. Iglesias "Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México" por la Secretaría de Obras
- 3) El método ATC-21 (ATC-21, 1988)

De las informaciones analizadas se concluye en que para la realización del análisis de vulnerabilidad en primer lugar es necesario plantear claramente cuales son los objetivos que se quieren alcanzar con la investigación, considerando el alcance a la información del caso de estudio, las posibilidades económicas, el tiempo disponible y la calidad de los resultados.

De una manera más específica es primordial conocer la demanda de carga y la resistencia en servicio del edificio que se va a evaluar. De manera general se pueden agrupar los distintos métodos de evaluación de la vulnerabilidad en dos categorías: cuantitativos y cualitativos.

Los *métodos cuantitativos* o analíticos se basan típicamente en procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas; estos detallan el material que constituye la estructura, buscando identificar una cantidad específica de daños que permitan conocer el posible comportamiento de la estructura.

Por medio de la observación a base de evaluaciones aproximadas se estiman esfuerzos y posibles deformaciones. Por otra parte, los *métodos cualitativos* se sustentan de cualidades generales de la estructura para obtener o identificar su nivel de vulnerabilidad y poder obtener resultados. Habitualmente estos toman como referencia índices que ya han sido comprobados y calibrados en estructuras existentes, y por medio de estos permiten identificar el riesgo de manera general y en algunos métodos se puede obtener el nivel de daño.

Este método tiene como punto a su favor que se puede utilizar como un recurso de evaluación rápida, para distintas edificaciones, permite incluir un apartado en el que se especifique que edificaciones necesitan de un análisis más detallado, en algunos casos se podría considerar como un primer nivel de evaluación para luego seguir a una evaluación más detallada.

Se puede alcanzar resultados detallados y efectivos con los *métodos indiciales*, gracias a que a través de los mismos se puede cuantificar la susceptibilidad de las edificaciones a sufrir daños.

Evidentemente en la mayoría de los métodos descritos anteriormente se consideran aspectos cualitativos que enriquecen el resultado y la orientación del manejo de los datos. Se puede concluir en que los *métodos indiciales* son una buena opción ya que permiten a través de los índices de vulnerabilidad comparar los niveles de daño obtenidos o esperados para un sismo de una magnitud determinada de manera sencilla y rápida.



Imagen 27. Asentamientos informales crecen descontroladamente en Latinoamérica. Fuente: [www.tvwifdc.com](http://www.tvwifdc.com)



## 2.3 Riesgo sísmico

Según la Real Academia Española la palabra *riesgo* significa, "*contingencia o proximidad de algún daño*", mientras que en términos técnicos significa "*la posibilidad de pérdida o daño o exposición al cambio de daño o pérdida*" (SAUTER, 1996) (DOWRICK, 1997).

La palabra *peligrosidad*, la Real Academia Española la define como "*calidad de peligro*", mientras que en términos técnicos se expresa como "*amenaza impuesta por ciertos fenómenos naturales, como son los huracanes, erupciones, riadas, terremotos, etc. Que pueden causar consecuencias adversas a la actividad humana, impacto social negativo y pérdidas humanas y económicas severas*" (CSSC, 1999).

En ese mismo orden, la *vulnerabilidad* la Real Academia Española la define como "*algo que puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente*" y técnicamente se utiliza como una "*escala para expresar las diferentes formas de responder los edificios al ser sometidos a un terremoto*" (GRÜNTAL, 1998).

Estas tres palabras tienen una conexión directa entre ellas, la cual para entenderse e identificarse correctamente es necesario estar claro sobre el significado de cada una por separado. Distintas organizaciones científicas se han encargado de llegar a un significado definitivo que se pueda referir a la composición que se detona de estos tres elementos entre las cuales se encuentra el Instituto de Investigaciones en ingeniería sísmica (EERI), la asociación europea de ingeniería sísmica (EAEE), la comisión de seguridad sísmica de California (CSSC) y el servicio geológico de los E.U. (USGS).

Razonándose que:

**Riesgo Sísmico** "*Corresponde a los elementos de carácter social y económico que en conjunto con las condiciones de un territorio afectado por un terremoto generan efectos que residen en el colapso de las edificaciones que no soportan la aceleración del sismo excediendo su capacidad resistente.*"

**Peligrosidad Sísmica** "*Constituye la probabilidad de que se manifieste un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, provocando efectos adversos a la vida humana. Estos fenómenos además del movimiento de terreno pueden ser, la falla del terreno, la deformación tectónica, la licuefacción, inundaciones, tsunamis, etc.*" (MENA U., 2002)"

**Vulnerabilidad Sísmica** "*Es un valor único que permite clasificar a las estructuras de acuerdo a la calidad estructural intrínseca de las mismas, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable ante la acción de un terremoto, ídem*".

Los asentamientos informales, la autoconstrucción, y la acumulación de este tipo de construcciones en los lugares con alta peligrosidad sísmica, aumenta significativamente el riesgo.

Imagen 27: Asentamientos informales crecen descontroladamente en Latinoamérica. Artículo: *Los asentamientos urbanos informales aumentan la pobreza en Colombia, según ONG.* Recuperado de [www.twifdc.com](http://www.twifdc.com)

Analizando estas tres cuestiones se puede observar que claramente el riesgo sísmico depende de la peligrosidad y de la vulnerabilidad, esto quiere decir que los elementos que conforman una zona con peligrosidad sísmica de un territorio pueden verse afectados en mayor o menor grado tomando en consideración el grado de vulnerabilidad sísmica que posean, recreándose a partir de ahí el nivel de riesgo sísmico. Así mismo, entendiéndose que aunque un lugar posea una peligrosidad sísmica significativa si el nivel de vulnerabilidad de sus edificaciones no es alto, está en la posibilidad de responder apropiadamente a un acontecimiento sísmico. Matemáticamente se desarrolló un marco conceptual para relacionar estos parámetros (SANDI H. , 1986), definiendo primero un riesgo sísmico específico  $S$  representando como la convulsión entre las probabilidades de ocurrencia de todas las intensidades posibles de los terremotos o peligrosidad sísmica  $H$  y la vulnerabilidad sísmica de las estructuras  $V$  (ec. 6). Y el riesgo sísmico expresado como la convulsión entre el valor del riesgo sísmico específico  $S$  y el valor económico de los elementos en riesgo  $E$  (ec. 7)

$$S = H \otimes V$$

ec. 6

$$R = S \otimes E$$

ec. 7

La mayoría de los estudios de riesgo sísmico a nivel urbano utilizan como parámetro del terremoto, la intensidad macrosísmica, la aceleración máxima o la aceleración máxima de manera indirecta, obtenida a partir de parámetros focales, como la magnitud, la distancia epicentral, etc.,

Para evaluar el riesgo sísmico, se utilizan las matrices de probabilidad o las funciones de vulnerabilidad, obtenidas a partir de las experiencias con terremotos pasados, o en el caso de que la actividad sísmica sea baja, mediante técnicas de simulación (YEPEZ, 1996 (b)).

### 2.3.1 Gestión el riesgo

La gestión del riesgo sísmico debe ser concebida como un proceso social complejo en donde participan todos los actores, comunitarios, e institucionales que conforman la sociedad, los cuales deben identificar, plantear y desarrollar las políticas, estrategias, programas, proyectos y acciones claves para evitar, disminuir o reducir que eventos sísmicos futuros puedan afectar la vida y bienes de la sociedad.

La gestión del riesgo sísmico se convierte entonces en una herramienta eficaz para la planeación del desarrollo seguro de un asentamiento humano, a partir de la conjugación de diversos procesos.



En primera instancia, el análisis de riesgos, mediante la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad sísmica, que permiten un diagnóstico y valoración del fenómeno sísmico en un territorio y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, que conforman la red de relaciones del entorno construido físico y ambiental en interrelación con la población que se beneficia de ella.

En segunda instancia, luego de identificado el riesgo sísmico, se plantean acciones para intervenirlos integralmente mediante procesos para la reducción del mismo, desarrollando estrategias de prevención como la aplicación de normas de construcción sísmo resistentes y usos de suelo, tanto para edificaciones e infraestructura nueva como las existente; acciones de mitigación como el reforzamiento de estructuras, etc.

En tercera medida, debido a que no es posible reducir los riesgos totalmente, se deben planear anticipadamente las acciones necesarias para el manejo de los eventos sísmicos, lo cual implica labores de preparación, acciones coordinadas de respuesta rápida para atender lesionados ocasionados por la falla de estructuras y edificaciones; fortalecimiento de las redes de monitoreo sísmico como componente fundamental en la determinación de las zonas afectadas, para el envío de los grupos de rescate y salvamento, así como generadores de conocimiento técnico y científico para la construcción de normas sísmicas de construcción.

Por último, los procesos de recuperación y reconstrucción cuya rápida efectividad depende de todas las acciones anteriormente mencionadas y llevadas a cabo previamente, cuyo eje central es la reducción de riesgos que puede llevarse a cabo antes, durante o después de un desastre.

Debido a que el riesgo sísmico se construye socialmente, en un proceso de planificación del desarrollo urbano, todas las ciudades deben incorporar la gestión del riesgo sísmico como un elemento transversal y longitudinal dentro de las políticas sectoriales e institucionales del desarrollo.

En el cual deben participar cada uno de los actores sociales, comunitarios e institucionales, gestión que debe ser enmarcada en el contexto de las políticas nacionales e internacionales actuales sobre la reducción de riesgos, definidas en líneas estratégicas de acción. Planteadas en los distintos documentos, resultado de convenios y cumbres internacionales como por ejemplo la estrategia y plan de acción de Yokohama en 1994 y el marco de acción de Hyogo en 2005 (EIRD, 2005), igualmente teniendo en cuenta los lineamientos generales de las políticas de estado.

La gestión del riesgo sísmico es una oportunidad para el desarrollo más seguro de las ciudades que día a día crecen sin control, específicamente las ciudades que inevitablemente poseen una situación socio-económica desfavorable y un bajo control de la vulnerabilidad por parte de las autoridades.

En este tipo de situaciones lo primordial es incorporar la gestión del riesgo sísmico en la planeación urbana, por medio de la estimulación a la evaluación de la vulnerabilidad estructural empezando por todas las edificaciones esenciales, hasta llegar a la evaluación de edificaciones de ocupación normal (residencias).

Así como la aplicación y cumplimiento den todos los sectores de las normas de construcción sismorresistente, con la finalidad de mejorar la calidad constructiva de las edificaciones y reducir su vulnerabilidad sísmica, a través de procesos de capacitación en el conocimiento y aplicación de las leyes de construcción existentes.

Es necesario incorporar adecuadamente la reducción de riesgos de desastres en la planificación de desarrollo de manera integral y coherente es necesario aplicar un nuevo instrumento que sea el eje que articule planes de ordenamiento territorial y planes de desarrollo, el plan para la gestión local del riesgo, plan nacional para la prevención y atención de desastres. Estos planes orientan a los gobiernos locales en como se debe hacer cuando se planeta la necesidad de invertir en reducción de riesgos existentes y prevención de riesgos factibles.

La construcción de este tipo de planes debe ser la motivación principal para la participación de los actores locales, mediante la utilización de la planeación estratégica y construcción colectiva y concertada del plan con visión de futuro.

Esto quiere decir, que la gestión del riesgo sísmico debe convertirse en una línea estratégica de los planes de desarrollo de las administraciones municipales y estar dentro de las agendas de los gobernantes, como una herramienta para el mejoramiento de la calidad de vida de la población y la asegurada de las inversiones futuras en infraestructura y edificaciones nuevas en zonas de expansión.

El mejoramiento de las existentes, así como para el reordenamiento urbano de zonas deprimidas. Por lo que todas estas acciones deben ir acompañadas de dos elementos importantes y claves en este proceso: voluntad política y una visión de ciudad a futuro.

El objetivo principal de la gestión del riesgo sísmico reside en que cuando ocurra un evento sísmico las acciones de respuesta y recuperación sean lo menos traumáticas y rápidas posibles, y que la inversión que se haga en este proceso no comprometa los recursos destinados a inversión social, porque la respuesta y la recuperación pueden ser planificadas antes del desastre.

Un proceso planificado de gestión de riesgos en un territorio implica la participación y concertación con cada uno de los actores locales, los cuales tienen responsabilidades y deberes. Esta es una parte clave de este proceso, la cual garantiza su sostenibilidad en el tiempo, consolidándose así una cultura hacia la gestión del riesgo sísmico, donde la educación juega un papel protagónico en todos los niveles. (PERALTA, 2007)



### 2.3.1a Riesgo físico

Luego de analizar el origen del riesgo y como éste se genera está claro que el mismo reside en la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica relacionado con la vulnerabilidad que posean los elementos expuestos o amenazados por el fenómeno.

Al realizar un análisis de riesgo se crean mapas que representan las zonas amenazadas y con mayor riesgo. Es decir, se recrea un escenario a partir de la distribución espacial de los efectos que podría causar un fenómeno sísmico sobre un área geográfica específica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto.

En la actualidad la evaluación anticipada de pérdidas y daños que se pueden esperar de sismos en el futuro ha tomado un lugar muy importante dentro de las consideraciones sísmicas a nivel mundial, considerando la importancia que tiene evitar la mayor cantidad de daños posibles y plantear medidas que influyan fundamentalmente en soluciones de prevención y mitigación a través de la estimación de pérdidas.

Las mismas se realizan a través de datos aproximados y estimados que indiquen la naturaleza del problema que tendrá que afrontar la ciudad o región. Los elementos expuestos son el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden verse afectados con la ocurrencia de un evento.

Los mismos corresponden a las actividades humanas, todos los sistemas realizados por el hombre tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza y el medio ambiente. En general, dada la participación de los edificios y de la infraestructura de líneas vitales en la conformación de los escenarios urbanos, ha sido común que las metodologías solamente consideren para la estimación del riesgo físico el inventario de edificios y las redes de líneas vitales.

Específicamente, los estudios probabilistas permiten conocer las pérdidas económicas que se pueden presentar al momento de ocurrir la catástrofe de acuerdo con las condiciones del territorio, en ese mismo orden, se obtienen datos como la pérdida máxima probable y anual esperada desde la perspectiva de los seguros.

Es común que el riesgo se evalué o se valore solamente en términos físicos, dado a que la vulnerabilidad social es difícil de evaluar en términos cuantitativos (CARREÑO, 2010). Es importante que a pesar de poder identificar aspectos concretos (daños físicos, colapso, etc...) se considere la posibilidad de evaluar aspectos de "riesgo relativos" que igualmente colaboren a tomar decisiones que aporten a la mitigación y prevención del riesgo. Luego de analizar el riesgo y determinar que no es posible reducirlo en totalidad, para efectos de planificación, protección, diseño y prevención de obras es común que se defina un nivel de "riesgo aceptable".

Considerando todas las consecuencias del riesgo es evidente que con su ocurrencia se genera desde el punto de vista físico, el "riesgo específico", entendiéndose el mismo como la pérdida esperada en un periodo de tiempo y puede ser expresada como una proporción del valor o coste de reemplazo de los elementos en riesgo.

---

El riesgo aceptable, en general, son las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera, por considerar que son poco factibles y, usualmente, a cambio de un beneficio inmediato.

Desde el punto de vista técnico, corresponde a un valor de probabilidad de unas consecuencias dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos peligrosos.

Algunos autores distinguen entre "riesgo aceptable" y "riesgo tolerable", indicando que un riesgo tolerable podría no ser aceptable. Un riesgo puede ser tolerable cuando el beneficio de convivir con dicho riesgo parece que excede el perjuicio que representa o por que existe la confianza de que puede ser controlado apropiadamente. Tolerar un riesgo significa que este debe considerarse y revisarse para reducirse en la medida de las posibilidades.

Para evitar confusiones en la terminología, en general, se asume que la definición de riesgo aceptable incluye la definición de riesgo tolerable, es decir, que un riesgo aceptable también es tolerable. Es importante destacar que la evaluación y seguimiento del riesgo se realiza si se percibe que existe la necesidad de elaborarlo, considerando que se tenga al alcance los diversos actores sociales y órganos de decisión responsables de la gestión. Es necesario analizar correctamente todo los aspectos, socializarlos e identificar cada una de las causas, utilizando las herramientas apropiadas que orienten a la toma de decisiones convenientes (CARDONA, 2005).

### 2.3.1b Visión integral del riesgo

Los riesgos implican un mayor grado de controversia científica que los peligros, tanto respecto a sus causas como de sus consecuencias y probabilidades de ocurrencia. La acepción más divulgada de riesgo es la de "*peligro que se corre*". En las investigaciones realizadas en geografía de los riesgos, se ha puesto cada vez más de manifiesto que peligro es un evento capaz de causar pérdidas de gravedad en donde se produzca. El peligro implica la existencia del hombre para que valore qué es un daño y qué no.

Los fenómenos naturales no son en si mismo perjudiciales, por ejemplo, las inundaciones del Nilo no eran acontecimientos peligrosos para los egipcios. Los fenómenos naturales solo se convierten en peligrosos o en amenaza cuando ocurren donde vive la gente. "Los peligros naturales resultan de los conflictos de los procesos geofísicos con la gente..." (SMITH, 1992). Esta interpretación da al hombre un protagonismo central en la definición, puesto que es a través de su localización, sus acciones y sus percepciones como un fenómeno natural se vuelve peligroso o no. Whittow en su *Diccionario de geografía física* define al riesgo como "*hecho percibido que amenaza la vida o el bienestar de un organismo, especialmente el hombre. Una catástrofe o un desastre es la materialización de un riesgo.*" (WHITTOW, 1988).



El diccionario más actual dirigido por Roger Brunet, *Les mots de la géographie* (BRUNET, 1996) define el riesgo como "*peligro al cual se esta expuesto individual o colectivamente en ciertas circunstancias*". Es evidente el hecho de que se asocia el termino "riesgo" al termino "peligro" en la mayoría de las definiciones analizadas, y que su consecuencia se asocia a la vulnerabilidad.

Partiendo de estas distintas interpretaciones sobre el riesgo, se ha intentado dimensionar, para efectos de su gestión las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, el riesgo no ha sido estudiado de manera integral sino de manera fragmentada, de acuerdo con el enfoque de cada disciplina considerada en su valoración.

Para evaluar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades.

A escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo, debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o la susceptibilidad física de los elementos expuestos, sino también con las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa, es decir, con su capacidad para responder o absorber el impacto.

La deficiente información, comunicación y conocimiento entre los actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, las debilidades en la preparación para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de bienestar económico en un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del mismo respecto del área geográfica considerada.

El riesgo desde un punto de vista integral tiene en cuenta la ausencia de desarrollo económico y social, debilidades para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y falta de capacidad para la respuesta en caso de emergencia. Este riesgo intenta reflejar de la manera mas adecuada posible las condiciones de deterioro social.

Como se ha venido reiterando un área que posea un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto esta en mayor riesgo. (ANEAS, 2000) Es por esto que se necesita de un sistema de gestión y mitigación de esas consecuencias con la intención de visualizar claramente de forma integral todas las variables, y plantear un protocolo de reducción del riesgo en los lugares con más susceptibilidad.

## 2.3.2 Prevención del riesgo

### 2.3.2.a Política de identificación de riesgos

El riesgo requiere de acciones de intervención sobre los factores que implican su existencia. El manejo de los desastres debe iniciarse teniendo como elemento principal la respuesta eficiente a las situaciones que materializan el riesgo.

Esto generalmente se debe visualizar en las pérdidas económicas que podrían generar con la materialización del mismo, y estos datos se pueden conseguir por medio de la identificación de los factores que los componen, con la intención de al final plantear una política que regule la gestión de los mismos.

Por esto es evidente que se deben identificar cual es el riesgo para poder implementar las políticas o medidas de gestión apropiadas. De acuerdo con la tesis de (CARREÑO, 2010) Identificar el riesgo es una acción *ex ante* que significa comprender como se percibe desde el punto de vista de la sociedad, como se representa (modelos, mapas, índices, etc.) y, finalmente, como se mide o se dimensiona. Tener conocimientos sobre las consecuencias que podrían existir en los aspectos sociales y materiales ayuda a que dentro de los planes de intervención, prevención y manejo de los recursos y aportan a que se construyan medidas que contribuyan a reducir o minimizar las consecuencias de los futuros desastres.

Desde un punto de vista analítico, específicamente, en los lugares con alto nivel de peligrosidad sísmica y vulnerabilidad, la mayoría de los individuos no tienen conocimiento, ni son conscientes sobre el riesgo que corren por las condiciones en las que se encuentran. A menudo, la gente culpa a otros por sus pérdidas, no utiliza las estrategias preventivas disponibles y confía demasiado en la ayuda humanitaria cuando las necesidades la exigen (MILETI, 1999).

Esto quiere decir que es importante la toma de decisiones, educar sobre el hábito de prevención y accionar esas políticas de prevención para que se entiendan que son eficientes y están disponibles. No es tan sencillo tomar las mejores cuando se tienen limitaciones económicas y sociales. Es comprensible en este caso la falta de prevención por la ausencia de preocupación por el presente y el futuro inmediato.

El manejo del riesgo, la gestión y mitigación del mismo es un aspecto de vital importancia desde el punto de vista social, individual y colectivamente, por la ausencia de educación y hábito de seguridad en la mayoría de la población. Desde un punto de vista metodológico la identificación y análisis de las amenazas de origen natural o antrópico y de la vulnerabilidad física, ambiental social, económica, cultural, etc., Constituyen una herramienta de diagnóstico que facilita clasificar los problemas y deficiencias y priorizar las acciones de carácter político, económico social y ambiental, que deben realizarse para lograr un desarrollo equilibrado.



Concluyendo en que para realizar un análisis de riesgo se deben seguir tres pasos: estimar la amenaza o peligro, evaluar la vulnerabilidad y llevar a cabo la evaluación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores. (TAYLOR, 1998).



Imagen 28

Imagen 28 y 29: Autoridades escolares educan a los niños sobre qué hacer al momento de un sismo, Venezuela. **El GRESAR imparte talleres de prevención y divulgación sísmica a escuelas y liceos de Caricuao.** Recuperado de [www.gabinetejuvenildecaricuao.blogspot.com.es](http://www.gabinetejuvenildecaricuao.blogspot.com.es)



Imagen 29

### 2.3.2b Política de gestión de riesgos para catástrofes en lugares con alta peligrosidad.

Gestionar una catástrofe significa buscar las soluciones apropiadas a las problemáticas que se presentan en el territorio cuando se materializa el riesgo. Este tema se entiende como una de las soluciones más usadas al momento de considerar un sismo o cualquier otro fenómeno natural que pueda ocurrir a un territorio.

De acuerdo con las investigaciones realizadas, la mayoría de las acciones que hacen referencia a catástrofes naturales consisten en sistemas de actuación "luego" de la ocurrencia de la catástrofe, esto quiere decir, que la costumbre de los habitantes es esperar a que haya pérdidas humanas, o daños materiales, para luego intervenir y tener la intención de acondicionar correctamente las viviendas.

Se considera por este motivo en la tesis de (CARREÑO, 2010) que las políticas de gestión de catástrofes corresponden a acciones *ex post*, es decir, son respuestas a las emergencias, la rehabilitación y la reconstrucción. Estas acciones pueden consistir en evacuaciones, búsqueda de afectados, rescate, asistencia, organización de las comunidades, reconstrucción de sistemas de servicios básicos.

De acuerdo con lo analizado en la mayoría de los casos las gestiones "post" sismo, no son factibles económicamente. El manejo de los bienes y recursos en momentos de trauma, emergencia y desesperación no se realiza de una forma apropiada, y a esa situación se le agrega la posibilidad de que no exista un plan de protección civil o de acción inmediata (emergencia) que proporcione las atenciones apropiadas, en el tiempo conveniente.

En la mayoría de los países latinoamericanos con alto nivel de vulnerabilidad y peligrosidad sísmica, se tiene en cuenta un plan para accionar luego del sismo. Generalmente las atenciones se traducen en un total caos, cuando el plan se enfrenta a pérdidas no esperado o no estimado, siendo esta una de las cosas que más ocurren.

Uno de los ejemplos más representativos y que específicamente forma parte del caso de estudio y el tema principal para la elaboración de este trabajo de fin de master, es lo que ocurrió en la República de Haití en el año 2010, según los medios de comunicación, Haití recibió la cantidad ayuda necesaria para restaurar su infraestructura, y al mismo tiempo, asistir a los damnificados, sin embargo, no existían políticas de gestión de catástrofes a pesar de las altas condiciones de vulnerabilidad y peligrosidad sísmica del territorio.





Usualmente el gobierno es responsable de llevar a cabo las políticas de gestión de catástrofes, pero también las políticas de prevención de daños. La factibilidad de estas políticas se ve afectada por la situación económica y el alcance que tenga el gobierno en el momento en que ocurre la catástrofe. Cuando ocurren catástrofes extremas es usual que los gobiernos nacionales o federales apoyen la reconstrucción de los bienes públicos de nivel local y regional, dada la incapacidad de estos últimos para reconstruir su infraestructura.

Los aspectos considerados como prioritarios en las políticas de gestión de catástrofes como responsabilidad del estado son:

- A) La vida y la integridad humana
- B) Los medios de supervivencia
- C) El medio ambiente
- D) El soporte eco sistémico de la vida y la subsistencia
- E) Los bienes públicos
- F) Los bienes privados de uso colectivo
- G) Los medios de producción soportantes del trabajo y la manutención
- H) Los bienes privados



Imagen 30: Respuestas de emergencia por parte de las autoridades, terremoto Haití 2010. Recuperado de [www.taringa.net](http://www.taringa.net)

### 2.3.2.c Políticas de reducción de riesgos

Esta claro que catástrofes como las ocurridas en Haití, Chile o Turquía no se pueden evitar. Lo que si se puede controlar es la cantidad de consecuencias que se producen a partir de ellas y en ese mismo contexto el comportamiento de la sociedad para contribuir a que los daños se reduzcan dentro de las posibilidades.

Una de las principales causas de riesgo en los países latinoamericanos es la falta de responsabilidad en el sector construcción, abunda la ignorancia, no considerando en el planteamiento de las estructuras la posibilidad de ocurrencia de un sismo, a pesar de encontrarse en un territorio con alta peligrosidad.

Esto quiere decir que iniciar a adquirir el hábito de consideración de los factores de riesgo por parte de la población es el primer elemento que se debe considerar como principal reductor del riesgo sísmico. Así mismo, desde el punto de vista gubernamental, fomentar y dar a conocer las políticas de reducción de riesgos y enfocarse en la participación ciudadana en el desarrollo de las mismas.

Según el CITECI (Centro para la capacitación, la innovación, el desarrollo tecnológico y del conocimiento en ingeniería) en sus estudios de Riesgo Sísmico en zonas urbanas la mayoría de las ciudades más pobladas de Latinoamérica están ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico: México, Bogotá, Santiago, Lima, Quito, Guayaquil, Guatemala, San José, Managua, Santo Domingo y Caracas.

Considerándose preocupante la proliferación de desarrollo de viviendas de bajo costo, impulsados también desde hace varias décadas por las instituciones del estado, donde se utilizan de manera repetitiva sistemas estructurales de dudoso desempeño ante cargas sísmicas.

Según varios investigadores la mitigación es la etapa o acción más eficiente de la reducción de riesgos en términos económicos y sociales, junto a ella obras de protección y control para la prevención de desastres. Dentro de las obras de protección una de las labores más importantes es la reubicación preventiva de los asentamientos ubicados en zonas propensas.

Las medidas no estructurales son de especial importancia para que, en combinación con las medidas estructurales, se pueda mitigar el riesgo de una manera efectiva y balanceada.

- a) Organización para la atención de emergencias.
- b) Desarrollo y fortalecimiento institucional.
- c) Educación formal y capacitación.
- d) Información pública y campañas de difusión.
- e) Participación comunitaria y gestión a nivel local.

Medidas no estructurales pasivas son aquellas más directamente relacionadas con la legislación y la planificación, como las siguientes:

- a) Códigos y normas de construcción.
- b) Reglamentación de usos del suelo y ordenamiento territorial.
- c) Estímulos fiscales y financieros.
- d) Promoción de seguros.

Estas medidas no estructurales no requieren recursos económicos significativos y, en consecuencia, son muy propicias para consolidar los procesos de reducción del riesgo en los países en desarrollo.

Todas estas medidas estructurales y no estructurales de reducción del riesgo se promueven en los procesos de planificación del desarrollo en sus diferentes modalidades: planificación territorial, sectorial y socio-económica. Por esta razón se ha insistido en los últimos años en la necesidad de incorporar formalmente la reducción del riesgo (prevención-mitigación) en la planificación y en la cultura.

Ahora bien, la planificación del desarrollo sólo puede tener consistencia si se llevan a cabo unos programas económicos y sociales vertidos sobre un espacio geográfico respecto al cual se tiene una clara visión de su ordenamiento territorial a mediano y largo plazo. Es decir, si existe una compatibilidad y simultaneidad de los diversos tipos de planificación y programación sectorial con las diversas escalas de ordenamiento del territorio.

Desde el punto de vista de la planificación física (regional, urbana) los análisis geográficos, geológicos, ecológicos, de infraestructura, etc., y por lo tanto de amenaza, vulnerabilidad y riesgo deben ser los más completos posibles, puesto que son determinantes para la orientación de los usos potenciales del suelo y para la definición de intervenciones sobre el medio natural y los asentamientos humanos.

Igualmente, desde el punto de vista de la planificación sectorial (administrativa, social, económica), es fundamental la definición de responsabilidades para contribuir a que se impongan ciertas medidas generales (legales, administrativas, fiscales, financieras, etc.) que permitan que la potencialidad de los usos del suelo sea respetada y que las intervenciones se ejecuten debidamente, de tal manera que se puedan alcanzar en grandes líneas los resultados proyectados.



---

Recapitulaciones y observaciones

RIESGO SÍSMICO



El riesgo es producto de la composición de la peligrosidad sísmica y la vulnerabilidad, condiciones que si se ven de forma individual, una se percibe que es de origen completamente natural y la otra se puede decir que por tener que ver con la decisión del hombre y su forma de actuar se entiende de forma específica como responsabilidad de este último (MIYASCHIRO, 2009).

Aunque no siempre se vea de esta forma, el riesgo se puede interpretar en lo que tiene que ver con la decisión del hombre como una irresponsabilidad, incriminada en la mayoría de los casos al mal manejo y aplicación de las leyes de protección civil por parte de las autoridades.

Las mismas deben contar con leyes que vayan en pro de evitar la vulnerabilidad sísmica, de manera que exista un marco seguro de habitabilidad en los lugares con un nivel de peligrosidad sísmica desfavorable. En el desarrollo de este trabajo de fin de master se ha analizado este tema y se podría decir que es uno de los aspectos que dieron origen a la realización de esta investigación, en conjunto con la problemática de vulnerabilidad de las edificaciones y social que se puede encontrar en la República de Haití y los países centro americanos.

Luego de analizar este tema de maneja técnica surgen una serie de preguntas, que claramente la mayoría de las personas en algún momento deben haberse cuestionado ¿Por qué hay riesgo sísmico? ¿Por qué hay tantos afectados cuando ocurre un sismo? ¿Por qué la gente construye en lugares que posee una alta peligrosidad sísmica?, ¿Por qué luego de ocurrir la catástrofe continúan viviendo en las mismas circunstancias? ¿Qué lleva al hombre a tomar estas decisiones?

Técnicamente el riesgo sísmico existe por la posibilidad de que se produzcan daños por movimientos sísmicos en un tiempo determinado en una zona. Esa posibilidad crece o disminuye de acuerdo con las condiciones de vulnerabilidad que posea el territorio. Generalmente los territorios con cualidades mediocres, con edificaciones en condiciones desfavorables, sin aplicación de normativas y en su mayoría ubicados en áreas de alta peligrosidad sísmica son los más afectados al momento de ocurrir un sismo.

Estas colectividades son vulnerables social y económicamente en primer lugar, originando una resiliencia adecuada sobreponiéndose a situaciones adversas por las condiciones de vivienda en la que habitan y permaneciendo en las mismas condiciones a pesar de estar conscientes del peligro que corren (SALAMANCA), a partir de ahí se desarrollan las demás debilidades, considerándose a las mismas como causantes directas e indirectas de los efectos y sucesos al momento de ocurrir un sismo.

Una de las problemáticas principales reside en el lugar en que construye y cómo se construye, algunos investigadores atribuyen esta decisión a que los lugares con peligrosidad sísmica poseen buen clima, suelos fértiles y en algunos casos mayores oportunidades de trabajo, otros lo atribuyen a que en su mayoría son lugares que tienen bajo costo de terreno por las cualidades que lo caracterizan o permiten el asentamiento informal.

Analizándose desde un punto de vista radical y racional, esto debe ser erradicado, eliminando tener como opción o posibilidad construir en un lugar con estas condiciones sin aplicar correctamente las normativas de construcción sismorresistente correspondientes.

Cuando se investiga sobre catástrofes sísmicas principalmente en los países latinoamericanos se descubren cifras relativamente altas de pérdidas humanas debido a colapsos estructurales y a falta de conocimiento sobre como reaccionar al momento de ocurrir un sismo.

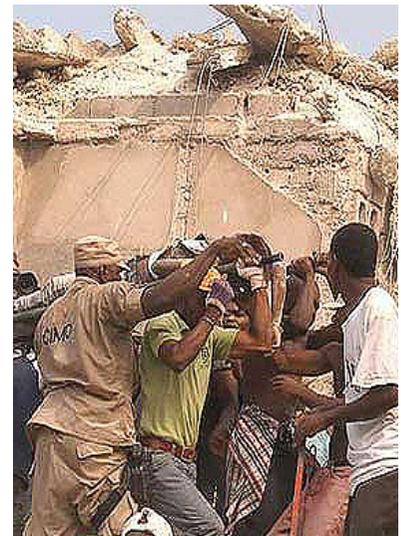
Esto se entiende como una responsabilidad de los organismos de protección civil de las ciudades. El gobierno nacional debe inclinarse por prevenir este tipo de accidentes vigilando que se lleven a cabo medidas de construcción sismo resistente. Otra acción que aporta en los países no desarrollados es la implementación de medidas de evaluación de la peligrosidad sísmica, vulnerabilidad estructural y social, y concientización de la población sobre que es lo correcto desde el punto de vista constructivo, generando una cultura de prevención.

Lo más importante es evitar asentamientos informales en lugares con alto riesgo y desalojar cualquier edificio que no cumpla con las exigencias y medidas establecidas para reducir su vulnerabilidad. La falta de aplicación de estas medidas es la que aprueba a los habitantes de determinadas zonas con riesgo, luego de la catástrofe, a seguir viviendo o decidirse por volver a construir en las mismas condiciones. Esto como producto de la pobreza, falta de empleo y crecimiento poblacional sin límites ni planificación.

Analizando el comportamiento del hombre desde un punto de vista psicológico en el aspecto del pensamiento colectivo, la mayoría de las personas necesitan tener que cumplir con leyes, protocolos o mandatos para realizar cosas que se consideren correctas dentro de la vida en una comunidad o ciudad.

Es decir, las personas necesitan recibir una educación que los acostumbre y que les permita saber cuales son las consecuencias de no cumplir con las ordenanzas correspondientes. Esta es la razón principal por la que los individuos que habitan en estas ciudades con riesgo se arriesgan a construir y habitar irresponsablemente, la falta de atención, asistencia, organización de planes de actuación, educación por parte de las autoridades y la falta de que se obligue al cumplimiento de las leyes.





## 2.4 Identificación y caracterización de daños en edificaciones

Las condiciones estructurales inapropiadas, la falta de responsabilidad en el diseño y construcción, y la falta de conciencia son los principales factores que influyen en la vulnerabilidad de los lugares con un nivel de peligrosidad sísmica desfavorable.

De acuerdo con lo observado en las investigaciones expuestas anteriormente sobre peligrosidad sísmica, existe la posibilidad de que un territorio con alta peligrosidad sísmica y un diseño estructural apropiado no sea tan vulnerable como otro que se encuentre en una zona con una peligrosidad sísmica menor pero unas condiciones estructurales y sociales inadecuadas. La vulnerabilidad se manifiesta generalmente en las condiciones estructurales que presentan las edificaciones de una zona o región. En ese mismo orden, el nivel social, las cualidades del terreno y los materiales utilizados para construir las viviendas son factores que se deben considerar para delimitar el nivel de vulnerabilidad que comprende el territorio.

### 2.4.1 Lesiones en las edificaciones

La vulnerabilidad de las estructuras suele reflejarse a través de lesiones que aparecen en las edificaciones, ocasionando múltiples efectos, desde pequeños daños y molestias para sus ocupantes, hasta grandes fallas que pueden causar el colapso de la edificación o parte de ella. La diversidad de lesiones que se manifiestan en las edificaciones generalmente es innumerable, además de ser un tema muy delicado, es muy difícil identificar con precisión cada una de las problemáticas que se presentan estructuralmente en las edificaciones. A continuación se analizará este tema con la intención de conocer el origen de las lesiones, debido a que el caso de estudio enunciado en el próximo capítulo se encuentra en una situación post-sismo.

Un ejemplo de esto es la identificación de grietas en los elementos estructurales, las mismas pueden ocurrir por un sin número de razones que en algunos casos es fácil de interpretar y en otro no. De acuerdo con el (CIGIR, 2009) una manera sencilla de clasificar las lesiones que se presentan en las edificaciones, es subdividiéndolas según causa de origen. De acuerdo a esto, las lesiones pueden aparecer por tres motivos: defectos, daños o deterioro.

-Las lesiones que aparecen por *defectos*, son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, son los efectos que surgen en la edificación producto de un, al diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o un empleo de materiales deficientes o inapropiados para la obra.

Para evitar los *defectos* en las edificaciones, es necesario la intervención de personal capacitado y honrado durante la elaboración y ejecución del proyecto. Es decir, estas lesiones deben ser evitadas, controladas y corregidas por personas expertas. Un defecto en la edificación, puede traducirse en altas vulnerabilidades, dejando la estructura expuesta a sufrir daño y deterioro de magnitud incalculable.



Imagen 32



Imagen 33



Imagen 34



Imagen 35



Imagen 36

Imagen 32, 33 y 34: Daños en pilares por mala colocación de los estribos y por falta de los estribos necesarios para el buen comportamiento estructural del elemento. Fuente: (CIGR, 2009)

Imagen 35: Agrietamiento en doble diagonal en forma de cruz, formado por tensión diagonal en edificio de mampostería no reforzada. *La nueva vida en los edificios que el terremoto no logró derribar.* Recuperado de [www.construhub.cl](http://www.construhub.cl)

Imagen 36: Deterioro de edificio en Santiago de Chile luego de haber resistido varios sismos. *La nueva vida en los edificios que el terremoto no logró derribar.* Recuperado de [www.construhub.cl](http://www.construhub.cl)

Figura 24.a.1: Clasificación general de lesiones en las edificaciones. Fuente (CIGR 2009)



-Las lesiones causadas por *daños*, son las que se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación. Los *daños* pueden ser producto de la ocurrencia de un evento natural, como un sismo, una inundación, un derrumbe, entre otros. Pero también pueden aparecer daños en las estructuras causados por el uso inadecuado de las mismas, por ejemplo en el que la edificación es obligada a soportar un peso superior al que fue concebido inicialmente (sobrecarga).

Los *daños* muchas veces son inevitables, pero se pueden disminuir; no podemos impedir que ocurra un evento natural, pero sí podemos hacer que éste no se convierta en un desastre. Se deben concebir estructuras menos vulnerables, evitando defectos en el diseño, materiales y construcción, seleccionando la ubicación adecuada para la edificación, respetando los criterios de diseño, y muy especialmente, empleando un poco de sentido común.

-Otro origen de las lesiones, puede ser el *deterioro* de la edificación. Las obras generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura va presentando manifestaciones que deben ser atendidas con prontitud.

La exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol, el contacto con sustancias químicas presentes en el agua, en el aire, en el entorno; hacen que la estructura se debilite continuamente. Por esta razón es de vital importancia para las edificaciones, un adecuado y permanente mantenimiento, que ayude a prevenir el deterioro normal e inevitable causado por el tiempo.

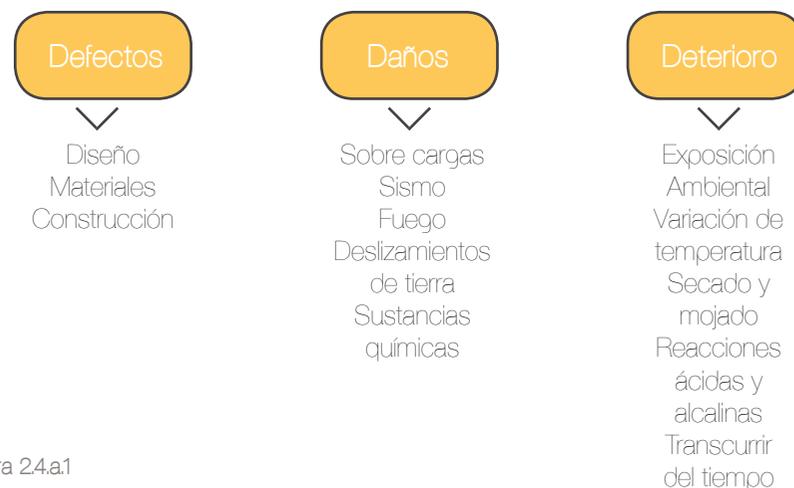


Figura 24.a.1

## 2.4.2 Lesiones causadas por defectos, daños y deterioro

Diversos estudios realizados por el (CIGIR, 2009) considerando diferentes entidades del sector construcción, han determinado que los daños que surgen en las edificaciones, se deben en su mayoría a los defectos durante la fase de diseño y construcción.

### 2.4.2a Defectos

La principal causa de defectos en la construcción, se debe a la falta de personal calificado. Todos los individuos involucrados en el proceso constructivo influyen con sus actos en la calidad de la construcción. Comúnmente los daños generados por defectos en la construcción, se originan por:

- Errores en el replanteo
- Modificaciones del proyecto
- Incumplimiento de las normativas
- Falta de definición del proyecto
- Modificaciones en los materiales

Otro responsable de los *defectos* es la mala utilización de los materiales de construcción. Está claro que los materiales deben cumplir con cualidades óptimas, con los requisitos mínimos de calidad y las condiciones del medio ambiente para que perduren correctamente durante la vida útil de la obra y no sean los responsables de las fallas. En ese mismo orden, el diseño del proyecto influye bastante en el comportamiento estructural del mismo, y puede ser el causante de las fallas durante un evento sísmico.

Es importante considerar la forma, el tipo, la disposición, la resistencia, la geometría, la fragmentación, entre otros aspectos que puedan presentar los diferente elementos estructurales o la estructura en general. De acuerdo con el estudio realizado por el (CIGIR, 2009) no existe una forma estructural ideal, pero si existen ciertos principios básicos que pueden guiar un buen desempeño en cuanto a su configuración. Es por esto que varios países dentro de sus propuestas de viviendas económicas siguen patrones que cumplan con lineamientos de diseño que formalmente respondan de manera idónea para soportar este tipo de catástrofes.

Los principales problemas encontrados en el diseño y configuración de las estructuras, se relacionan con asimetrías y cambios bruscos de dimensiones, masas, rigideces y flexibilidades.

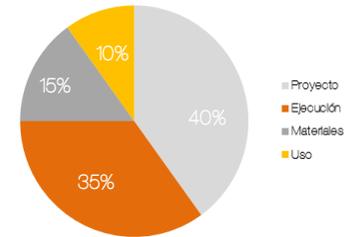


Figura 24.b.1:



Imagen 37

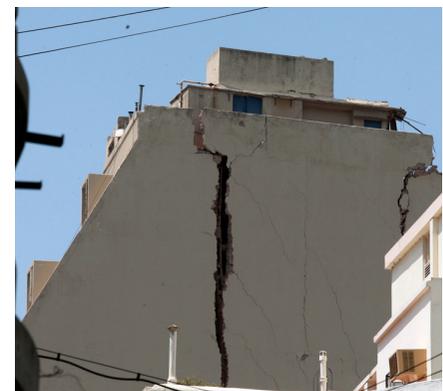


Imagen 38



Imagen 39



Imagen 40

Figura 24.b1: Porcentaje de los principales daños en las edificaciones. Fuente: CIGIR.

Imagen 37: Error inicial de replanteo del hueco por donde debía de pasar la tubería, se puede ver a la derecha el hueco cuadrado dejado a tal efecto en el hormigonado de la planta. Recuperado de [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com)

Imagen 38: Desprendimiento de los elementos estructurales principales y al mismo tiempo causó rajaduras, grietas sobre la pared medianera y el posterior desprendimiento de mampostería del segundo cuerpo de dicho edificio, Uruguay. Recuperado de [www.lanacion.com.ar](http://www.lanacion.com.ar)

Imagen 39 y 40: Mala respuesta de los materiales y la composición de los mismos en un elemento estructural. Recuperado de [www.constructoracastillo.blogspot.com](http://www.constructoracastillo.blogspot.com)

\*Para obtener una mayor descripción del comportamiento y causa de cada una de estos aspectos de manera detallada se remite al documento (CIGIR, 2009) pág.22- 40.



## 24.2b Daños

Los *daños* generados en estructuras se presentan durante eventos sísmicos, los mismos se originan como producto de los defectos en el diseño y configuración estructural, así como en los errores durante la construcción de la obra y el empleo de materiales.

Las principales causas\* de *daños* son:

- 1) Vigas y columnas con grandes esfuerzos de cortante y de tensión.
- 2) Entrepisos sin adecuada resistencia al corte.
- 3) Conexiones viga-columna con fallas de adherencia.
- 4) Muros de cortante con grandes esfuerzos.
- 5) Asimetrías que causan efectos torsionales.
- 6) Golpeteo entre edificios.
- 7) Variaciones bruscas de rigidez a lo largo de la altura de la edificación.
- 8) Amplificación de los desplazamientos en pisos superiores.
- 9) Grandes esfuerzos causados por presencia de columnas cortas.

## 24.2c Deterioro

Por otra parte, algunas de las lesiones que se pueden observar en las edificaciones son también ocasionadas por el paso del tiempo y la exposición de la estructura al medio ambiente.

La sintomatología que presenta una estructura, puede ser indicativo de fallas en su seguridad o en su durabilidad. Una de las lesiones más observadas en estructuras de hormigón armado son las fisuras y grietas (para obtener una mayor descripción del comportamiento y causa de estas lesiones de manera detallada se refiere al ((CIGIR, 2009) pág. 41-43).

Los efectos que pueden ocurrir:

- Humedades y filtraciones en paredes, techos, losas y otros elementos.
- Agrietamientos, desgarramientos e incluso desintegración de elementos expuestos a ciclos continuos de agua y sol.
- Descascaramiento y desintegración de elementos metálicos, producto de la corrosión de los mismos al estar expuestos al aire libre.
- La variación de temperatura y humedad ambiental originan cambios en el volumen de los materiales; estos cambios se manifiestan como contracciones y/o expansiones que pueden agrietar el elemento e incidir en su integridad.
- Asentamientos producto de la consolidación del terreno. Estos asentamientos se manifiestan generalmente, con agrietamientos de los elementos de la estructura.

## 2.5. La prevención ante catástrofes sísmicas

De acuerdo con el *Diccionario de acción humanitaria y cooperación al desarrollo* la *prevención* se refiere a las medidas diseñadas para proporcionar protección de carácter permanente ante los desastres, impidiendo la aparición de una catástrofe desencadenante y/o reduciendo su intensidad a fin de evitar que se precipite un desastre causando daños, desestructuración y víctimas.

Analizándose desde diferentes puntos de vista el factor prevención, se puede decir que una de las principales acciones para iniciar con este procedimiento es el análisis de la peligrosidad sísmica de la zona, posterior a esto como se ha mencionado anteriormente es necesario evaluar el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones a través de la identificación de las lesiones y mediante el análisis del comportamiento de los elementos estructurales frente a las posibles magnitudes en escala de Richter esperadas para el sector o región en la que se encuentre.

El estudio de las condiciones que impliquen el nivel de riesgo que se pueda generar considerando los dos aspectos anteriores. Es importante recalcar que el procedimiento más efectivo para prevenir que ocurran colapsos o daños en las edificaciones es el diseño y construcción responsable, así mismo, la correcta utilización de los materiales, mantener en constante revisión los elementos estructurales y su respuesta a las cargas de servicio.

Para planificar la prevención de riesgo en las edificaciones es necesario seguir determinadas fases en las cuales se llevan a cabo acciones que colaboren a identificar cuales son las problemáticas y de qué forma se pueden solucionar o mejorar para que el nivel de vulnerabilidad se reduzca. Estas fases consisten en:

- A) Establecer e identificar las acciones o condiciones que pueden provocar los problemas de comportamiento estructural en las edificaciones.
- B) Eliminar o controlar esas causas.

Esto se puede lograr por medio de inspecciones, observaciones y análisis del comportamiento de las edificaciones a las distintas hipótesis de carga. Igualmente es importante crear una cultura de inspección periódica de los elementos estructurales que coopere a mantener en buen estado estos elementos y a su vez mantenga el comportamiento adecuado de la estructura.





Imagen 41: Efectos de un terremoto de 6.3, escala de Richter sobre iglesia *Christchurch* en Nueva Zelanda. Recuperado de [www.valasz.hu](http://www.valasz.hu)

## 2.5.1 Metodologías, protocolos y procedimientos de prevención existentes

En la actualidad existen numerosos protocolos y procedimientos que se pueden emplear de manera genérica, alrededor del mundo. Adaptándose a las distintas condiciones territoriales, al nivel de detalle que se pretende alcanzar sea alto o medio y a las posibilidades económicas del lugar.

Existen distintas guías para crear plantillas de evaluación que permiten analizar las condiciones estructurales de las edificaciones permitiendo de manera simple y detallada entender cuales son las posible problemáticas y plantean soluciones de acuerdo con cada caso o situación que pueda afectar un elemento estructural o a la edificación en su conjunto.

Por otra parte, hay guías que sirven de apoyo para tener conocimientos sobre cuáles son los procedimientos que se deben tener en cuenta para llevar a cabo un protocolo de prevención, detallando cuales son los pasos a seguir. Otro factor importante es el factor social dentro de la toma de decisiones y planificación de prevención, en la mayoría de los casos estos vienen adjuntos a los procedimientos de actuación.

Estos constan de guías de protección civil para que los individuos sepan como reaccionar y donde refugiarse una vez ocurrida la catástrofe dependiendo de las cualidades que posea la edificación. Algunos de los métodos, protocolos y procedimientos de prevención existentes en Latinoamérica y las organizaciones responsables de los mismos son:

**Plan Provincial de Prevención Sísmica de la Provincia de Jujuy, Argentina.**

> A cargo del *Consejo provincial de emergencia sísmica*. Está planificado para las zonas de riesgo sísmico de la República Argentina las zonas del Ramal y del Valle de Jujuy se encuentra dentro de la categoría elevada, mientras que la Quebrada de Humahuaca y la Puna están dentro de la zona denominada moderada. Consta de: programa recolección de información, programa de prevención y control de infraestructura, programa de capacitación y programa de atención de la emergencia

**Manual del Formato de Captura de Datos para Evaluación Estructural Preventiva de México**

> A cargo del *Sistema Nacional de protección civil y el Centro nacional de prevención de desastres*. Esta planificado para evaluar estructuralmente las edificaciones existentes antes y después de haber sido sujetas a los efectos de movimiento del terreno. El formato o plantilla puede ser utilizado en cualquier área que requiera de este tipo de análisis. Se ha realizado a partir del análisis de varios formatos utilizados de manera municipal en México y Chile.

**Guía de Prevención de Desastres de México.**

> A cargo de la *Secretaría de gobernación, Coordinación general de Protección civil y el Centro nacional de prevención de desastres*. Es un documento que funciona como guía al ciudadano para que tenga conocimientos de como actuar ante un fenómeno natural.

**Plan integrado para la prevención y atención de emergencias y desastres de la contraloría de Bogotá, Colombia.**

> A cargo de la *Contraloría de Bogotá D.C* se fundamenta en la estructuración de acciones preventivas y en la preparación administrativa, funcional y operativa en cada una de las etapas de la emergencia (antes, durante y después de su ocurrencia). Considerando la preparación para amenazas potenciales, creando condiciones que permitan a todos los empleados y personal transitorio, adquirir los conocimientos y actitudes organizativas necesarias para actuar correctamente en la prevención, atención, control y recuperación de una emergencia.

**Guía de Técnica de recomendaciones para sismos y terremotos de Chile.**

> A cargo del *Ministerio del interior y seguridad pública del gobierno de Chile*, esta compuesto por recomendaciones para la comunidad en general (familias, empresa y establecimientos educacionales) sobre las acciones a realizar "Antes, Durante y Después" de sismos, con el propósito de reducir el impacto en la población producto de este fenómeno.

**Metodología básica para la elaboración de un plan de prevención y de respuesta por actividad sísmica de Chile.**

> A cargo de la *Oficina nacional de emergencia del gobierno de Chile*, se desarrollo como apoyo al *plan nacional de protección civil* del año 2002, un documento que orientador que permite abordar los factores de vulnerabilidad asociados a la amenaza de actividad sísmica

**Plan Nacional de Prevención Ante Sismos 2010 de Perú.**

> A cargo del *Sistema nacional de defensa civil de Perú*, consiste en una serie de revistas, conferencias y programas de verificación e intervención para edificaciones en el que se concientiza a la población sobre la importancia de la prevención, como se debe actuar, los pasos previos ante una amenaza de actividad sísmica de manera local y regional.

**Plan de Prevención y Respuesta para Emergencias de Baja California.**

> Es un instrumento para que las unidades académicas y administrativas de la *Universidad Autónoma de Baja California* realicen actividades en materia de protección civil de manera responsable, asumiendo los riesgos a los que puede estar expuesto, así como las correspondientes medidas antes, durante y después de una emergencia o desastre.

**Programa Nacional para la Prevención y Mitigación de Desastres de Costa Rica.**

> A cargo del *Gobierno de Costa Rica*, Se propone un Programa de prevención, mitigación y preparación ante amenaza de posible sismo en la zona de la Península de Nicoya. Es un documento compuesto por un análisis de las condiciones de peligrosidad sísmica y vulnerabilidad de varias zonas en Costa Rica. Así mismo, se dispone de un grupo de mapas y gráficos que representan los principales efectos que pueden ocurrir estructuralmente (edificaciones) y el territorio en cada área considerando las condiciones de vulnerabilidad que la componen.

**Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres 2011-2015 de Panamá.**

> A cargo del *gobierno nacional de la República de Panamá*, es un proyecto desarrollado con la finalidad de reducir los niveles de vulnerabilidad de la población por medio de la intervención en medidas de prevención y mitigación dirigidas en sectores que viven en condiciones de alto riesgo.

**-Documento País Venezuela: Reducción de Riesgo de Desastres a Nivel Nacional.**

> A cargo del *Ministerio del poder popular y la dirección nacional de protección civil y administración de desastres, Caritas y Cruz Roja Venezolana*, el documento constituye un instrumento de gestión de gran utilidad en el fortalecimiento de la prevención y atención de desastres a nivel nacional. Se enmarca dentro del ciclo del programa DIPECHO que consiste en el programa de preparativos para desastres del *Departamento de ayuda humanitaria de la comisión europea* dirigido a comunidades vulnerables que viven en regiones del mundo propensas a catástrofes.

Algunos de los métodos, protocolos y procedimientos de prevención existentes en Europa y Asia, y las organizaciones responsables de los mismos son:

**Plan Especial Frente al Riesgo Sísmico en la Comunidad Valenciana, España.**

> A cargo de la *Generalitat Valenciana*, establece la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios cuya titularidad corresponde a la Generalitat, y los asignados al mismo por otras administraciones publicas, así como los recursos privados, al objeto de hacer frente a las emergencias por terremotos ocurridos en su ámbito territorial , o bien, formando parte de la organización estatal, cuando tales situaciones se produzcan en cualquier otra parte del territorio nacional, garantizando una respuesta operativa que limite los daños a personas, bienes y sistemas generales de infraestructura.

**Manual de Prevención de Desastres de Nagoya, Japón.**

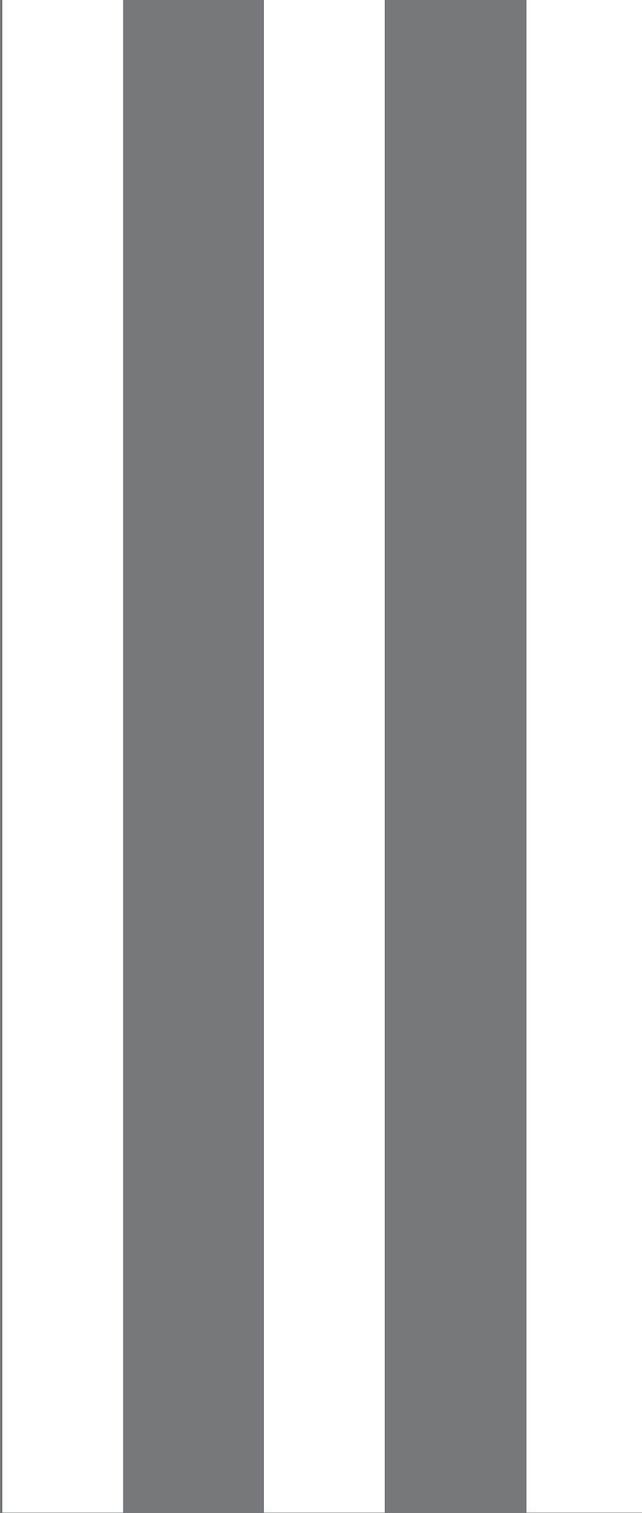
> A cargo del *Centro internacional de Nagoya*, se desarrollo un manual con el fin de desarrollar el nivel de conciencia preventiva de los ciudadanos extranjeros. El mismo se divide en 3 partes en las que se le explica como tomar las medidas preventivas necesarias.

**Piano Nazionale per la Prevenzione del Rischio Sismico (Plan Nacional para la Prevención del Riesgo Sísmico), Italia.**

> A cargo de *Presidenza del consiglio de i ministri di partito della protezione civile*. Es un documento desarrollado con el objetivo de prevenir, socorrer la población y mitigar el riesgo por medio de actividades de protección civil. A través del mismo se alerta, planifica, forma y se difunde a los pobladores sobre la protección civil y las posibilidades de actuación. En el mismo se incluye la campaña "*Io non Rischio*" que trata específicamente de formar un voluntariado especializado con la intención de promover la cultura de la prevención.



| Imagen 42: Mujer haitiana camina entre los escombros, luego del sismo que ocurrió en la República de Haití, Enero 2010. Fuente: [www.taringa.net](http://www.taringa.net)



# CAPÍTULO III

RIESGO SÍSMICO Y AUTO CONSTRUCCIÓN  
EN LA REPÚBLICA DE HAITÍ

### 3. Riesgo sísmico y autoconstrucción en la República de Haití

#### 3.1 El Territorio Haitiano

La República de Haití es un país de las Antillas, situado en la parte occidental de la isla La Hispaniola. Limita al norte con el océano Atlántico, al sur con el mar Caribe y al este con la República Dominicana. Está separada de Cuba por el paso de los Vientos (Windward). Tiene una superficie de 27.750 km<sup>2</sup> y sus costa miden 1.771 km.

Su población es de 10.317.461 personas, con una densidad poblacional de 372. La capital es Puerto Príncipe, el idioma oficial el francés, y el francés criollo haitiano, la forma de gobierno es de una república. Haití ocupa la tercera parte occidental de la isla de La Hispaniola, e incluye algunas islas y cayos pequeños, como La Gonaive y la Tortuga.

Sus costas son recortadas, en las que se encuentran golfos, cabos y penínsulas. Existen dos grandes penínsulas, una al norte, la de San Nicolás, que termina en las crestas y llanuras de Bombardopolis, y otra al sur, la del tiburón, separadas ambas por el golfo de La Gonaive. Dentro del golfo existen numerosos cayos e islotes muy pequeños.

Como parte de una isla volcánica que se encuentra en el borde de las placas del Caribe y norteamericana, las rocas dominantes son volcánicas, que forman el sustrato, y calizas de origen coralino, que surgen en aguas someras en los períodos en los que la isla aún no ha emergido del todo.

Además, existen zonas de sedimentos aluviales en torno a los ríos. Su relieve, muy montañoso, escarpado, con pequeñas planicies y valles costeros continuación natural del de Santo Domingo. Se puede dividir el país en dos sectores, uno al norte y otro al sur, separados por el valle del Artibonite.

En la vertiente más septentrional se encuentran las montañas Negras, con altitudes de unos 1.800 metros. Algo más al sur está la cordillera del Norte (continuación de la cordillera Central dominicana). Ambas unidades están separadas por el valle de Hinche. Al sur de la cordillera Norte se encuentra la planicie Norte (prolongación del valle del Cibao dominicano). Los ríos son escasos, cortos y sin posibilidades de navegación.

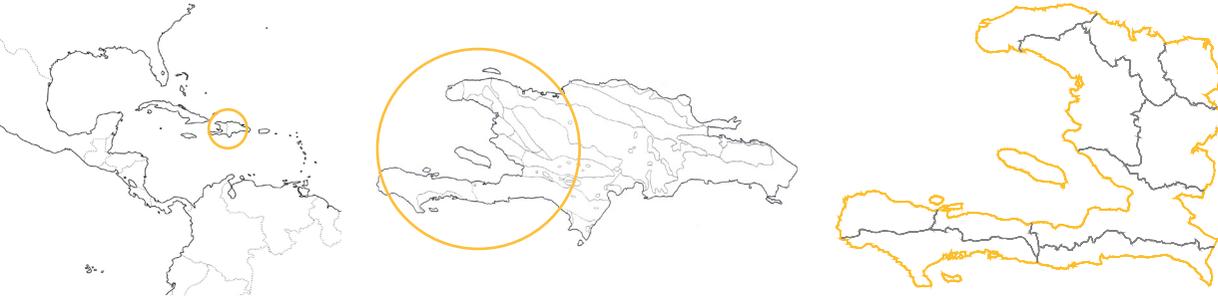
El clima de las islas es tropical húmedo con una media de entre 23 y 29 °C dependiendo de la altitud. La flora y la fauna son las propias del imperio biogeográfico y la ecozona neotropical, con algunos endemismos, propios de las islas. De manera natural posee un bosque pluvial, pero ha desaparecido debido a la presión humana (Ignacianos por Haití, 2011).



Imagen 43

---

Imagen 43: Representación gráfica de los continentes y ubicación geográfica de Haití. Recuperado de [www.freebievectors.com](http://www.freebievectors.com) (Elaboración propia de la diagramación)



### 3.1.1 Principales lineamientos tectónicos de la Isla La Hispaniola

La Hispaniola sobre la cual está la República de Haití se encuentra ubicada en la placa tectónica del Caribe que presenta un movimiento de traslación como cuerpo rígido de  $20 \pm 2$  mm al año, en dirección suroeste-noreste ( $70^\circ$ ); sus bordes contactan: al norte con la Placa de Norte América, al sur con la Sudamérica, al oeste con la de Nazca y al este el Fondo Oceánico del Atlántico.

La isla Hispaniola, que comparten República Dominicana y Haití, cuenta con un sistema de fallas geológicas activas que atraviesan casi todo el territorio firme y algunas zonas marinas, lo que evidencia una alta sismicidad, con probabilidades de ocurrencia de terremotos y maremotos o tsunamis.

Desde 2003 hasta septiembre de 2011 se habían registrado un total de 3,586 movimientos telúricos, de los cuales 1,979 tuvieron magnitudes entre 2.4 y 5.4 en la escala de Richter. Uno de los bloques más importantes por, su actividad sísmica, está al norte del país, con la falla Septentrional que va desde Manzanillo, Monte Cristi, en el Noroeste, hasta Samaná, en el nordeste, con una longitud de 300 kilómetros.

Al norte también están las fallas Trinchera de Puerto Rico y/o fosa de Milwaukee y La Hispaniola Norte. Ambos grupos ocupan parte del océano Atlántico. A este bloque se suman pequeñas fallas internas que parecen ramas, como las de Bonao, Oriental o de Higüey. El Bloque del Sur, penetrando desde la zona sur del territorio marino haitiano, existen varias fallas importantes, como la Enriquillo-Plantain Garden, la Trinchera de los Muertos, Los Pozos de San Juan, Neiba, Azua, Ocoa hasta llegar a la Fosa de Los Muertos, al sur de Santo Domingo, San Pedro de Macorís y La Romana. (MEJIA, 2012)

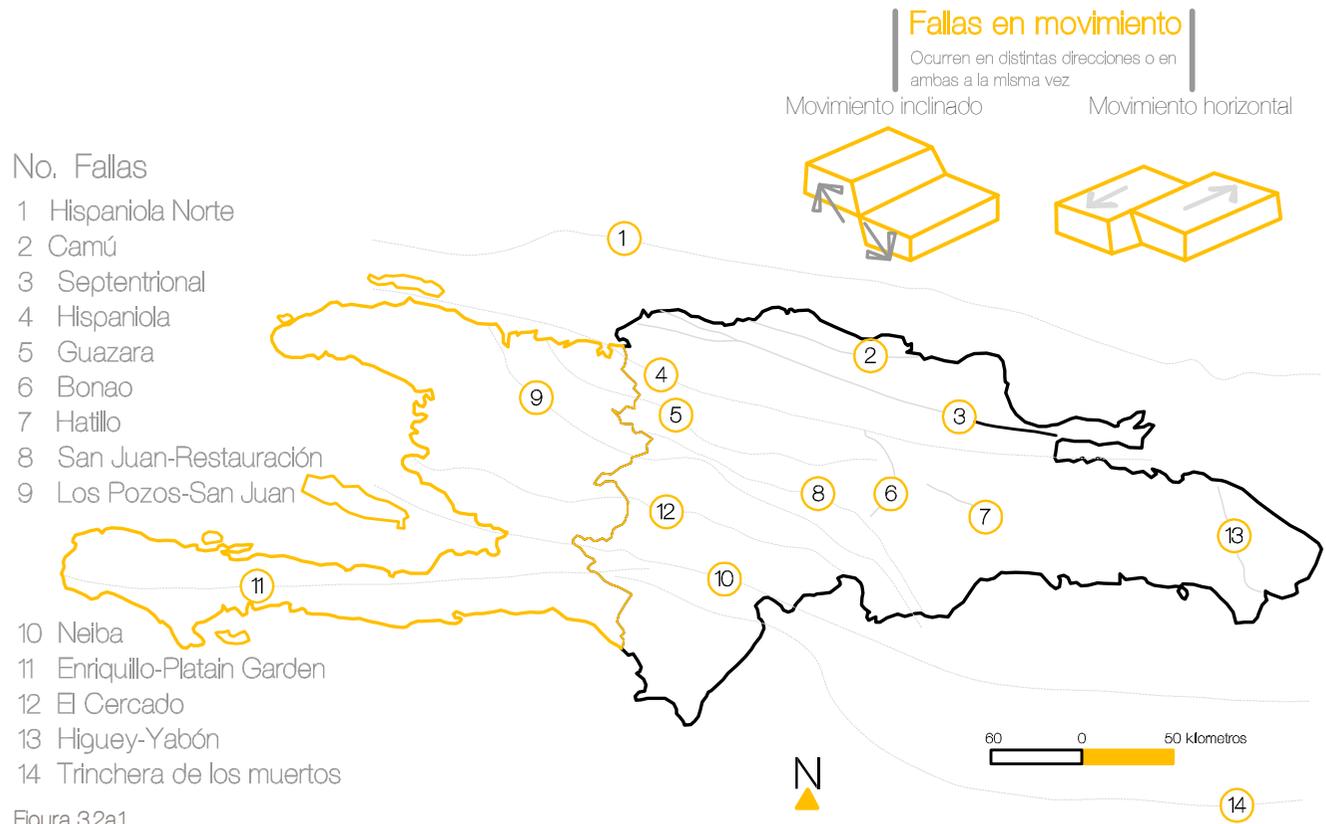


Figura 3.2a.1

### 3.2 Riesgo sísmico en el territorio Haitiano

Haití tiene una larga historia de grandes terremotos anteriores al de enero de 2010 (SCHERER, 1912) (KELLEHER et al, 1973) (MCCANN, 2006) (ALI et al, 2008). En la zona sur, alrededor de Puerto Príncipe, se produjeron tres sismos destructores durante el siglo XVIII: el de 1701 destruyó la ciudad de Léogâne; el de noviembre de 1751 causó daño severo en la capital y se atribuye a la falla de Enriquillo; el de junio de 1770 también fue destructivo y se produjo al oeste de Puerto Príncipe.

A estos dos últimos, (MCCANN 2006) les asignó una  $M_w$  7,5 basándose en informes de intensidad. En el siglo XIX también se han registrado grandes terremotos: en 1860 ocurrió otro evento al oeste de la capital asociado a la falla de Enriquillo; en el norte, la falla Septentrional rompió en 1842 y 1887 dando lugar a dos sismos que arrasaron ciudades como Cabo Haitiano o Port de Paiz, para los que (MCCANN, 2006) estimó una  $M_w$  8,0 y 7,8, respectivamente (PIERISTRAL, 2012). Todos estos asociados a factores antrópicos y enormes daños potenciales debido a la peligrosidad sísmica que posee el territorio en combinación con la vulnerabilidad de las edificaciones, que predomina en esta parte de la isla.

Figura 3.2a.1: Representación gráfica de los principales lineamientos tectónicos de la isla la Hispaniola. Fuente *Plan nacional de contingencia para terremotos (COE) de la República Dominicana, 2009.* (Rediseñado por el autor)

Figura 3.2a.2: Representación gráfica del historial sísmico de la República Haití. **Elaboración propia.**

Figura 3.2b.1: Mapa de peligrosidad sísmica (PGA) de La Hispaniola para el periodo de retorno de (a)475, (b)975 y (c)2475 años. (PIERISTRAL, 2012). Fuente: Trabajo de fin de master: *Recomendaciones hacia la normativa sismorresistente de Haití. Universidad Politécnica de Madrid.*

\*Periodo de Retorno(TR): el período de retorno es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad. Fuente: [www.seismic06g.wordpress.com](http://www.seismic06g.wordpress.com)

### 3.2.1 Historial sísmico de la República de Haití

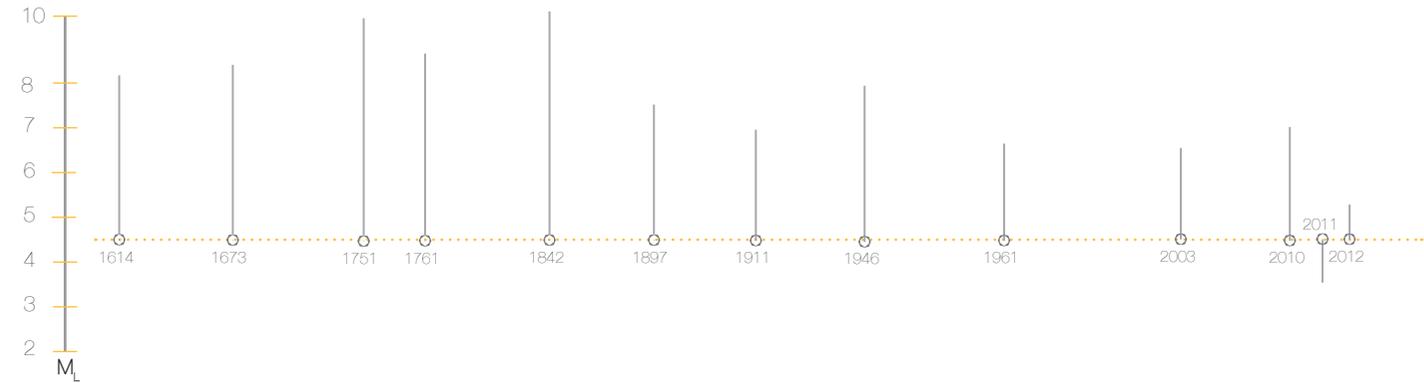


Figura 3.2a.2

El resultado de estos mapas de peligrosidad sísmica del territorio haitiano se obtuvieron como producto del cálculo de peligrosidad propuesto por (PERISTRAL, 2012) para la realización del trabajo de fin de master *Recomendaciones hacia la normativa sismo resistente de Haití*.

Los diagramas que fueron elaborados para evaluar la peligrosidad en todo el territorio de la isla La Hispaniola, fueron editados por la autora, para puntualizar en la parte de la isla que corresponde al territorio haitiano, aclarando que el resultado de la investigación se plantea con la intención de que a partir de estos datos se pueda emplear el recurso que se aportara en el próximo capítulo en cualquier lugar con características similares a las analizadas.

Como antecedente a estos resultados, se remite a los mapas obtenidos por (FRANKEL, et al., 2011) y el adoptado por el *Código sísmico de la República Dominicana* que se muestran en (PERISTRAL, 2012) pág. 83. De los mismos Peristral confirma que "La morfología de los mapas obtenidos en este TFM es bastante similar a los del mapa de Frankel, pero los valores de PGA son significativamente menores, siendo más consistentes con los dados por el Código de la República Dominicana".

Como una tendencia general, los valores de PGA obtenidos en este estudio para TR de 975 años son similares a los del mapa de Frankel para TR de 475 años." **Ver Mapas en Anexo 1.**

Los mapas permiten observar que la zona con mayor peligrosidad sísmica se localiza en las áreas más próximas al límite de las placas tectónicas, específicamente la Septentrional en la parte norte de la isla, en la que se destacan las ciudades de Port de Paix, Cap-Haitien y Port- Liberté. La falla Enriquillo al sur y la Matheux Neiba al norte de la capital y las ciudades de Jeremie, Cayes, Miragoane y Jacmel, siendo esta última una de las más afectadas por el terremoto del 2010.

Se destaca que de estas placas un caso muy especial lo constituye la falla Septentrional, donde se ha verificado por estudios paleosísmicos realizados por la Universidad de Texas en excavaciones de trincheras que la cruzan, que esta tiene más de 800 años sin que haya roto la corteza terrestre, acumulando desplazamientos elásticos de aproximadamente 4 metros, que son suficientes para producir un evento de magnitud mayor de 8 en la zona del Cibao que corresponde a la región norte de la República Dominicana. Lo que indica que en cualquier momento se puede producir esta liberación de energía.

### 3.2.2 Peligrosidad sísmica en el territorio haitiano

De acuerdo con las investigaciones y análisis de datos en las distintas instituciones de la República Dominicana y Haití, la isla no tiene memoria sísmica ya que el segmento de la población que actualmente tiene posiciones dirigenciales, tanto en el sector privado como en el oficial no estaba nacida o no puede recordar ya que han pasado muchos años desde que ha ocurrido uno de los peores sismos.

En el año 1946, entre éste y el sismo de Haití del año 2010 hay 64 años. Durante ese proceso de 64 años se percibía un falso sentimiento de seguridad o de país asísmico hasta que ocurrió el sismo del 2010. Cada cierto tiempo se sienten pequeños sismos, que avisan que se debe estar preparado. Sin embargo, las autoridades no ponen en práctica ningún plan de prevención ante catástrofes sísmicas.

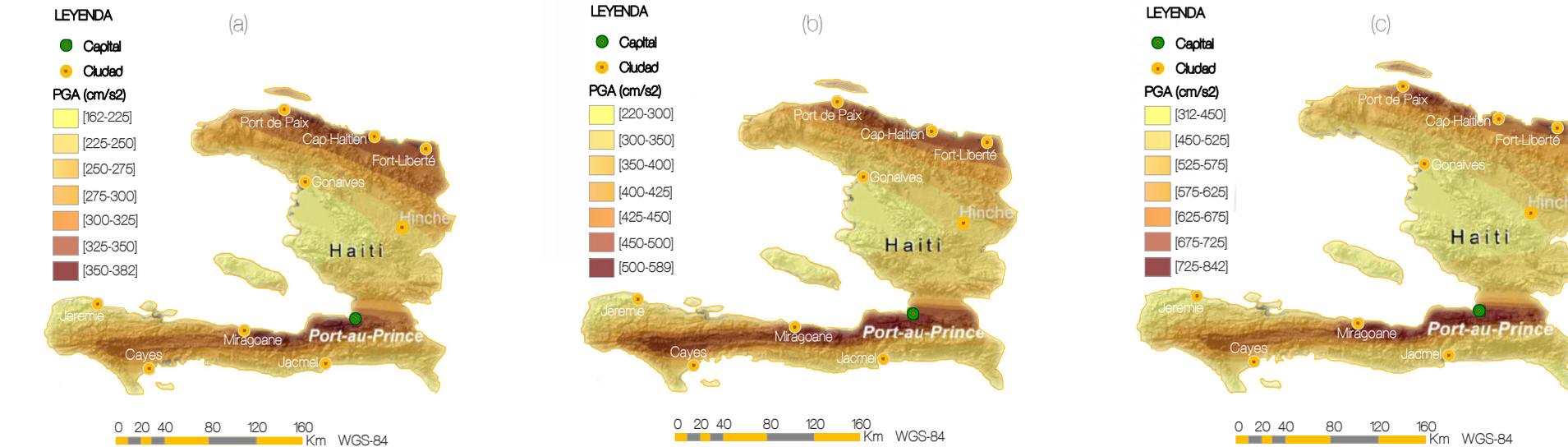


Figura 3.2b.1



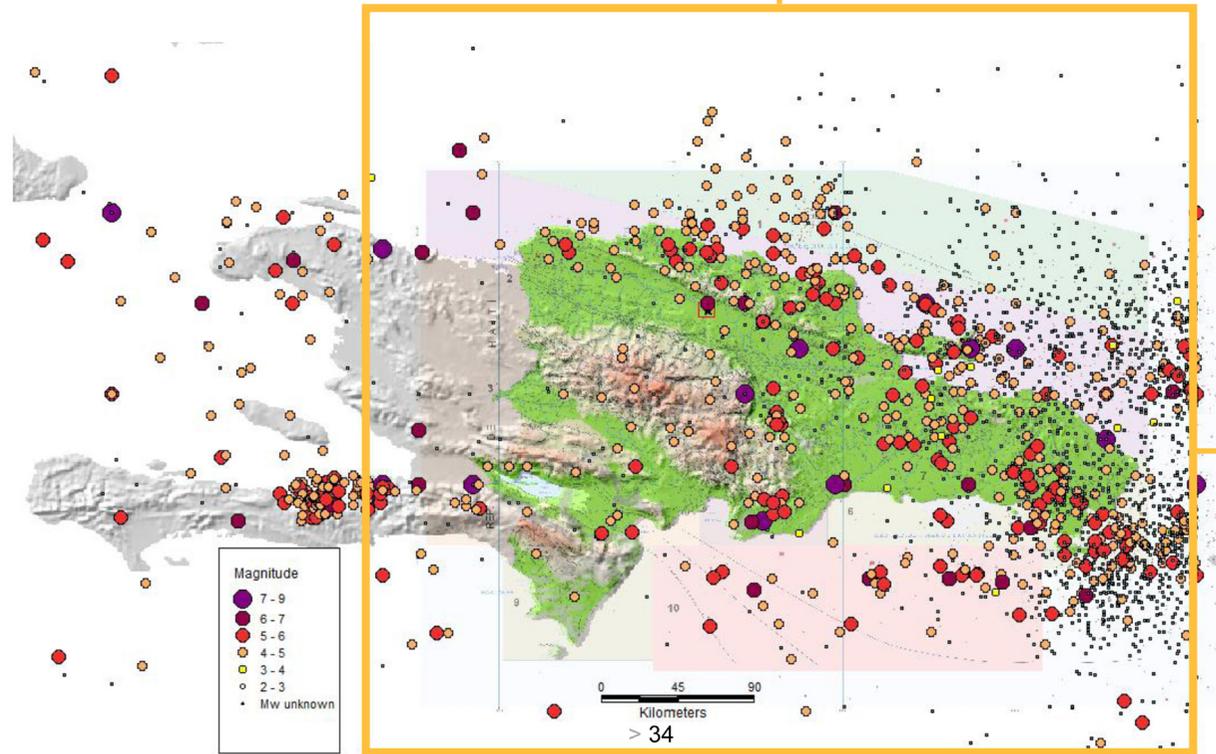


Figura 3.2b2: Sismos en la isla Hispaniola 1564- 2010, en  $M_w$  (Escala sismológica de magnitud de momento\*). Recuperado de [www.db.undp.org](http://www.db.undp.org)

### 3.2.3 Vulnerabilidad sísmica del territorio haitiano

De acuerdo con (BILHAM, 2010) las causas de vulnerabilidad de las viviendas ubicadas en el territorio haitiano son obvias. Las viviendas cuentan con malas prácticas constructivas, como la utilización de acero frágil en los armados, cemento adulterado con sal y otros contaminantes, estribos mal cerrados en las uniones viga-pilar, etc.

Esta conclusión fue obtenida por (MIX et al, 2011), los cuales realizaron una investigación sobre los fallos estructurales que provocaron los daños observados en Haití luego del sismo del 2010. Concluyeron que, en muchos casos, estos fallos se debían a columnas de tamaño incorrecto o incorrectamente reforzadas, materiales deficientes, prácticas de construcción no adecuadas y ausencia de consideraciones antisísmicas en el diseño estructural.

Otra causa de los daños, se interpreta visualmente que tuvo origen en el tipo de suelo en el que se construyeron las edificaciones debido a que en las zonas afectadas se podían apreciar áreas de graves daños junto a otras de daños moderados o incluso sin daño, aun teniendo edificaciones de similares características constructivas.

Por lo que se coincide con (TORRES, 2012) la cual indica que el movimiento sísmico de entrada pudo ser amplificado por el tipo de suelo (Los suelos blandos amplifican la onda sísmica) y/o por la topografía (los relieves prominentes también) presente bajo los edificios que han alcanzado un grado de daño mayor.

Luego de analizar el mapa geológico de Puerto Príncipe y la parte oeste de Haití se interpreta que el área más afectada por el terremoto estaba constituida por un suelo aluvial y serpentino. Posterior a contrastar estos distintos factores o causas expuestos por otros investigadores, se pretende focalizar por distintos elementos las áreas mas vulnerables Haití, de manera que se entienda de una manera más clara las zonas que cuentan con mayor vulnerabilidad.

Considerando estos aspectos se llega a la conclusión de que más del 80% de la construcción en el territorio haitiano está en cualidades mediocres, por lo que se procede a señalar las zonas con mayor vulnerabilidad por la combinación de los aspectos mencionados anteriormente combinados con la cantidad población.

En la figura 3.2.c.1 se plasma el nivel de vulnerabilidad en las edificaciones aproximado de las regiones del territorio haitiano. Esto se ha identificado considerando las ciudades que poseen zonas con alta concentración de personas en combinación con los factores de riesgo físicos del lugar y la vulnerabilidad de las edificaciones. Es importante destacar que para llegar a esta conclusión se analizó el desarrollo urbano de la ciudad y la manera ramificada en que se expanden los barrios y cuadras.

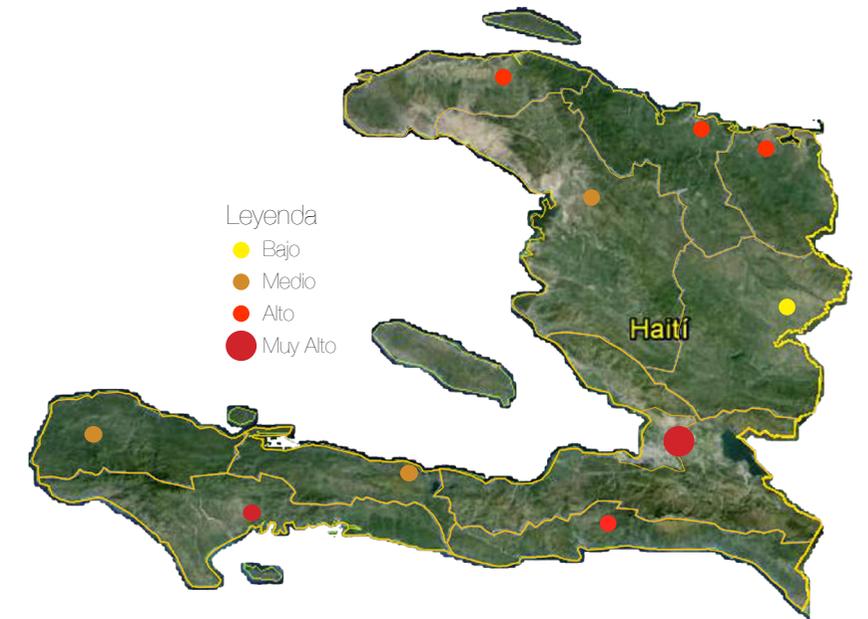


Figura 3.2c.1

Las zonas con calles estrechas, destacando que la mayoría de los poblados y barrios tienen estas condiciones, es decir, es muy difícil transitar libremente por la estrecheces de las calles y la gran cantidad de obstáculos en la vía pública.

Las ciudades ubicadas en la parte suroeste del territorio poseen áreas montañosas en las que se continua espontáneamente la misma desorganización en la implantación de edificaciones y se reproduce extensivamente la construcción de una vivienda sobre la otra, cerca de lugares con barrancos y de lugares con riesgo de que se produzcan deslizamientos de tierra. A esta situación se le adiciona las malas condiciones constructivas de las edificaciones y el mal empleo de los materiales.

Puerto Príncipe es la ciudad con mayor población de Haití, esto en conjunto con las cualidades antes mencionadas, y el hecho de que se encuentra entre dos fallas significativas que atraviesan directamente el territorio se constituye como la ciudad con mayor peligrosidad y por ende, vulnerabilidad. Aunque es importante tener en cuenta que las demás ciudades constan de las mismas cualidades solo que con menor población.

La vulnerabilidad estructural y autoconstrucción son unos de los principales factores que influyen en el alto nivel de riesgo sísmico del territorio haitiano. Esto se complementa por las condiciones del suelo, los lugares en los que se construye y la alta posibilidad de sufrir sismos por encontrarse en zona de amenaza sísmica.



Imagen 44



Imagen 45

Figura 3.2b.2: Sismos en la isla Hispaniola 1564-2010,  $M_w$  (Escala sismológica de magnitud de momento) . Fuente: Estudio de la amenaza sísmica y vulnerabilidad física del Gran Santo Domingo. Ministerio de Economía, planificación y desarrollo de la República Dominicana. Recuperado de [www.do.undp.org](http://www.do.undp.org)

Figura 3.2c.1: Mapa de aproximación de la vulnerabilidad de las edificaciones Haití por regiones. *Elaboración propia.*

Imagen 44: Fabricación de hormigón in Situ (EERI, 2010).

Imagen 45: Un hombre trabaja en la construcción de un nuevo edificio de oficinas en construcción en Petion Ville. Recuperado de [www.milenio.com](http://www.milenio.com)

$M_w^*$ : Escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos. Está basada en la medición de la energía total que se libera en un sismo. Fue introducida en 1979 por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la escala sismológica de Richter. Fuente: [www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv)



### 3.2.4 La Auto construcción

Desde hace años la República Dominicana con quien la República de Haití comparte la isla se ha asistido de los servicios de los haitianos en el sector construcción, actualmente hay aproximadamente 2 millones de haitianos viviendo en la República Dominicana y la mayoría se trasladan con intenciones de trabajar en este sector.

Es por esto que sienten la seguridad de conocer sobre construcción, sobre como se deben hacer las cosas y sienten la autoridad de poder llevar a cabo lo que en su vida laboral ejercen en la otra parte de la isla. En Haití no hay un código sísmico, a pesar de las condiciones del territorio y el alto nivel de amenaza que lo compone.

El país se ha enfocado en buscar alternativas y darle prioridad a erradicar la pobreza. A esto también se le suma que hace aproximadamente 200 años que no ocurría un terremoto hasta que ocurrió el del año 2010.

Los haitianos viven en un constante riesgo debido a que a pesar de darse cuenta luego del sismo del 2010 del alto peligro en el que viven, por encontrarse en una zona de alta actividad sísmica, continúan con la misma tipología de construcciones.

Para entender claramente esta situación hay que saber que en Haití domina la autoconstrucción, es decir, la mayoría de los propietarios de las viviendas son también los constructores de las mismas, impulsados por la falta de medios, ya que la mayoría de la población no puede permitirse contratar un arquitecto o ingeniero, ni pagar al ayuntamiento un permiso de obra.

(MARSHALL et al, 2011) realizaron un estudio de campo tras el terremoto confirmando lo dicho anteriormente. Indican que muy pocas estructuras se han diseñado por ingenieros profesionales o son inspeccionadas en términos de calidad de construcción y adhieren a esta problemática un efecto colateral que es la falta de control en catastro y urbanismo.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado en el Workshop Arquitectura por Haití en el año 2010 en la Universidad Pedro Henríquez Ureña de República Dominicana, las tipologías constructivas más comunes se caracterizan por estar compuestas por vigas y pilares de hormigón armado con paredes de mampostería sin reforzar. Destacándose que esta tipología es apropiada siempre y cuando se sigan los patrones de diseño sísmo resistente marcados por las normativas. En el caso de Haití las edificaciones constan de marcos débiles, infra dimensionados, y la mampostería no estaba bien confinada a las vigas y a los pilares. Esto ha sido el responsable de la mayoría de los daños y colapsos.

Considerando que Puerto Príncipe fue la ciudad más afectada por el pasado sismo y es la de mayor cantidad de habitantes, se utilizará como prototipo para analizar los elementos que influyen en su vulnerabilidad estructural y en determinar las condiciones de la edificaciones autoconstruidas que abundan en la mayor parte del territorio.

# TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS EXISTENTES

## 3.2.4.a Identificación de zonas de concentración de viviendas autoconstruidas e identificación de tipologías de edificaciones existentes

De acuerdo con investigaciones realizadas posterior al sismo (FIERRO & PERRY, 2010) el territorio haitiano esta conformado en su mayoría por edificaciones con condiciones constructivas muy pobres. Con la intención de desarrollar el análisis sobre una área del territorio que se ha visto afectado por una catástrofe sísmica reciente, considerando aspectos como la cantidad de población, la situación económica, social y la ubicación con relación a las fallas, buscando identificar las condiciones de autoconstrucción desde el punto de vista sísmico, se ha seleccionado la ciudad de Puerto Príncipe.

En la actualidad se encuentra corriendo el mismo o peor riesgo que antes del sismo del 2010, debido a que según estudios paleosísmicos de distintas instituciones entre ellas la Universidad de Purdue, Indiana, se confirma que el evento sísmico lo ocasionó una falla desconocida, añadiéndole a esta situación que luego de éste, ha aumentado la vulnerabilidad como resultado de la falta de planes de actuación post-sismo y la extrema pobreza en la que se encuentra el país. En la Imagen 46 se han puntualizado las zonas con mayor concentración de viviendas auto construidas. Se han seleccionado considerando el nivel de vulnerabilidad y riesgo al que están expuestas, teniendo claro que estas características constructivas abundan en la mayoría de las edificaciones de todo el territorio.

A pesar de que se han elegido estas 6 zonas, se considera que toda la ciudad se encuentra en un estado de alto riesgo.

Todo con el fin de puntualizar las tipologías existentes, y a partir de estas analizar cada una por la forma en la que ha sido construida y los materiales que la componen. Para posteriormente, señalar los daños que estas tipologías podrían presentar por las problemáticas estructurales y constructivas con las que cuentan.

En general, se han observado tres categorías de edificios residenciales por materiales utilizados:

- 1) Edificaciones combinando madera y metal corrugado,
- 2) Edificaciones con muros de bloques de hormigón prefabricado con techo de metal corrugado.
- 3) Columnas de hormigón armado y losas con paredes de bloques de hormigón de relleno; desde el punto de vista formal se han señalado 4, siendo estas las más predominantes, en esta identificación se coincide con (EBERHARD, 2010).

Imagen 46: Identificación de zonas con alta vulnerabilidad y riesgo sísmico en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití.

A



Edificio de madera de un nivel, cubierta de hojas corrugadas de zinc y suelo de tierra, de aprox. 5 x 6 mt.

B



Edificio de un nivel, paredes de mampostería sin reforzar compuesta por bloques prefabricados, marco estructural de pilares y vigas de "hormigón armado" preparado in situ, cubierta de hormigón y suelo cemento. Esta tipología generalmente la construyen una vivienda sobre la otra, de manera escalonada en laderas .

C



Edificio de un nivel con paredes de mampostería sin reforzar compuesta por bloques prefabricados, cubierta de hojas corrugadas de zinc y suelo de cemento.

D



Edificio de 2 o más niveles con paredes de mampostería reforzada compuesta por bloques prefabricado, marco estructural de pilares y vigas de "hormigón armado" preparado in situ, cubierta de hormigón vacada in situ y suelo cemento.

## Zona I\_Carrefour



UBICACIÓN	Oeste de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	135 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Asentamientos irregulares, traza urbana irregular sin vías de circulación planificadas.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	200,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	A-B-C
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Dificil acceso a las viviendas ya que frecuentemente no hay caminos consolidados de acceso. b) Dificultades de acceso de ambulancias, bomberos y policía ante distintos eventos. c) Malas condiciones de salubridad. d) Existencia de laderas de altas pendientes, terrenos poco estables.

Tabla 3.2.d.1

## Zona II\_Deprez



UBICACIÓN	Oeste de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	230 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Asentamientos irregulares, traza urbana irregular sin vías de circulación planificadas.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	88,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	B-C
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Dificil acceso a las viviendas ya que frecuentemente no hay caminos consolidados de acceso. b) Dificultades de acceso de ambulancias, bomberos y policía ante distintos eventos. c) Malas condiciones de salubridad. d) Existencia de laderas de altas pendientes, terrenos poco estables.

Tabla 3.2.d.2

## Zona III\_Petionville Tent



UBICACIÓN	Centro de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	56 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Alta densidad constructiva, trama urbana reticular, aunque existen áreas con trama irregular por la aparición de vías sin planificación.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	108,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	B-D
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Concentración de edificios de más de dos niveles con muy malas condiciones constructivas y vulnerabilidad estructural junto a edificaciones de un nivel.

Tabla 3.2.d.3

## Zona IV\_Hatte Lathan



UBICACIÓN	Norte de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	105 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Asentamientos irregulares, traza urbana irregular sin vías de circulación planificadas.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	19,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	A-C
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Ausencia de vías de circulación seguras. b) Malas condiciones de salubridad. c) Existencia de laderas de altas pendientes, terrenos poco estables.

Tabla 3.2.d.4

## Zona V\_Delmas



UBICACIÓN	Centro de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	80 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Asentamientos irregulares, traza urbana irregular sin vías de circulación planificadas.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	11,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	B-C-D
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Ausencia de vías de circulación seguras. b) Malas condiciones de salubridad. c) Concentración de edificios de más de dos niveles con muy malas condiciones constructivas y vulnerabilidad estructural junto a edificios de un nivel.

Tabla 3.2.d.5

## Zona VI\_Petionville



UBICACIÓN	Sureste de Puerto Príncipe
ELEVACIÓN	430 metros sobre el nivel del mar
CONFORMACIÓN URBANA	Asentamientos irregulares escalonados en laderas, traza urbana irregular sin vías de circulación planificadas.
SERVICIOS	Básicos
HABITANTES	100,000 aprox.
NIVEL SOCIOECONÓMICO	Muy Bajo
TPOLOGÍAS DE EDIFICACIONES EXISTENTES	B-C-D
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	Muy Alta
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO	Muy Alto
OBSERVACIONES	a) Dificil acceso a las viviendas ya que frecuentemente no hay caminos consolidados de acceso. b) Dificultades de acceso de ambulancias, bomberos y policía ante distintos eventos. c) Malas condiciones de salubridad. d) Concentración de edificios de más de dos niveles con muy malas condiciones constructivas y vulnerabilidad estructural junto a edificios de un nivel.

Tabla 3.2.d.6

3.2.4.b Lesiones y daños más comunes identificados en las viviendas autoconstruidas estudiadas

ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS
ESTRIBOS EN PILARES	-Recubrimiento insuficiente. -Estribos demasiado distanciados uno de otro. -Estribos cerrados a 90° en vez de 135° como recomiendan la normativa y manuales de construcción.	Baja resistencia al esfuerzo cortante, y su defecto menor capacidad para resistir las deformaciones que se presentan en la estructura, de manera que el elemento estructural falla antes de lo que debería, teniendo un comportamiento ductil inapropiado.	B-D

IMÁGENES

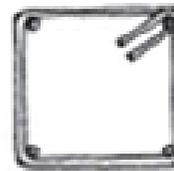


Tabla 3.2.d.7

LESIÓN			FCHA: 002
Hormigón fabricado In situ, sin hormigonera.			
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS
PILARES, VIGAS, MUROS DE CARGA	-Presencia de partículas contaminates en la mezcla. -Utilización de arena de la playa. -Hormigón desmoronado - Problemas en la dosificación de los componentes	Se generan reacciones en el concreto que producen desmoronamiento durante el evento sísmico, así mismo, influyen en la resistencia y durabilidad del material. Específicamente, la utilización de arena de playa provoca corrosión en la armadura.	B-D

IMÁGENES



Tabla 3.2.d.8



LESIÓN		Pilares Infra-dimensionados, Colocacion incorrecta, falta de alineacion vertical.		FCHA: 003
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS	
PILARES	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pilares con medidas de 15x30cm, cuando lo recomendado es un mínimo de 25 cm y preferiblemente 30 cm. (FERRO &amp; PERRY, 2010)</li> <li>-Falta de alineacion vertical.</li> <li>-Desviación del centro del pilar con respecto al centro de su pilar superior.</li> </ul>	<p>Colapso de la estructura debido a que el pilar no resiste las cargas de la losa, que en la mayoría de los casos analizados presenta un espesor demasiado grande (losa), lo que aumenta bastante la masa del edificio. Por otra parte, se generan excentricidades que pueden causar graves problemas en el comportamiento sísmico de la estructura.</p>	B-D	

#### IMÁGENES



LESIÓN		FCHA: 004	
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS
PILAR-VIGA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Unión viga-pilar con losa atada en la cara interior de los pilares y no exterior.</li> <li>-Mal funcionamiento de la rótula plástica.</li> <li>-Desprendimiento entre el pilar y la viga.</li> </ul>	<p>Cuando la losa está atada en la cara interior en lugar de generarse una rótula plástica en esas uniones que haría resistir al edificio, lo que ocurre es que la losa se comienza a separar de esa unión y con su peso rompe los pilares, haciendo colapsar el edificio. Así mismo, se presentan fallas en las conexiones por escasez de anclajes.</p>	B-D
IMÁGENES			
			

Tabla 3.2.d.10



LESIÓN		Tamaño de los estribos y barras de acero más delgadas de lo requerido.	FICHA: 005
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS
Acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estribos rotos.</li> <li>-Problemas en el confinamiento del hormigón.</li> <li>-Utilización de barras de acero lisas en vez de corrugadas, torcidas y reutilizadas.</li> </ul>	<p>Resta de ductilidad al elemento estructural provocando que los estribos se partan con más facilidad, liberando al hormigón de su confinamiento, permitiéndole expandirse cuando la vibración es lo suficientemente fuerte, rompiendo de esa manera el pilar o la viga. Aunque el diseño estructural recomienda en determinadas ocasiones deformar las barras antes de colocarlas en el caso de Haití, se observan ondulaciones en las barras debido a que están reutilizadas, por tanto, el acero no trabaja correctamente.</p>	B-D
IMÁGENES			



Tabla 3.2.d.11

LESIÓN		Fallos por cortante	FICHA: 006
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TPOLOGÍAS
MUROS, PILARES, VIGAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fallas, fisuras por cortante en edificaciones no colapsadas.</li> <li>-Pilares cortos colapsados</li> <li>-Grietas en forma de X en muros y vigas.</li> <li>-Caída del concreto y grieta horizontal en muro cortante.</li> </ul>	<p>Debilitan la estructura por esto no son permitidos en diseño sismo resistente. La columna recibe una mayor carga horizontal y durante una fuerza sísmica esta la absorbe y falla por cortante. En las vigas donde se acoplan los muros cortantes y en los muros producto de las grandes demandas de ductilidad y elevadas fuerzas cortantes.</p>	B-D
IMÁGENES			





LESIÓN		Errores en el proceso de construcción.		FICHA: 007
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS	
MUROS, PILARES, VIGAS, LOSAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elementos sin confinar y poco robustos.</li> <li>-Colocación de elementos estructurales en un orden inapropiado.</li> <li>-Utilización de bloques de mortero en la losa para ahorrar hormigón.</li> </ul>	<p>En procesos constructivos posteriores al sismo del 2010 se podía ver como en algunas construcciones se construían los muros exteriores después de los pilares sin ningún tipo de armado ni enlace con pilares ni vigas. Estas situaciones hacen que cada elemento estructural se comporte de manera independiente, en vez de actuar como una única estructura.</p>	B-D	
IMÁGENES				



Tabla 3.2.d.13

LESIÓN		Planta baja débil.		FICHA: 008
ELEMENTO	SINTOMA	CAUSA - EFECTO	TIPOLOGÍAS	
SISTEMA ESTRUCTURAL	<p>-Ausencia de muros rigidizadores en las plantas bajas libres de edificios de varios niveles.</p> <p>-Discontinuidades en la rigidez, resistencia, y ductilidad.</p>	Se genera una planta baja blanda, con menor rigidez que la parte superior del edificio; lo que conduce a grandes desplazamientos y concentración de danos en las columnas de la planta baja.	B-D	
IMÁGENES				
				

Tabla 3.2.d.14



Imagen 51



Imagen 52

Tabla 3.2.d.7 - Tabla 3.2.d.14: Lesiones y daños más comunes identificados en las viviendas autoconstruidas estudiadas. Fuente de imágenes utilizadas : (MARSHALL, 2011) y (EBERHARD, 2010)

Imagen 51: Vista interior de colapso de la fachada frontal de mampostería no reforzada una nave industrial en Puerto Príncipe. (EBERHARD, 2010)

Imagen 52: Colapso de la fachada frontal de mampostería no reforzada una nave industrial en Puerto Príncipe. (EBERHARD, 2010)



El objetivo de la realización de estas tablas reside en conocer el comportamiento estructural de las tipologías existentes con la intención de posteriormente caracterizar el riesgo sísmico de Puerto Príncipe considerando el nivel de vulnerabilidad al que se ve expuesto por la gran cantidad de viviendas autoconstruidas en las condiciones antes mencionadas. Para la elaboración de las fichas se han caracterizado las principales fallas estructurales encontradas en los restos de las edificaciones del sismo de Haití del año 2010.

En las imágenes expuestas anteriormente se observa claramente que el diseño estructural y la construcción en Haití no siguen ninguna normativa ni inspección al momento de construir. Esta manera de construir es la responsable de la vulnerabilidad que ha provocado todas las pérdidas humanas y materiales en el 2010.

También, se concluye en que de las tipologías A y C, no se observaron muchos colapsos o daños estructurales debido al menor peso de los materiales. Sin embargo, estaban ubicadas entre edificaciones de varios niveles y lugares con alto riesgo, por lo que se vieron afectadas.

Las informaciones utilizadas para la caracterización de daños se han obtenido a partir de la evaluación de imágenes posteriores al sismo de Haití en el año 2010 de distintas fuentes. Así mismo, se han considerado los resultados de los análisis realizados por (EBERHARD, 2010) y (MARSHALL, 2011) coincidiendo con sus conclusiones.

Los daños más graves luego del sismo del año 2010 se localizaron en el centro de la ciudad y en la zona costera, así como, en la franja de las laderas de las montañas del sur y en el Fuerte Nacional correspondiente con la zona III \_ Pettionville Tent City del análisis de vulnerabilidad por zonas expuesto en este trabajo y que coinciden con los datos de (RATHJE et al , 2011). En ese mismo orden (TORRES, 2012) contabilizó el número de edificios que sufrieron daños durante el sismo del 2010, confirmando que los edificios dañados aumentaba con la altitud del terreno.

Se considera importante destacar que a pesar de que las estructuras metálicas no son muy comunes en Haití. En los estudios realizados por (EBERHARD, 2010) en Puerto Príncipe se observaron aproximadamente 15, las cuales constaban de muros de mampostería no reforzada, la configuración estructural más común incluía pilares de hormigón armado, soportes de vigas de acero y un techo de metal de un calibre ligero.

Luego del sismo en estas edificaciones se presentó desprendimiento de la mampostería no estructural, sin embargo, la estructura metálica no sufrió daños significativos ya que no tenía ninguna conexión con la mampostería. Correspondiendo con lo identificado y analizado anteriormente, es evidente que la autoconstrucción hace edificaciones más vulnerables, porque no aseguran un funcionamiento adecuado de los materiales y de la estructura, debido a las condiciones irresponsables en la que se realizan, adicionando las características y el riesgo del territorio.

### 3.2.5 Caracterización del riesgo sísmico considerando el nivel de vulnerabilidad producto de la auto construcción.

La intención principal de este TFM consiste en presentar un mecanismo que aporte a la prevención ante catástrofes sísmicas , se considera necesario conocer la estimación del riesgo sísmico del territorio y a partir de allí, proporcionar medidas que actúen a favor de la seguridad estructural y humana de la región o zona en la que se aplique .

Es por esta razón que luego de puntualizar la peligrosidad del territorio, identificar las zonas más vulnerables, los sistemas constructivos y las tipologías predominantes en la ciudad de Puerto Príncipe se remite a los resultados obtenidos en (TORRES, 2012) quien en su trabajo de fin de master desarrolló una estimación del riesgo sísmico de Haití.

De esta información se han seleccionado los datos que corresponden con los daños esperados en la tipología de edificaciones con estructura de hormigón armado y muros de bloques de hormigón ( tipología B-D, ver imagen 48 y 50), de las cuales según la base de datos del nuevo catastro de Puerto Príncipe son 63,100. Considerándose esta la más predominante , ya que representa casi el 75% de los edificios de la ciudad, (Ver Anexos 2.)

Para el escenario de daños por sismos futuros Torres llevo a cabo una estimación de daños simulando un escenario sísmico determinista en la falla Matheux-Neiba en el que se pueden visualizar un mapa de daños esperados para la tipología más representativa y todas las tipologías (ver Tabla 3.2.e.1 en Anexo 2). Representándose la forma como quedaría la ciudad si ocurriera un terremoto de  $M_w$  7.0 en la falla Matheux-Neiba. Puede observarse la distribución espacial de los daños y su alcance lo que daría una magnitud de la catástrofe. (Ver Anexo 3 para observar el comportamiento de cada tipología).

A continuación se pueden observar los mapas que grafican la distribución espacial de los daños. En la figura 3.2.e.3 se muestra el porcentaje de daños de la tipología RC-CB (Edificaciones con estructura de hormigón armado y muros de bloques de hormigón, tipología predominante), disgregados por geo unidades, donde se observa que en las áreas de montañas norte y sur, el daño nulo ( ver Figura 3.2.e.2 en Anexo 3) predomina por encima de las demás, es decir sufren menos daños en esas zonas.

En cambio en las unidades localizadas en el centro de la ciudad y en la zona portuaria, el daño completo aumenta considerablemente llegando a superar al ligero. Atribuyendo esto a la influencia del efecto local por tipo de suelo, ya que estas unidades se encuentran en suelos blandos. En la Figura 3.2.e.3 se muestra el índice de daño medio, que da una idea global del daño, el máximo es daño medio 2, es decir, daño moderado. Para conocer ver un estimado de las edificaciones que quedarán inhabitables (Ver Figura 3.2.e.5 en Anexo 4).

Estos datos son el punto de partida para incentivar a la creación de un plan de prevención sísmica, ya que demuestran estadísticamente las posibles consecuencias que desataría un terremoto en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití. Es importante destacar que sin los datos desarrollados por Yolanda Torres y la oficina de catastro de Haití no habría sido posible tener una justificación estadística del posible escenario de riesgo de Haití, ya que no existen documentos oficiales que contengan estudios a profundidad sobre el riesgo sísmico de Haití. En ese mismo orden, el proyecto Sismo-Haití esta en proceso de desarrollar la evaluación del riesgo sísmico del territorio haitiano y los datos que poseen hasta ahora sirvieron de apoyo en esta investigación. Concluyéndose en que coincidiendo con los datos expuestos anteriormente es imprescindible la creación de un plan de prevención para el territorio.

Figura 3.2.e.3: Mapa de índice de daño medio en Puerto Príncipe. Fuente: (TORRES, 2012)

Figura 3.2.e.4: Mapa de daños esperados para la tipología de edificaciones con estructura de hormigón armado y muros de bloques de hormigón. Fuente: (TORRES, 2012).



Figura 3.2.e.3

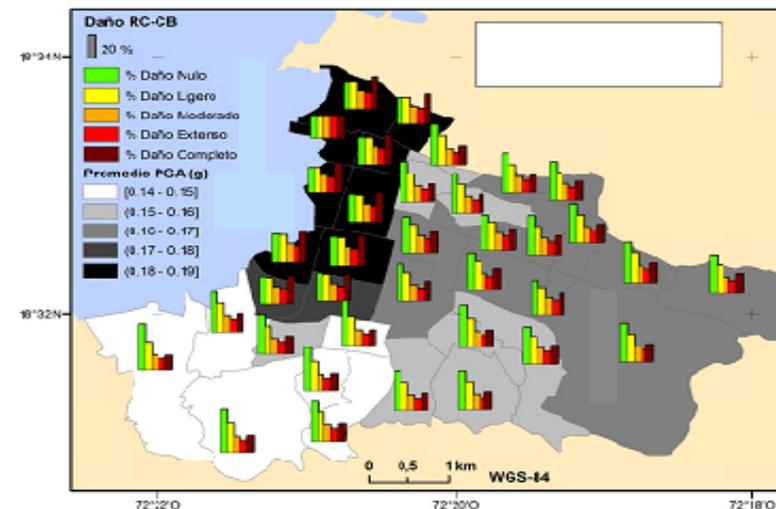


Figura 3.2.e.4



Imagen 53: Haitiano mira entre las telas que le sirven de cobijo en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití. Luego del terremoto del año 2010. Fuente: [www.noticias.lainformacion.com](http://www.noticias.lainformacion.com)



# CAPÍTULO IV

PREVENCIÓN DE DAÑOS POR  
RIESGO SÍSMICO

## 4.1 Antecedentes

En el marco del conocimiento sobre la alta vulnerabilidad estructural, las condiciones de riesgo sísmico presentadas en el capítulo anterior, la pobreza y la situación de abandono en la que se encuentran los ciudadanos por parte de las autoridades en la República de Haití. Se proyecta una *Ficha de Evaluación de Edificaciones* como mecanismo de prevención de daños estructurales por riesgo sísmico, con el objetivo de fortalecer la seguridad constructiva en el territorio.

A través de la identificación de los daños existentes en las edificaciones, para facilitar el planteamiento de soluciones innovadoras, asequibles económica y prácticamente que reduzcan la vulnerabilidad y promuevan la seguridad humana. Permitiéndoles a los usuarios habitar una edificación que se comporte apropiadamente ante un sismo.

## 4.2 Características generales y consideraciones

### Objetivos del plan

La identificación de los elementos bajo riesgo resulta indispensable como punto inicial para llevar a cabo una evaluación de la vulnerabilidad estructural y por consiguiente un eslabón básico para reducir y prevenir las pérdidas directas o indirectas luego de un desastre natural.

El objetivo principal es proponer una ficha de evaluación que identifique las problemáticas estructurales y la situación en la que se encuentran las edificaciones existentes, por medio de la observación y la utilización de datos básicos, con la intención de interpretar las lesiones y plantear una solución que posteriormente evite que se generen pérdidas humanas si un sismo ocurre. Así mismo, decidir por medio de esta evaluación si es apropiado reparar, o demoler estas edificaciones, proporcionando recomendaciones según el nivel de daños que se observen en la estructura. Este método de evaluación esta dirigido a las municipalidades, usuarios privados que tienen como interés reducir la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones que corresponda.

### Alcance y limitaciones de su aplicación

Como contribución, luego de la experiencia vivida en el terremoto del 12 de Enero del 2010 en la República de Haití. Se desarrolla la ficha con una guía sobre como realizar la evaluación, que introducirá la fase de evaluación de la vulnerabilidad de una edificación desde el punto de vista estructural, cualitativa y cuantitativamente. Permitiendo realizar un inventario de la situación y los elementos expuestos con el fin de conocer detalladamente las condiciones específicas y generales desde el punto de vista constructivo en la que se encuentre. Existiendo la posibilidad de realizar esta evaluación en las edificaciones de una comunidad, permitiendo tener un conocimiento general de la vulnerabilidad estructural de una zona y a partir de ahí plantear soluciones que lo disminuyan.

Este sistema se proyecta como una estimación basada en la simple observación y si se quiere efectuar una aproximación más ajustada, se deberá calcular el índice de vulnerabilidad. La primera parte correspondiente con la pág. 1 y 2 de la ficha es para aplicarse de manera más ágil y a gran escala, y la segunda parte correspondiente a la pág. 3 de la ficha para corroborar los resultados de la primera (estudiando algunos casos más a fondo) o para obtener unos resultados de mayor calidad, aunque debido a su carácter técnico cueste más aplicarlo.



Para la realización de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta en este trabajo de fin de master, se tomaron en consideración varios manuales y formatos de captura de datos estructurales (**Ver lista de los referentes en Anexos 6**) plasmando en la propuesta los apartados que se considera importante identificar y evaluar, de acuerdo con las características constructivas de las viviendas autoconstruidas. En ese mismo orden, se incluye un apartado destinado a quien este interesado en tener una noción más exacta sobre el nivel de vulnerabilidad de la edificación con fines técnicos y cuantitativos, la cual se sustenta en el método del índice de vulnerabilidad de (BENEDETTI & PETRINI, 1984) expuesto detalladamente en el capítulo 2.

---

Se desarrollará una plantilla de evaluación de las edificaciones compuesta por:

- Información general del inmueble
- Información Constructiva/estructural
- Vulnerabilidad estructural
- Croquis del edificio
- Cálculo del índice de vulnerabilidad
- Conclusión

### Requerimientos básicos para manejo de la información

Para el mantenimiento y procesamiento de los datos obtenidos en las evaluaciones de las edificaciones, ya sea para obtener resultados individuales o colectivos (una edificación o varias) se requieren:

#### (1)Materiales

1 Laptop con MS Excel y capacidad para almacenar y procesar los datos e impresora.

#### (2)Humanos

Operadores: equipo de personas para realizar la identificación de los daños.

#### (3)Recursos técnicos

Conexión a internet para intercambio de datos

#### (4)Capacitación de los recursos humanos

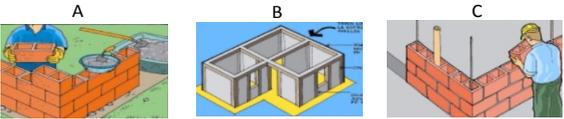
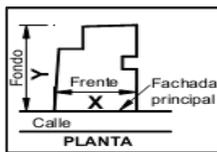
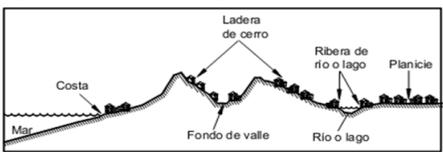
Entrenamiento de los operadores para rellenar las fichas y manejar los datos para un adecuado procesamiento de la información, también en aspectos relacionados a las amenazas naturales, vulnerabilidad y riesgo.

La base de datos creada a partir de las lesiones identificados, es de gran importancia y utilidad no solo para contabilizar los posibles problemas que se presentarían si ocurre un sismo, sino también que podrá ser usada para fomentar planes a nivel regional que promuevan el mejoramiento habitacional, para la localización de áreas adecuadas para la expansión urbana, para identificar cuales personas deben ser recolocadas y desalojadas de viviendas en mal estado.

Viéndose desde una perspectiva más amplia si se desarrolla, ésta podría ser utilizada por la municipalidad para conocer detalladamente las condiciones de las viviendas a gran escala. Es importante saber que si un propietario privado decide utilizar la ficha en su vivienda con la intención de conocer una vulnerabilidad aproximada deberá tener conocimientos de lectura, escritura y llevar al pie de la letra el manual de cómo rellenar los datos (**Ver Anexo 5**).

# 4.3. Propuesta de Ficha de Evaluación de Edificaciones

(Ver Manual de Ficha de evaluación de Edificaciones en Anexos 5)

FICHA DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES Prevención de Daños por Riesgo Sísmico			
Nombre del Evaluador: _____		Fecha : _____	Código: _____
		<input type="checkbox"/> Ingeniero/Arquitecto	<input type="checkbox"/> Estudiante Ing/Arq.
INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE			
Nombre del inmueble: _____		Nombre del Edificio: _____	
Calle y número: _____			
Colonia/Barrio: _____			
Pueblo/Ciudad: _____			
Municipio/Departamento: _____			
Referencias: _____			
Nombre del propietario: _____			
Estado de ocupación <input type="checkbox"/> Habitada <input type="checkbox"/> Abandonada <input type="checkbox"/> Desalojada por existencia de lesiones muy graves			
INFORMACIÓN CONSTRUCTIVA-ESTRUCTURAL			
<b>Tipo de estructura</b> <input type="checkbox"/> Habitacional <input type="checkbox"/> Educativo <input type="checkbox"/> Oficina/Comercio	<b>Fecha de construcción</b> <input type="checkbox"/> 0 a 5 años <input type="checkbox"/> 5 a 15 años <input type="checkbox"/> 15 a 30 años	<b>No. Pisos</b> <input type="checkbox"/> 1 a 2 <input type="checkbox"/> 3 a 5 <input type="checkbox"/> 5 o más	<b>Material de muro de carga</b> <input type="checkbox"/> Mampostería no reforzada (A) <input type="checkbox"/> Hormigón Armado <input type="checkbox"/> Mampostería confinada (B) <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Mampostería reforzada (C) <input type="checkbox"/> Otros _____
<b>Altura con relación a calle</b> <input type="checkbox"/> 10 cm <input type="checkbox"/> 10 - 30 cm <input type="checkbox"/> 30 - 50 cm <input type="checkbox"/> 50 - 70 cm <input type="checkbox"/> > 70 cm	<b>¿Hay Chimeneas?</b> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No  <b>Cubierta/ Techo</b> <input type="checkbox"/> Corrugado de Zinc <input type="checkbox"/> Concreto	<b>Forma de cubierta</b> <input type="checkbox"/> Plana horizontal Capa compresión _____cm Espesor _____cm <input type="checkbox"/> Inclínada Pendiente _____%	
<b>Tipología Constructiva</b> A <input type="checkbox"/>  B <input type="checkbox"/>  C <input type="checkbox"/>  D <input type="checkbox"/> 			
<b>Proceso constructivo</b> <input type="checkbox"/> Arq./Ing. <input type="checkbox"/> Auto construcción		<b>Valor del inmueble:</b> _____	
<b>Dimensiones del Edificación</b> X: Frente _____ Mt Y: Fondo _____ Mt	<b>Topografía</b> <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Fondo de Valle <input type="checkbox"/> Ladera de Cerro	<b>Suelo</b> <input type="checkbox"/> Blando (A) <input type="checkbox"/> Transición (B) <input type="checkbox"/> Firme (C)	
 <p style="text-align: center;"><b>PLANTA</b></p>			<b>Observaciones</b>   



VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL			
<p><b>Posición en manzana/cuadra</b>      <input type="checkbox"/> Esquina      <input type="checkbox"/> Medio      <input type="checkbox"/> Aislado</p>			
<p><b>Irregularidad en Planta</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>	<p><b>Irregularidad en Elevación</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Otras vulnerabilidades</b></p> <p><input type="checkbox"/> Aberturas en planta &gt; 20%</p> <p><input type="checkbox"/> Conexión excéntrica viga-columna</p> <p><input type="checkbox"/> Longitud entrantes/salientes &gt;20%</p> <p><input type="checkbox"/> Muros no llegan a cimentación</p> <p><input type="checkbox"/> Planta baja flexible</p> <p><input type="checkbox"/> Columnas cortas</p> <p><input type="checkbox"/> Arreglo irregular de ventanas en fachada</p>	<p><b>Cantidad de muros en las dos direcciones</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Calidad de las Juntas en mortero</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>	<p><b>Disposición de las unidades de mampostería</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Calidad de los materiales</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>	<p><b>Muro confinados y reforzados</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Detalles de columnas y vigas de confinamiento</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>	<p><b>Vigas de amarre o corona</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Características de las aberturas</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>	<p><b>Entrepelo</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad baja (A)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad media (B)</p> <p><input type="checkbox"/> Vulnerabilidad Alta (C)</p>		
<p><b>Lesiones en otros elementos</b></p> <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p><b>Exteriores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vidrios</p> <p><input type="checkbox"/> Acabados</p> <p><input type="checkbox"/> Fachadas</p> <p><input type="checkbox"/> Balcones</p> <p>Otros: _____</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p><b>Interiores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Muros divisorios o particiones</p> <p><input type="checkbox"/> Cielos Razos/ plafones</p> <p><input type="checkbox"/> Lámparas/ Ornamentación</p> <p><input type="checkbox"/> Escaleras</p> <p><input type="checkbox"/> Instalaciones (Gas, eléctrica...)</p> </td> </tr> </table>	<p><b>Exteriores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vidrios</p> <p><input type="checkbox"/> Acabados</p> <p><input type="checkbox"/> Fachadas</p> <p><input type="checkbox"/> Balcones</p> <p>Otros: _____</p>	<p><b>Interiores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Muros divisorios o particiones</p> <p><input type="checkbox"/> Cielos Razos/ plafones</p> <p><input type="checkbox"/> Lámparas/ Ornamentación</p> <p><input type="checkbox"/> Escaleras</p> <p><input type="checkbox"/> Instalaciones (Gas, eléctrica...)</p>	<p><b>Resultados</b></p> <p><b>NIVEL DE VULNERABILIDAD:</b>      A: _____ B: _____ C: _____</p> <p><input type="checkbox"/> <span style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px;">Vulnerabilidad baja (A)</span></p> <p><input type="checkbox"/> <span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; padding: 2px;">Vulnerabilidad media (B)</span></p> <p><input type="checkbox"/> <span style="background-color: #FF0000; border: 1px solid black; padding: 2px;">Vulnerabilidad alta (C)</span></p> <p>(Los resultados dependerán de la cantidad del nivel de vulnerabilidad ABC en cada apartado.)</p>
<p><b>Exteriores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Vidrios</p> <p><input type="checkbox"/> Acabados</p> <p><input type="checkbox"/> Fachadas</p> <p><input type="checkbox"/> Balcones</p> <p>Otros: _____</p>	<p><b>Interiores</b></p> <p><input type="checkbox"/> Muros divisorios o particiones</p> <p><input type="checkbox"/> Cielos Razos/ plafones</p> <p><input type="checkbox"/> Lámparas/ Ornamentación</p> <p><input type="checkbox"/> Escaleras</p> <p><input type="checkbox"/> Instalaciones (Gas, eléctrica...)</p>		

Tabla 4.3.2

CROQUIS DEL EDIFICIO



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Mampostería no reforzada

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i$$

Hormigón Armado

$$I_v = 100 \cdot \frac{\left( \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i \right)}{34}$$

Resultado .....

Resultado .....

<i>i</i>	Parámetro	<i>K<sub>i</sub> A</i>	<i>K<sub>i</sub> B</i>	<i>K<sub>i</sub> C</i>	<i>K<sub>i</sub> D</i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Escala numérica del índice de vulnerabilidad *I<sub>v</sub>* de los edificios de mampostería no reforzada (BENEDETTI & PETTRINI, 1984)

<i>i</i>	Parámetro	<i>K<sub>i</sub> A</i>	<i>K<sub>i</sub> B</i>	<i>K<sub>i</sub> C</i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Diafragmas horizontales	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1.0
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	1.0

Escala numérica del índice de vulnerabilidad *I<sub>v</sub>* para las estructuras de hormigón armado (BENEDETTI & PETTRINI, 1984)

CONCLUSIÓN

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> BUEN ESTADO               | <input type="checkbox"/> REPARAR                | <input type="checkbox"/> DEMOLER                   |
| <input type="checkbox"/> PUEDE PERMANECER HABITADA | <input type="checkbox"/> RIESGO MEDIO HABITARLA | <input type="checkbox"/> RIESGO MUY ALTO HABITARLA |

Tabla 4.3.3



De acuerdo con las fuentes utilizadas para la realización de la ficha, lo más conveniente es recopilar la mayor cantidad de información en el menor espacio posible. Por lo que se decidió aprovechar todo el espacio de la página. La ficha de evaluación se desarrolla en un formato A4 para fácil impresión, consta de 3 páginas, más una página en blanco que podrá ser utilizada caso de que sea necesario, es decir, 2 hojas en ambas caras.

El tamaño y estilo del texto se es sencillo y fácil de entender, para poder ser reproducido sin problemas en fotocopias o impresiones de no muy buena calidad. Las figuras utilizadas para aclarar algunos de los conceptos más importantes fueron tomadas de (ARAGÓN et al, 2011) y de el documento *Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos en mampostería* de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), las mismas son bastante claras y simples, con un espesor de línea adecuado.

Se puso mucho cuidado en la selección de los parámetros para la recolección de los datos, debido a que se destina a la evaluación estructural de edificaciones en su mayoría auto construidas y vivienda social, que en la mayoría de los casos siguen en pie luego del sismo del 2010 y aun no se han reparado.

Se precisa ser lo más conciso posible, es decir, en vez de que el encuestador anote de forma descriptiva se le presentan opciones gráficas que representan los niveles de vulnerabilidad en las que se encuentra la edificación, en las que se puede elegir una o varias opciones.

El objetivo de esta idea es que si fuera necesario crear una base de datos digital o computarizada, los datos se puedan manejar de una manera más genérica y sencilla. Incluso se plantea la posibilidad de que el formato se realice de forma digital para ser utilizado en una Tablet o dispositivo móvil y que los datos se introduzcan automáticamente a una base de datos que posteriormente podría presentar un análisis descriptivo de la situación del edificio de acuerdo con las condiciones estructurales señaladas en la ficha y a partir de allí, proponer soluciones orientativas a esas problemáticas.

Esta idea de un cuestionario de opción múltiple con gráficos, permite más fácil la captura de datos e interpretación de la información, en especial al considerar que podrían requerirse en un caso de desastre mayor y procesar cientos o miles de formatos en pocas horas si se tratara de evaluaciones de un gran número de edificaciones.

Se propone la idea de automatizar la ficha de captura a través de un archivo de hoja electrónica de Microsoft Excel®, o través de un manejador de base de datos como Microsoft Access®. Utilizar uno de los Software mencionados anteriormente tiene como ventaja que pueden ser instalados en el sistema operativo Windows y son compatibles con los paquetes de Microsoft Office®, que se encuentran instalados en la mayoría de los ordenadores.

En el siguiente capítulo se presentarán las posibles soluciones frente a los principales problemas constructivos y de vulnerabilidad estructural identificados en las viviendas autoconstruidas de Puerto Príncipe.

---

**Tabla 4.3.1:** Página 1 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.

**Tabla 4.3.2:** Página 2 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.

**Tabla 4.3.3:** Página 3 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.



Imagen 54: Mano de haitiana cubriendo grieta de un muro de concreto en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití. Luego del terremoto del año 2010. Fuente: [www.slate.fr](http://www.slate.fr)



# CAPÍTULO V

NUEVAS TECNOLOGÍAS  
DE PREVENCIÓN

## 5.1 ¿Hay sistemas de prevención?

La prevención es según la RAE "tomar precauciones o medidas por adelantado para evitar un daño, un riesgo o un peligro", se interpreta como una manera inteligente de manipular el riesgo, a través de la intervención y mejora de las condiciones constructivas de manera que el comportamiento estructural pase a ser seguro y resistente.

En la actualidad, la prevención generalmente se práctica desde el punto de vista social u orientativo, promoviendo estar atento y preparado para en caso de un desastre natural poder reaccionar instantáneamente y evitar pérdidas humanas. En la mayoría de los casos en estas propuestas y acciones de prevención se olvida algo muy importante, la seguridad de las edificaciones, no solo el hecho de estar atento a proteger la vida en caso de un sismo, sino el hecho de que el comportamiento de las edificaciones permita llevar a cabo esa acción, sin morir en el intento.

Es por esto, que se presenta la siguiente interrogante ¿Hay sistemas de prevención?. En este capítulo se pretende investigar a través de la realización de un estudio del mercado, buscando conocer las posibles alternativas de intervención para edificaciones existentes que funcionen como un sistema de prevención, especialmente para las viviendas autoconstruidas y las construidas sin normativa de construcción sismorresistente, las cuales protagonizan este trabajo de fin de master.

A continuación se presentaran algunos de los sistemas existentes en el mercado y que pueden servir como alternativa ante las problemáticas estructurales y constructivas identificadas en las tipologías de Haití.

## 5.2 Estudio de mercado

Al momento de decidir en que dirección se realizaría el estudio de mercado se opto por localizar materiales y sistemas asequibles económicamente, que aporten flexibilidad, que admitan cierto grado de deformación, que puedan vibrar e incluso desplazarse ligeramente, esto les proporcionará a las edificaciones una mejor reacción ante la aceleración del sismo. La manera de reaccionar frente al fenómeno que produce un sismo es dejar que actúe. Aportar movilidad a los elementos estructurales.

Se plantearán algunos sistemas de restauración de daños y acondicionamiento de las edificaciones autoconstruidas.

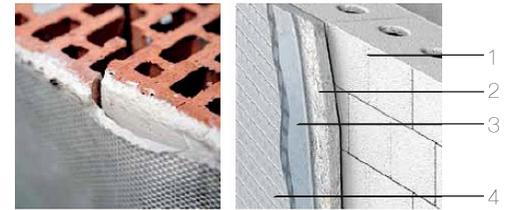


Imagen 55

- 1- Bloque de concreto
- 2- Recubrimiento
- 3- Adhesivo
- 4- Fibra-Tela sísmica (Fibra de vidrio)

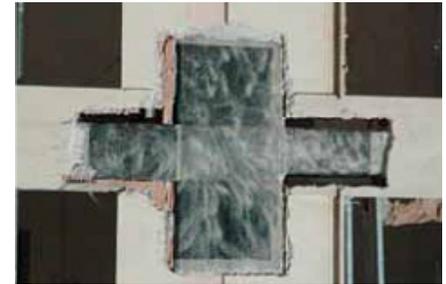


Imagen 56



Imagen 57



Imagen 58



## 5.3 Nuevas tecnologías para prevención

### 5.3.1 Malla textil o fibra sísmica: demora el colapso y aporta resistencia.

El Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) ha desarrollado un tejido metálico que evita la caída de escombros durante un terremoto y permite salvar vidas mediante el refuerzo de las paredes y el mantenimiento de los cascotes.

La tela se fija a las paredes del edificio mediante un yeso apropiado. Gracias al refuerzo, es posible retrasar el colapso de las paredes durante un sismo y en algunos casos, evitarlo completamente. La alta rigidez y resistencia a la tracción considerable de las fibras de vidrio en el tejido de yeso casi-integrado permite a las paredes reducir mejor los mayores esfuerzos de tracción durante los terremotos y evitar que los daños puntuales se produzcan y se desarrollen dentro de las grietas.

Incluso si las fibras se rompen durante un terremoto fuerte, las fibras elásticas de polipropileno mantendrán los segmentos de pared rotos juntos y fuera de las rutas de escape. Los desarrolladores están seguros de que "la tela de refuerzo de terremotos proporciona a los ocupantes más tiempo para escapar de los edificios." El tejido de alta tecnología se ha desarrollado gracias a la colaboración de Günther Kast GmbH & Co. K. Bajo la marca "Sisma Calce". El fabricante italiano de materiales de construcción RÖFIX, empresa filial del grupo alemán Fixit, ahora ha incluido la tela sísmica y un yeso adecuado en su gama de productos (IRESCATE, 2013).

En ese mismo orden, Mapei promueve este sistema para el mercado italiano, lo describen como un producto para el refuerzo estructural denominado *Mapei FRP System*, constituido por una fibra de alta resistencia y altísima resistencia mecánica de matrices epoxicas especialmente formuladas para restaurar, y adecuar estructuras de hormigón armado estáticas, hormigón pretensado, acero, mampostería y madera.

Las fibras que caracterizan este tipo de compuestos estructurales están formadas por: carbono, cristal, acero y basalto. Este sistema puede aumentar el rendimiento de las instalaciones, su resistencia y ductilidad. También, el *Mapei FRG System*, sistema de refuerzo tecnológicamente innovador, desarrollado para el refuerzo de estructuras de mampostería de piedra, ladrillo, y se mezcla, a través del uso de redes de fibra de vidrio, basalto y matrices inorgánicas a base de cemento o cal.

De igual forma, el *MapeWrap* desarrollado para la guarnición de particiones secundarias como revestimientos de tabiques. Este sistema está diseñado como un "papel sísmico", que trabaja como una especie de bolsa de aire, evitando colapso o inclinación fuera del plano de las colisiones traseras lo que permite abandonar el edificio sin grandes riesgos.

Se aplica con un adhesivo *MapeWrap EQ* que en caso de sismo, permite distribuir la energía del impacto del terremoto en toda la superficie de la totalidad pared para ayudar a absorber la energía y prevenir puntos de concentración de esfuerzos en marcos de puertas y ventanas.

#### Ventajas:

- Retrasa el colapso de la mampostería y en algunos casos evitaría completamente el colapso.
- Eficaz, económico y fácil de instalar.
- Proporciona protección a largo plazo.
- Brinda ese tiempo extra necesario para salir del edificio en caso de que este vaya a colapsar.
- Aumentan la estabilidad de la mampostería.
- El adhesivo que une la tela es a base de agua y no contiene disolventes orgánicos. Se puede usar en interiores

#### Desventajas:

- No está disponible para el mercado latinoamericano y deberá introducirse.

**Imagen 55:** Composición de muro con tecnología de tela de fibra de vidrio con resistencia sísmica.

**Fuente:** [www.terremoto-report.com](http://www.terremoto-report.com)

**Imagen 56:** Refuerzo del nudo viga-columna con *MapeWrap C*, Mapei. **Fuente:** Catalogo de productos Mapei Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

**Imagen 57:** Refuerzo a corte de pilar mediante tejidos *MapeWrap*, Mapei. **Fuente:** Catalogo de productos Mapei, Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

**Imagen 58:** Aplicación de refuerzo con *MapeWrap*, Mapei, en muros. **Fuente:** Catalogo de productos Mapei, Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

### 5.3.2 Aglomerantes y morteros

Partiendo de la necesidad de intervenir edificaciones antiguas sin dañar su forma original diversas marcas han fabricado aglomerantes, los mismos, son compuestos en su mayoría a base de cal y otros componentes que aportan a la consolidación de muros o superficies tanto horizontales como verticales.

Estos sistemas están orientados a la consolidación de cimientos, mampostería en seco, pilastras, muros de piedra, ladrillo, prefabricados o mixtos y en ese orden al relleno de cavidades internas que pueden aparecer por el deterioro de la edificación. Estos se presentan para diferentes tipos de entornos, con la posibilidad de ser resistentes al salitre del mar o entornos húmedos, protegiendo la estructura. Por otra parte, están los morteros, creados con la intención de permitir la reconstrucción y proporcionar mayor resistencia protegiendo los muros de incidencias del entorno. Los sistemas son:

<sup>1</sup> *Mape-Antique I* : comprende lechadas de inyección con cargas, super fluidas, con estabilidad volumétrica; aglomerantes para mezclar con arenas y/o gravilla para la confección de morteros en obra; morteros de revoque deshumidificantes macroporosos; morteros para revoque de fondo y estructurales, y morteros para albañilería.

<sup>1</sup> *MapeGrout*: mortero tixotrópico, fibrorreforzado, de resistencia media (40 MPa), para el saneamiento del hormigón.

<sup>1</sup> *Planitop HPC 1*: reparación y fortalecimiento de áreas deterioradas de las estructuras de hormigón con espesores particulares o superficies que requieren el uso de altas prestaciones de mortero fluido.

### 5.3.3 Armadura

Desde hace tiempo se viene trabajando con materiales combinados con fibra de carbono, fibra de vidrio y resinas. A partir de estas se han creado barras, láminas y angulares que se caracterizan por tener una buena resistencia a la tracción longitudinal, son muy ligeros, permitiendo ser utilizados como materiales de refuerzo.

Estos elementos gracias al bajo peso específico del carbono posibilitan realizar barras con un diámetro inferior y mucho más ligeras con iguales prestaciones respecto al acero. Por otro lado, están las láminas que se pueden utilizar como refuerzo externo bajo flexión en estructuras de hormigón armado y como refuerzo en pilares que soporten cargas axiales. Estos sistemas son:

<sup>1</sup> *CarbooFree*®: Barras y láminas

<sup>1</sup> *AraFree*®: Estribos

<sup>1</sup> *GlassFree*®: Barras

<sup>1</sup> *Sika CarboShear*®: Angulares L

<sup>1</sup>Los productos mencionados pertenecen a la línea de productos para refuerzo estructural. Los datos técnicos están disponibles en la Web: [www.mapei.es](http://www.mapei.es)

<sup>1</sup>Los productos mencionados pertenecen a la línea de productos para refuerzo estructural. Los datos técnicos están disponibles en la Web: [www.sika.com](http://www.sika.com)

<sup>1</sup>Los productos mencionados pertenecen a la línea de productos para refuerzo estructural. Los datos técnicos están disponibles en la Web: [www.sireg.it](http://www.sireg.it)

**Imagen 59:** Detalle de refuerzo en fachada exterior con productos Mapei. **Fuente:** Revista trimestral: *Realidad Mapei*. Marzo 2012.

**Imagen 60:** Aplicación de productos en muratura exterior. **Fuente:** Revista trimestral: *Realidad Mapei*. Marzo 2012.

**Imagen 61:** Refuerzo de pilar con FRP, Mapei. **Fuente:** Revista trimestral: *Realidad Mapei*. Marzo 2012.



Imagen 59



Imagen 60



Imagen 61

### 5.3.4 Posibles propuestas de intervención para edificaciones auto construidas

Luego de que por medio de la ficha de evaluación expuesta en el capítulo anterior se identifiquen la vulnerabilidad y lesiones que posee la estructura y la edificación en general, se proponen algunas posibles soluciones para intervenir partir de los productos de refuerzo estructural antes mencionados.

#### 5.3.4.a Intervenciones en estructuras de barras de hormigón armado

- Refuerzo local de nudos no confinados en el perímetro de la estructura (nudo de esquina o nudos intermedios en el plano de fachada)
- Refuerzo de nudo intermedio en plano de fachada (incremento de resistencia)
- Refuerzos de nudos en plano de fachada (incremento de resistencia)
- Confinamiento de los extremos de los pilares para incrementar su capacidad a esfuerzo cortante y su ductilidad.
- Incremento de la resistencia a corte de los extremos de las vigas para prevenir el colapso por baja resistencia del hormigón y/o insuficiente estribado.

#### 5.3.4.b Intervenciones en estructuras de obras de fábrica o mampostería

- Cosido de lesiones.
- Refuerzo de muros y losas para evitar desprendimientos.
- Reconstrucción de muros.

#### 5.3.4.c Intervenciones no estructurales

- a) Cerramientos y particiones: conexión perimetral a pilares y vigas (planas o de cuelgue) o forjados.
- b) Instalación de tela sísmica luego de reparar lesiones para evitar desprendimientos a destiempo de los elementos y al mismo tiempo aportar resistencia.

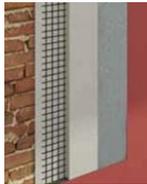
Estas propuestas de intervención deben realizarse con personal capacitado por la marca de los productos que se vayan a utilizar, para evitar errores en la aplicación que disminuyan la efectividad y resistencia de los materiales y por consiguiente afecten el comportamiento de la estructura.

A continuación se expone una tabla que identifica en cuáles de las tipologías identificadas en Puerto Príncipe se podría emplear estas posibles soluciones.

## 5.3.5 Tabla de posibles soluciones de prevención de daños frente a sismos en tipologías identificadas

### INTERVENCIÓN EN TIPOLOGÍAS CON NUEVAS TECNOLOGÍAS

Posibles Soluciones de Prevención de daños frente a Sismo en Tipologías Identificadas

Nueva Tecnología	¿Qué elemento estructural se puede intervenir?							Campo de aplicación	¿A qué contribuye?	¿En que tipología se puede usar?	Representación Gráfica
	Producto	Pilar	Viga	Muro	Losa/Entrepiso	Unión/Nudo	Suelo				
<b>FIBRAS DE CARBONO Y/O VIDRIO</b>											
1) Mapegrid G120/ G220 2) MapeWrap EQ System 3) SikaWrap®-230/300 C 4) MapeWrap C LIN-AX 5) FRP CARBOPREE® 6) FRP GLASSFREE® 7) FRP ARAPFREE® 8) Sika CarboDur® E 9) MapeWrapp C/G Flocco	✓	✓	✓	✓	✓	X	Medio	-Retrazo del colapso de las paredes durante un sismo. -Restauración y adecuación de estructuras de hormigón armado, madera y mampostería. -Aumento del rendimiento de las instalaciones su resistencia y ductilidad. -Distribución de las energías del impacto de los terremotos en toda la superficie, previniendo puntos de concentración de esfuerzos. -Mejora de las condiciones de servicio. -Conexión estructural.	A) Reforzar en aspectos sísmicos elementos de albanilería. B) Incrementa resistencia a cortante de muros de piedra, ladrillo y tufo. C) Redistribución las tensiones y la mala sirve como elemento anti-fractura. D) Reforzar los elementos sujetos a fisuración como la zona de unión entre un elemento de hormigón y el muro de cerramiento y en correspondencia con los ángulos de las aberturas. E) Refuerza bajo flexión o bajo corte para subir las prestaciones de compresión en las columnas mediante vendaje externo contra la flexo compresión en las estructuras de hormigón armado. F) Reposición de barras de armadura. G) Resistencia y ductilidad en pilares. H) Flexibilidad en la adaptación de la geometría de las superficies (vigas, pilares, chimeneas, muros, silos).	B-C-D	  
<b>AGLOMERANTES Y MORTEROS</b>											
Mape-Antique I	X	X	✓	X	X	X	Medio	-Consolidar y sanear muros de ladrillos, piedra, tufo o albanilería mixta.	A) Consolidar cimientos, mampostería en seco, pilastras, muros de piedra, ladrillo, tufo y mixtos B) Rellenar cavidades internas, grietas, fisuras, etc... C) Consolidación de revocos fisurados y/o separados del soporte. D) Elaboración de morteros de albanilería para la reconstrucción de muros. E) Restauración de intervenciones de remiendo* o reemplazo, en muros que presentan huecos y/o discontinuidades.	B-C-D	 
MapeGrout	✓	✓	✓	✓	X	X	Medio	-Reparación cortical de estructuras de hormigón armado deteriorado, sobre superficies verticales u horizontales, con mortero de prestaciones mecánicas medias.	A) Reparación de zonas degradadas de hormigón, aristas de pilares, vigas y frentes de balcones, dañados por oxidación del hierro de la armadura. B) Regularización de muros parciales y galerías. C) Reconstrucción del recubrimiento de las armaduras de hierro en estructuras de hormigón armado. D) Regularización de defectos superficiales como nidos de grava, juntas de hormigonado, agujeros separadores del encofrado, afloramiento de fierros. E) Relleno de juntas rígidas.	B-C-D	 
Planitop HPC	✓	✓	X	✓	X	✓	Medio	-Reparación y fortalecimiento de áreas deterioradas de las estructuras de hormigón con espesores particulares o superficies que requieren el uso de altas prestaciones de mortero fluido. -Refuerzo por revestimiento de bajo espesor (1.5 a 3 cm) de las estructuras de soporte de carga (vigas, columnas, nodos)	A) Mejora sísmica de elementos sometidos a alta tensión en el que se requiere alta ductilidad. B) Fortalecimiento estructural reforzado a través de revestimiento de cemento para pilares y vigas. C) Restablecimiento de losas y pisos después de eliminar las zonas deterioradas por escarificación.	B-C-D	 
<b>ARMADURA</b>											
1) Barras y Láminas CARBOPREE® 2) Estribos ARAPFREE 3) Barras GLASSPRE® 4) Angulares L Sika CarboShear®	✓	✓	X	✓	X	X	Medio	-Refuerzo externo bajo flexión en las estructuras de hormigón armado y como refuerzo de columnas que tienen que soportar cargas axiales y flexurales. -Refuerzo externo para estructuras existentes. -Deterioro. -Modificaciones en su empleo o modificaciones en las cargas. -Adecuaciones sísmicas. -Aporta resistencia al hormigón bajo tensión. -Refuerzo de estructuras de hormigón a cortante.	A) Consolidación a la flexión de las vigas. B) En columnas, permiten un confinamiento y aumento de la ductilidad. C) Los angulares refuerzan estructuras a cortante. D) Incremento de la capacidad portante de vigas.	B-D	   



Constantemente se hacen descubrimientos en el campo de la construcción sismorresistente y esta muy claro que en estos se busca responder a las problemáticas constructivas. Desde un punto de vista estructural, estos descubrimientos se promueven para la minimización de pérdidas humanas y materiales cuando se presentan catástrofes naturales.

Las nuevas tecnologías son de gran importancia; de ellas depende el acondicionamiento de edificaciones existentes para brindar soporte y resistencia a las infraestructuras en general, precisando componentes que cada vez respondan mejor a las situaciones que se presentan en cada condición específica.

Las numerosas consecuencias que han generado terremotos en Italia, España y Latinoamérica han motivado a indagar sobre el comportamiento de distintos materiales, logrando descubrir que en los nano materiales, las fibras de carbono y las fibra de vidrio hasta el momento esta la respuesta en lo que al acondicionamiento de edificaciones existentes se refiere. Considerándose estas nuevas posibilidades como una gran ayuda para lugares alta peligrosidad sísmica que requieran prevenir y, en ese mismo orden, para los que hayan sufrido un sismo y requieran de un refuerzo o acondicionamiento de las estructuras.

En el transcurso de esta investigación se ha analizado profundamente la forma de construir, los materiales utilizados y las condiciones en las que se encuentran antes y después del sismo del 2010 las edificaciones autoconstruidas de la República de Haití. Concluyéndose en que las nuevas tecnologías aportan, pero es necesario conocer y tener en cuenta si el estado de la edificación admite este tipo de intervenciones, y a partir de esto, elegir la que mejor se adapte de acuerdo con la situación y las posibilidades.

Partiendo del funcionamiento de los materiales puntualizados anteriormente, se encontró que existe la posibilidad de plantear soluciones temporales a problemáticas de desprendimiento de elementos estructurales en edificaciones de mampostería, con cubiertas ligeras o con losas de hormigón armado.

A través de la ubicación de una lámina o red de retención convencional que evite que los elementos caigan directamente sobre las personas. Esta solución fue implementada en una escuela de Valencia luego de sufrir el desprendimiento de una cubierta de madera sobre un cielo raso y con esta algunos ladrillos pertenecientes al antepecho sobre un aula.

Desde el punto de vista sismorresistente esta respuesta no se cataloga como una solución permanente, ni se debe realizar sin una evaluación previa, pero se considera una medida preventiva a corto plazo, hasta que se haga un análisis de la condición de la edificación y se proceda a intervenir, en caso de que sea necesario. Se propone esta medida debido a que los desprendimientos de elementos estructurales son una de las principales causas de muertes al momento de un sismo.

# Conclusión

En esta investigación se han estudiado las causas de vulnerabilidad constructiva y estructural en las edificaciones de Puerto Príncipe, Haití. Aportándose un mecanismo simplificado de evaluación de vulnerabilidad e identificándose en el mercado nuevas soluciones que podrían ser válidas para prevenir daños frente a sismo en las edificaciones existentes.

A partir del estudio de la peligrosidad, vulnerabilidad y el riesgo sísmico se ha podido comprobar que en el riesgo sísmico intervienen diversos aspectos:

- La peligrosidad; probabilidad de que en algún momento se produzca un sismo.
- Los efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas.
- La vulnerabilidad de las edificaciones, que incide directamente en la seguridad de los habitantes.
- Los bienes que pueden verse afectados por la ocurrencia de un sismo.

Por ello, para poder mitigar el riesgo es necesario tener conocimientos claros sobre los componentes que modifican los índices de riesgo, y las estrategias que aportan a esta actuación. Específicamente:

- El nivel de peligrosidad sísmica de la zona
- El historial sísmico
- Las cualidades constructivas y estructurales de las edificaciones
- El daño potencial que se podría generar si ocurre un sismo

Considerando estos parámetros, en el tercer capítulo, se descubre que el territorio haitiano posee una alta sismicidad. Encontrándose en las ciudades de la zona norte, y Puerto Príncipe, las áreas con mayor peligrosidad. (PIERRISTRAL, 2012), siendo esta última la que resultó más afectada durante el sismo del 2010 y la seleccionada para el caso de estudio.

Tras caracterizar los tipos de viviendas propios del área, además sus sistemas constructivos, estructural y los materiales que lo componen, se ha comprobado el elevado índice de autoconstrucción de las viviendas, lo que aumenta considerablemente la vulnerabilidad de las construcciones.

Las viviendas cuentan con malas prácticas constructivas, entre las que se observa:

- La utilización de acero frágil en los armados
- Cemento adulterado con sal y otros contaminantes
- Estribos mal cerrados en las uniones viga-pilar
- Distancias inapropiadas entre estribos en armaduras
- Condiciones de suelo inapropiadas



Imagen 62



Imagen 63



A esto se adiciona la ausencia de normativa de construcción sismorresistente. Lo que confirma el pésimo estado de conservación que presentan los edificios a raíz del sismo de enero del 2010. Cinco años después, muchas viviendas todavía siguen sin reparar.



Imagen 64



Imagen 65

Imagen 62: Iglesia Sacre Coeur en Puerto Príncipe, fotografía tomada el 14 enero, 2010. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

Imagen 63: Iglesia Sacre Coeur en Port-au-Prince, fotografía tomada el 29 diciembre, 2014. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

Imagen 64: Imagen muestra una calle de Puerto Príncipe dos días después del sismo del año 2010. Fotografía tomada el 14 enero, 2010. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

Imagen 65: Imagen muestra una calle de Puerto Príncipe en la actualidad. Fotografía tomada el 29 diciembre, 2014. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

En el desarrollo de este apartado se catalogan lesiones en la edificación, considerando que en la actualidad Haití se encuentra en una situación post-sismo que forma parte de los factores que inciden en la vulnerabilidad.

Tras la identificación del problema de vulnerabilidad en Puerto Príncipe, se aporta una ficha de "Evaluación de Edificaciones" (Capítulo cuatro). El objeto de este recurso es obtener datos concretos sobre las características constructivas de las edificaciones, punto de partida para mitigar su vulnerabilidad. Partiendo de un análisis cualitativo y cuantitativo, como resultado se obtiene su nivel de vulnerabilidad.

Con la misma intención, tras un estudio de productos existentes en el mercado, llevado a cabo en el capítulo cinco, se han identificado varios sistemas que podrían utilizarse como mecanismo de mejora y refuerzo para estas edificaciones. Aunque no es un mercado muy amplio, estos productos aportan resistencia y un mejor comportamiento frente a sismo a las edificaciones. Entre ellos encontramos:

- **Mallas o telas**

Compuestas de fibra de carbono o de vidrio. Funcionan como protección para evitar desprendimiento de elementos de mampostería, aportando mayor resistencia a los componentes estructurales y por ende mejor comportamiento a la estructura en general.

- **Aglomerantes y morteros**

Funcionan para consolidar y sanear muros. Fortaleciendo y reparando áreas deterioradas de la estructura.

- **Armaduras**

Funcionan como un refuerzo externo en las estructuras, aumentando la capacidad portante de los elementos estructurales.

Las ventajas que se identificaron en estos sistemas en comparación con los convencionales esta en la ligereza que los caracteriza, la fácil instalación, y el factor económico que a largo plazo compensa la inversión.

Como resultado del análisis de estos productos, se aporta una tabla de posibles soluciones de prevención de daños por sismo, para las tipologías identificadas en Puerto Príncipe. Se identifica el campo de aplicación de estos sistemas con respecto al caso de estudio.

Todo esto ha permitido conocer a profundidad las soluciones que hay en el mercado que, en algunos de los casos deben ser introducidas al país para poder ser aplicadas.

Por último, se consigue establecer una idea sobre la realidad en la que se encuentra el mundo de los materiales, las posibilidades de intervención que están al alcance y las ventajas que supone su utilización.

Es evidente que el territorio haitiano y todo lo que lo compone suplica la implementación de estas soluciones, por las condiciones de alta vulnerabilidad, atribuidas a la extrema pobreza y a la falta de regulación por parte de las autoridades.

Como línea futura de investigación se propone la aplicación de los recursos planteados. También, sería deseable realizar una evaluación de vulnerabilidad mediante la ficha propuesta en el presente trabajo a edificaciones de una zona específica de Puerto Príncipe.

Además, aún queda mucha investigación por delante en el campo de los nuevos materiales y su aplicación, como el desarrollo de soluciones más específicas, que concuerden con las características constructivas de las tipologías identificadas y la comprobación de su funcionamiento.

La República de Haití posee un alto riesgo sísmico, acompañado de un bajo nivel en la calidad de vida, una manera de remediar esta situación es contribuir y eso es lo que pretende este trabajo de fin de master.



Imagen 66



Imagen 67

---

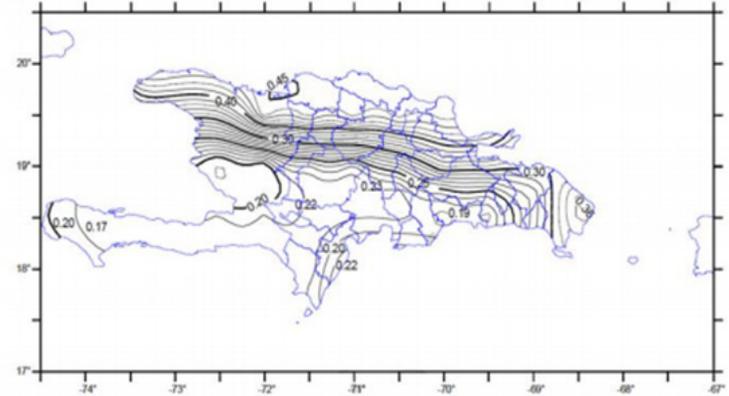
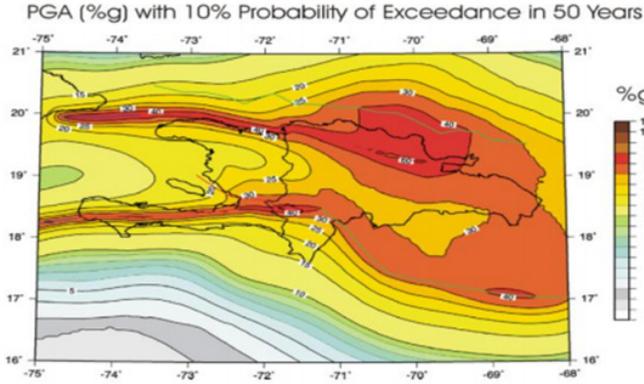
**Imagen 66:** Imagen muestra el mercado central de Puerto Príncipe dos días después del sismo del año 2010. Fotografía tomada el 14 Enero, 2010. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

**Imagen 67:** Imagen muestra el mercado central de Puerto Príncipe en la actualidad. Fotografía tomada el 29 diciembre, 2014. **Imagen recuperada de** [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com)

ANEXOS

## ANEXO 1

Mapas de peligrosidad para la PGA de periodo de retorno de 457 años. (FRANKEL et al., 2011) (Derecha) y República Dominicana Código Sísmico (Izquierda)



## ANEXO 2

Distribución espacial de las tipologías constructivas de acuerdo con el nuevo plan de catastro de Puerto Príncipe. (TORRES, 2012)

MBT	Materiales		N° Edificios	% Daño completo
	Estructura	Muros		
RC-SW	Hormigón armado	Hormigón armado	1257	16%
RC-CB	Hormigón armado	Bloques de hormigón	63100	18%
RC-UM	Hormigón armado	Mampostería sin reforzar	3273	21%
RL-BM	Mampostería reforzada	Bloques de hormigón	11998	23%
URM1	Mampostería confinada	Mampostería sin reforzar	2766	22%
URM2	Marco de madera	Mampostería sin reforzar	2514	26%
W1	Marco de madera	Madera	868	24%
ST-CB	Marco de acero	Bloques de hormigón	508	22%

Tabla 3.2.e.1: Clasificación del parque inmobiliario de Puerto Príncipe (TORRES, 2012)

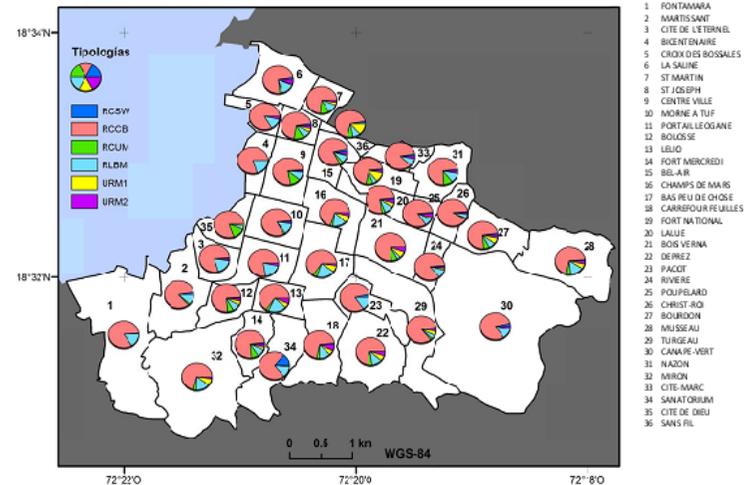


Figura 3.2.e.1: Distribución espacial de las tipologías constructivas en Puerto Príncipe (TORRES, 2012)

### ANEXO 3

Comparación entre el comportamiento de cada tipología simulada en la estimación del riesgo sísmico por (TORRES, 2012) para un sismo de Mw 7.0 en la falla Matheux-Neiba para la ciudad de Puerto Príncipe.

Analizando la imagen se observa que la RC-SW es la que mejor se comporta, seguida por la más representativa, la RC-CB. El mismo patrón se observó en el sismo del 2010, aunque con porcentajes de daños más altos, debido a que el epicentro era más cercano. El resto de las tipologías sufren daños mayores, especialmente colapsos, que rondan el 20-25%, siendo la RL-BM y la URM2 las menos resistentes (como también ocurrió en el 2010).

En general, de acuerdo con la simulación realizada en la Matheux – Neiba todas las tipologías siguen un patrón parecido: el mayor daño es el nulo y va decreciendo hasta el extenso, donde de repente se eleva el número de colapsos (Figura 3.2.e.2).

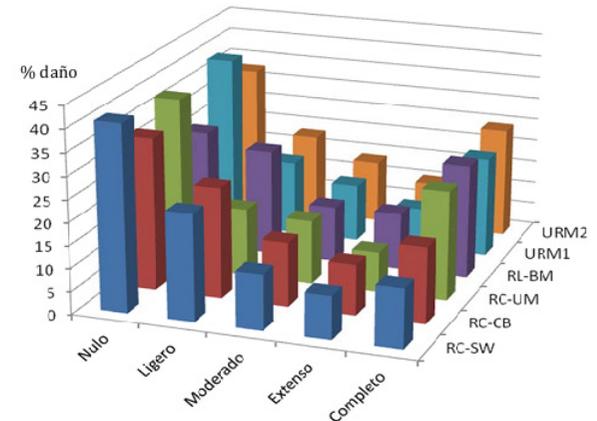


Figura 3.2.e.2: Diagrama de porcentajes de daños por tipologías identificadas (ver Tabla 3.2.e. 1) en (TORRES, 2012)

### ANEXO 4

Edificaciones Inhabitables estimadas en (TORRES, 2010)

Se puede observar el porcentaje respecto del total de edificios sometidos a estudios, varía entre el 30-50%, alcanzándose los mayores porcentajes, de nuevo en las zonas de mayor amplificación local por tipo de suelo. En este mapa, (TORRES, 2012) ha incluido el valor absoluto, para dar una idea del número de edificios inhabitables neto. Estas cifras, en la mayoría de las unidades son varios cientos, lo que proporciona una idea general de la magnitud de la catástrofe. En las unidades situadas al sur de la ciudad, en las laderas de las montañas, se alcanzan las mayores cifras, pero no hay que perder de vista que también son los distritos con mayor número de edificios (Figura 3.2.e.6).

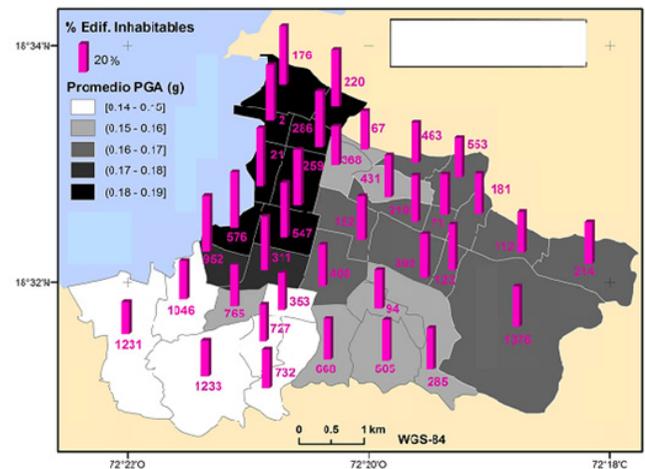


Figura 3.2.e.5: Número de edificios que se esperan queden inhabitables. (TORRES, 2012)

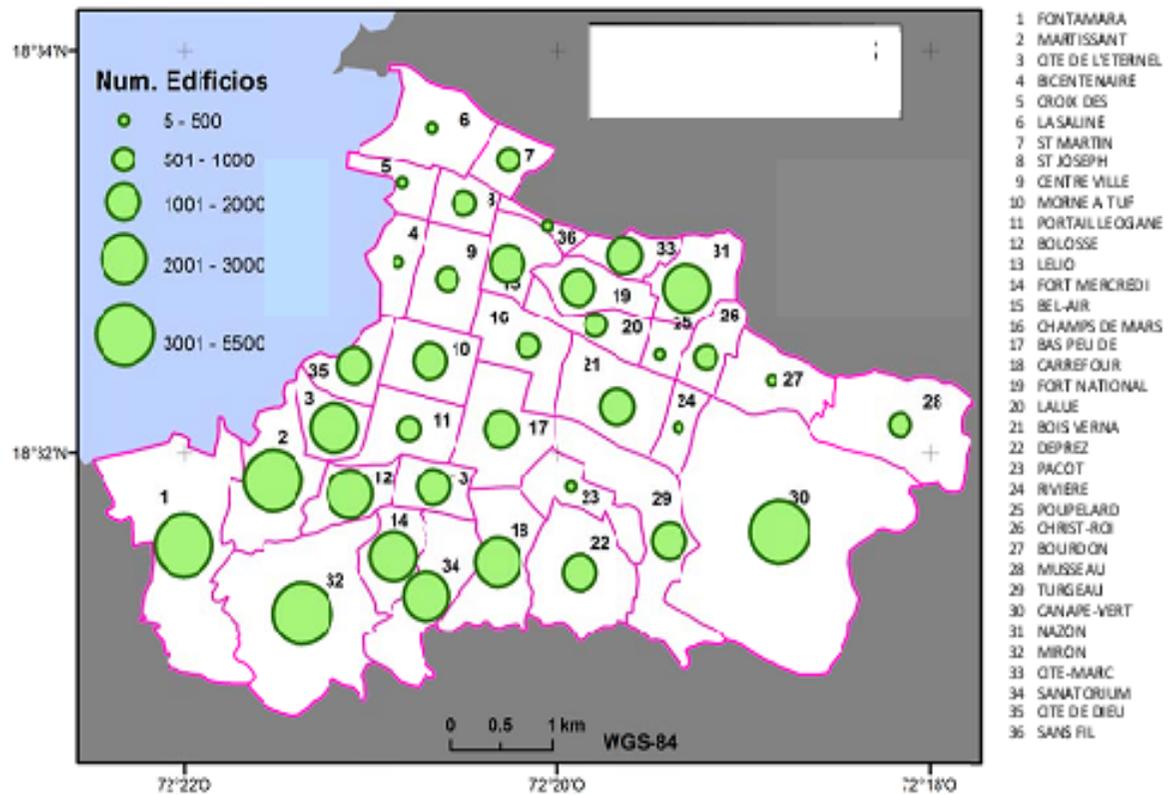


Figura 32.e6: Distribución del número de edificios en Puerto Príncipe. (Oficina de Catastro de Haití) (TORRES, 2012)

## ANEXO 5

### Manual para rellenar plantilla de identificación de daños y evaluación de edificaciones con vulnerabilidad sísmica propuesta

#### 1) Información General del Inmueble

Constituye el nombre y ubicación del inmueble, entre otros datos que servirán para el registro y control, en caso de que se aplique el plan a un grupo de edificaciones; Además de formar una base de datos con la ubicación exacta con la cual se pueda identificar los inmuebles estudiados.

- Nombre del Inmueble: Denominación ya sea un edificio o grupo de edificios en cuyo predio se ubica la edificación a evaluar.
- Nombre del edificio: Nombre particular que identifica la estructura a evaluar. Si existen edificios agrupados bajo un mismo nombre se deberá emplear un formato de inspección para cada edificio. Ejemplo (Edificio A, B, C, etc.)
- Calle y número: Nombre completo de la calle donde se ubica el acceso principal del edificio indicando el número exterior.
- Colonia/Barrio: Anotar el nombre completo de la colonia, barrio o alguna referencia equivalente en donde se ubica el inmueble.
- Pueblo/Ciudad: Nombre de la ciudad en la que se encuentra el inmueble.
- Municipio/Departamento: Nombre del municipio o departamento en el que se encuentra el inmueble a inspeccionar.
- Referencias: En este espacio se dará información adicional para la fácil ubicación del inmueble. Ejemplo: Cercano a la iglesia, al lado del comercio "Nombre".

#### 2) Información Constructiva-Estructurales

La identificación del tipo de estructura y la manera en la que esta trabaja de acuerdo con las condiciones en las que fue construida responden a la necesidad de conocer cuales elementos pueden ser afectados y en que nivel si ocurre un sismo. Esta información puede ser recogida por el encuestador a simple vista. La fecha de construcción y la edad del edificio, si se realiza de varios edificios serviría para catalogarlos por edades. Este paso es de gran utilidad ya que delimita las prioridades al momento de intervenir, identificando cual edificación es más vulnerable. La edad de la estructura se debe investigar con informaciones catastrales o preguntando a los residentes en caso de que no haya ninguna documentación disponible o mediante análisis multi-temporal a través de la foto interpretación.

El numero de pisos y la altura con relación al nivel 0 (terreno o calle), indica cual será el impacto que tendrá si colapsa frente a otras edificaciones colindantes. Esta información se puede obtener de manera sencilla por el encuestador. Los materiales de construcción en paredes, con el fin de identificar que tipo de daños podrían esperarse dependiendo de cada tipo de material. Esta información puede obtenerla el entrevistador. La existencia o no de cimentación indica el comportamiento que tendrá el sistema estructural y los danos que podrían presentarse, e información sobre el tipo de cubierta. Esta información requiere de indagación por parte del encuestador. .



El valor del inmueble se puede obtener a través de información catastral. La tipología constructiva se seleccionara dependiendo de las cualidades formales del edificio en evaluación, considerando que si corresponde con la tipología D y posee más de 2 niveles se debe especificar cuantos niveles tiene la edificación.

Datos detallados sobre las características técnicas de las estructuras son de gran utilidad para detectar la vulnerabilidad y el comportamiento que tendrá la edificación durante un sismo. Esta parte requiere de un análisis más exhaustivo, además requiere de conocimientos básicos del campo estructural, por lo que se emplearan distintos gráficos que representen los posibles daños identificados en las fichas desarrolladas en el capítulo anterior, con la intención de que se pueda contabilizar cuales son y el nivel de riesgo que arrojan y así estimar la vulnerabilidad, adicionando el método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini.

El estado de ocupación del inmueble indica la situación actual del inmueble y en caso de que esté habitada se requiere especificar el número de habitantes. En el apartado de topografía se debe especificar de acuerdo con el gráfico que acompaña la ficha en que posición se encuentra el edificio evaluado y las cualidades del suelo en el que se encuentra. Las dimensiones el edificio se definirá en frente y fondo de acuerdo con las especificaciones graficas que acompañan la ficha en ese apartado.

### 3) Vulnerabilidad Estructural

El apartado de vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad de daño que una estructura presenta frente a algún evento que pueda afectarla. En este apartado la intención es conocer las lesiones que se pueden identificar en la edificación antes de verse afectada por el sismo para poder intervenirlas y evitar que los elementos estructurales se comporten de manera incorrecta posteriormente.

La evaluación se va a valorar en vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta, de acuerdo con las cualidades identificadas que coinciden con los graficos que acompañan cada partida. Para poder evaluar de manera sencilla y objetiva la vulnerabilidad de una edificación o varias edificaciones se requiere del conocimiento de ciertas características físicas de la estructura que la componen, estas se pueden identificar en un trabajo de campo. Las evaluaciones se realizaran por las condiciones tanto en planta como en elevación ya que las irregularidades se presentan en los dos casos. La posición de la manzana se elegirá con relación a la cuadra en la que se encuentre.

#### Aspectos geométricos

Las irregularidades en la planta se seleccionaran de acuerdo con:

- Vulnerabilidad baja: Edificaciones con forma geométrica regular y aproximadamente simétrica, largo menor que 3 veces ancho, no tiene entradas y salidas como las que se muestran en la figuras B y C visto tanto en planta como en elevación.
- Vulnerabilidad media: Presenta algunas irregularidades en planta y elevación no muy pronunciadas.
- Vulnerabilidad alta: El largo es mayor que 3 veces ancho y la forma es irregular, con entradas y salidas abruptas.

Las irregularidades en elevación:

- Vulnerabilidad baja: La mayoría de los muros estructurales son continuos desde la cimentación hasta la cubierta.
- Vulnerabilidad media: Algunos muros presentan discontinuidad desde la cimentación hasta la cubierta.
- Vulnerabilidad alta: La mayoría de los muros no son continuos en altura desde su cimentación hasta la cubierta, hay cambios de alineación en el sistema de muros en dirección vertical y cambio de sistema de muros en pisos superiores a columnas en el piso inferior.

### **Cantidad de muros en las dos direcciones:**

-Vulnerabilidad baja: Existen muros estructurales en las dos direcciones principales de la edificación y estos son confinados o reforzados. Hay una longitud totalizada de muros en cada una de las direcciones principales.

-Vulnerabilidad media: La mayoría de los muros se concentran en una sola dirección aunque existen unos o varios en la otra dirección, la longitud de muros en la dirección de menor cantidad anterior.

-Vulnerabilidad alta: Más del 70% de los muros están en una sola dirección, hay muy pocos muros confinados o reforzados, la longitud total de los muros estructurales en cualquier dirección es mucho menor que la del caso de vulnerabilidad media y baja.

### **Otras vulnerabilidades:**

Existen otras condiciones que le aportan alto grado de vulnerabilidad a la edificación, por ejemplo aquellas que proporcionan poca capacidad de deformación elástica.

-Conexión excéntrica viga-columna: la configuración más conveniente es cuando los ejes de las vigas coinciden con los de las columnas en el plano del marco que se forma. Se considera baja excentricidad si la distancia entre eje de columna y trabe es menor del 10% de la dimensión de la columna medido normal a la viga. Si la excentricidad es mayor, pero el ancho de la trabe queda adentro del de la columna, se considerará excéntrica; y si la trabe queda parcial o totalmente fuera del ancho de la columna se considerará con alta excentricidad. Se deberá marcar esta casilla si se cuenta con excentricidad o alta excentricidad.

-Aberturas en planta > 20%, longitud entrantes/ salientes > 20%, muros que no llegan a la cimentación, planta baja flexible, columnas cortas y arreglo irregular de ventanas en fachada, estas opciones son del carácter cualitativo y se pueden seleccionar si se identifica la presencia de una o más de una.

## **Aspectos constructivos**

### **Calidad de las juntas**

-Vulnerabilidad baja: El espesor de la mayoría de las pegas está entre 0.7 y 1.3 cm, las juntas son uniformes y continuas., hay juntas de buena calidad verticales y horizontales rodeando cada unidad de mampostería y el mortero es de buena calidad y presentan buena adherencia con la pieza de mampostería.

-Vulnerabilidad media: El espesor de la mayoría de las pegas es mayor a 1.3 cm o menor de 0.7 cm, las juntas no son uniformes y no existen juntas verticales o son de mala calidad.

-Vulnerabilidad alta: La pega es muy pobre entre los bloques, casi inexistente, poca regularidad en la alineación de las piezas, el mortero es de muy mala calidad o evidencia separación con las piezas de mampostería y no existen juntas verticales y/o horizontales en zonas del muro.

### **Tipo y disposición de las unidades de mampostería**

-Vulnerabilidad baja: Las unidades de mampostería están trabadas, los unidades de mampostería son de buena calidad. No presentan, agrietamientos importantes, no hay piezas deterioradas o rotas y las piezas están colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada.

-Vulnerabilidad media: Algunas piezas están trabadas, mientras otras no lo están, siendo la mayoría de la primera clase, algunas piezas presentan agrietamiento o deterioro y algunas piezas están colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada.

-Vulnerabilidad alta: Las unidades de mampostería NO están trabadas (petaca), las unidades de mampostería son de muy mala calidad, se presentan agrietamientos importantes con piezas deterioradas o rotas y las piezas no están colocadas de manera uniforme y continua hiladas tras hiladas.

### Calidad de los materiales

- Vulnerabilidad baja: El mortero no se deja rayar o desmoronar con un clavo o herramienta metálica, el concreto tiene buen aspecto, sin hormigueros y el acero no está expuesto, en los elementos de confinamiento en concreto reforzado, hay estribos abundantes y por lo menos 3 a 4 barras No 3 en sentido longitudinal, el ladrillo es de buena calidad, no está muy fisurado, quebrado, ni despegado y resiste caídas de por lo menos 2 metros de alto sin desintegrarse ni deteriorarse en forma apreciable.
- Vulnerabilidad media: Se cumple varios de los requisitos anteriormente mencionados.
- Vulnerabilidad alta: No se cumplen más de dos requisitos antes mencionados.

### Aspectos Estructurales

#### Muros confinados y reforzados

- Vulnerabilidad baja: Todos los muros de mampostería de la vivienda están confinados con vigas y columnas de concreto reforzado alrededor de ellos, el espaciamiento máximo entre elementos de confinamiento es del orden de 4 m o la altura entre pisos, todos los elementos de confinamiento tienen refuerzo tanto longitudinal como transversal y está adecuadamente dispuesto, las culatas y antepechos también están confinadas.
- Vulnerabilidad media: Algunos muros de la edificación no cumplen con los requisitos mencionados anteriormente.
- Vulnerabilidad alta: La mayoría de los muros de mampostería de la vivienda no tienen confinamiento mediante columnas y vigas de concreto reforzado.

#### Detalle de columnas y vigas de confinamiento

- Vulnerabilidad baja: Las columnas y vigas tienen más de 20 cm de espesor o más de 400 cm<sup>2</sup> de área transversal, las columnas y vigas tienen al menos 4 barras No 3 longitudinales y estribos espaciados a no más de 10 a 15 cm, existe un buen contacto entre el muro de mampostería y los elementos de confinamiento, el refuerzo longitudinal de las columnas y vigas debe estar adecuadamente anclado en sus extremos y a los elementos de la cimentación.
- Vulnerabilidad media: No todas las columnas y vigas cumplen con los requisitos anteriores.
- Vulnerabilidad alta: La mayoría de las columnas y vigas de confinamiento no cumplen con los requisitos establecidos anteriormente.

#### Vigas de amarre o corona

- Vulnerabilidad baja: Existen vigas de amarre o de corona en concreto reforzado en todos los muros, parapetos, fachadas y culatas en mampostería.
- Vulnerabilidad media: No todos los muros o elementos de mampostería disponen de vigas de amarre o de corona.
- Vulnerabilidad Alta: La vivienda no dispone de vigas de amarre o corona en los muros o elementos de mampostería.

#### Características de las aberturas

- Vulnerabilidad baja: Las aberturas en los muros estructurales totalizan menos del 35% del área total del muro, la longitud total de aberturas en el muro corresponde a menos de la mitad de la longitud total del muro y existe una distancia desde el borde del muro hasta la abertura adyacente igual a la altura de la misma o 50 cm, la que sea mayor.
- Vulnerabilidad media: No se cumplen algunos de los anteriores requisitos en algunos de los muros de la viviendas.
- Vulnerabilidad alta: Muy pocos o ningún muro estructural de la vivienda cumple con los requisitos anteriores.

### Entre piso

-Vulnerabilidad baja: El entrepiso está conformado por placas de concreto fundidas en el sitio o placas prefabricadas que funcionan de manera monolítica, la placa de entrepiso se apoya de manera adecuada a los muros de soporte y proporciona continuidad y monolitismo, la placa de entrepiso es continua, monolítica y uniforme en relación con los materiales que lo componen.

-Vulnerabilidad media: La placa de entrepiso no cumple con alguna de las anteriores consideraciones

-Vulnerabilidad alta: La placa de entrepiso no cumple con varias de las consideraciones anteriores. Los entrepisos están conformados por madera o combinaciones de materiales (guadua, mortero, madera, concreto) y no proporcionan las características de continuidad y amarre deseados.

### Suelo

-Vulnerabilidad baja: El suelo de la fundación es duro. Esto se puede saber cuando alrededor de la edificación no existen hundimientos, cuando no se evidencian árboles o postes inclinados, no se siente vibración cuando pasa un vehículo pesado cerca de la vivienda o cuando en general las viviendas no presentan agrietamientos o daños generalizados, especialmente grietas en los pisos o hundimientos y desniveles en el mismo.

-Vulnerabilidad media: El suelo de la fundación es de mediana resistencia. Se puede presentar en general algunos hundimientos y vibraciones por el paso de vehículos pesados. Se pueden identificar algunos daños generalizados en viviendas o manifestaciones de hundimientos pequeños.

-Vulnerabilidad alta: El suelo de la fundación es blando o es arena suelta. Se sabe por el hundimiento en las zonas vecinas, se siente la vibración al paso de vehículos pesados y la vivienda ha presentado asentamientos considerables en el tiempo de construcción. La mayoría de las viviendas de la zona presentan agrietamientos y/o hundimientos.

### Evaluación de lesiones

La lesión de un elemento puede considerarse como la condición y grado de deterioro que presenta el mismo. La presencia de los mismos involucra un riesgo para sus ocupantes. Para determinar el nivel de seguridad de la estructura el inspector debe ser capaz de reconocer las lesiones que puedan poner en riesgo la estructura. En esta parte de la evaluación se registrarán las lesiones evidentes que se detecten durante el recorrido, tanto en el terreno como en la estructura propiamente y describirla en el apartado observaciones.

### Lesiones en otros elementos

Estos otros elementos incluidos dentro de la cédula de recopilación de información para evaluar la seguridad de edificaciones, son los denominados como elementos no estructurales, que son todos aquellos que se apoyan en la estructura, en la mayoría de los casos sin contribuir a modificar las características de comportamiento del sistema estructural, entre los que se pueden identificar muros divisorios, ventanas, plafones, cornisas, etc. Se debe registrar el nivel de daño en estos elementos debido a que comprometen la seguridad de los ocupantes del inmueble, o incluso del inmueble mismo, por la posible caída de objetos. Se distingue entre daños no estructurales exteriores e interiores únicamente por la ubicación del objeto.

### 4) Croquis del inmueble

Croquis general del predio con la ubicación de calles o principales rasgos urbanos, y la ubicación del inmueble dentro del predio.

-Croquis de la planta tipo del edificio, cuerpo o área inspeccionada.

-Elevación del edificio, cuerpo o área inspeccionada.

-Figuras auxiliares.

Todos ellos deben estar elaborados de una forma que resulte clara para cualquier persona, deberán mostrar las características relevantes de la estructura en forma muy simplificada como son: dimensiones y distancias entre columnas (claros de las crujeas), ubicación de accesos, escaleras o elevadores, muros y estructuras especiales. Adema, deberá precisarse el norte geográfico del edificio.

### 5) Cálculo del índice de vulnerabilidad

Esta claro que observando las cualidades físicas de un edificio se puede conseguir un aproximado del nivel de vulnerabilidad que este posea y resultando fácil plantear soluciones a partir de estas aproximaciones. Independientemente de esto, en la ficha se plantea la opción de determinar el Índice de vulnerabilidad a través del método simplificado utilizado en el procedimiento para la asignación de clase de vulnerabilidad de los edificios de la Comunidad Valenciana; El mismo corresponde con los principios de (BENEDETTI & PETRINI, 1984). Se ha seleccionado este método para obtener resultados cuantitativos que debido a que consta de requerimientos asequibles, hará más fácil la recolección de datos y la evaluación de las edificaciones tanto para los encuestadores como para los propietarios. Para la realización de los cálculos se obtendrá la información a partir de las indagaciones de los encuestadores en fuentes seguras y comprobables.

#### Tipos Estructurales definidos

De acuerdo con las tipologías identificadas en el capítulo anterior (Capítulo III, en el apartado 3.2.d.1, pág. 94), se propone este método del cálculo de vulnerabilidad para las tipologías de mampostería no reforzada y hormigón armado, poniendo especial interés en las primeras porque son las construcciones con mayor porcentaje.

#### Mampostería no reforzada

En total son once parámetros que calificados con su valor máximo se obtiene un índice de 382.5 (el valor mínimo es 0.0). La Tabla 2.2.d.1 muestra los once parámetros considerados en la calificación de las estructuras, los valores correspondientes a los coeficientes de calificación posible  $K_i$  de acuerdo a la condición de la calidad (de A –óptimo– a D –desfavorable–) y a los factores de peso  $W_i$  asignados a cada parámetro. Los factores  $K_i$  y  $W_i$  se obtuvieron de una manera subjetiva basada en la experiencia de los investigadores y de los datos reales obtenidos en cada evento sísmico.

Finalmente, el índice de vulnerabilidad global de cada edificio se evalúa utilizando la ecuación 1 (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i \quad \text{ec.1}$$

### Hormigón Armado

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de hormigón armado, se utiliza un procedimiento similar al explicado anteriormente. Primero, se elabora una tabla similar a la propuesta para los edificios de mampostería considerando las características más importantes que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras, sin embargo, en este caso se asignan solamente tres calificaciones a diferencia de las cuatro propuestas para los edificios de mampostería. Estas calificaciones se muestran en la Tabla 2.2.d.3 (BENEDETTI & PETRINI, 1984). Una vez evaluado cada parámetro se realiza una suma ponderada utilizando los factores de peso mostrados en la Tabla 2.2.d.3, para obtener el índice de vulnerabilidad final mediante la siguiente expresión:

$$I_v = 100 \cdot \frac{\left( \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i \right)}{34} \quad \text{ec. 5}$$

<i>i</i>	Parámetro	<i>K<sub>i</sub>A</i>	<i>K<sub>i</sub>B</i>	<i>K<sub>i</sub>C</i>	<i>K<sub>i</sub>D</i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Tabla 22.d1: Escala numérica del índice de vulnerabilidad para estructuras de mampostería no reforzada. (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

<i>i</i>	Parámetro	<i>K<sub>i</sub>A</i>	<i>K<sub>i</sub>B</i>	<i>K<sub>i</sub>C</i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Diafragmas horizontales	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1.0
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	1.0

Tabla 22.d3: Escala numérica del índice de vulnerabilidad  $I_v$  para las estructuras de hormigón armado (BENEDETTI & PETRINI, 1984)



## ANEXO 6

### Referentes utilizados para el diseño de la ficha de evaluación de edificaciones

Para el diseño del FORMATO de captura de datos para la evaluación estructural se revisaron primeramente una serie de documentos, manuales y formatos varios. En especial se tomó el esquema general del trabajo de (RODRIGUEZ, 1995) y de la (SMIS, 1998), así como los siguientes documentos y formatos:

- Manual de Evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones*, Informe 569 del instituto de Ingeniería de la UNAM (RODRÍGUEZ Y CASTILLÓN, 1995), y la versión posterior de la (SMIS, 1998).
- Norma para la evaluación del nivel de daño por sismo en estructuras y guía técnica de rehabilitación*, (JUMONJI, 2001), Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Formato para inspección de estructuras*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, agosto de 2007, 1 p.
- Formato para tipología de vivienda*, (FLORES et al, 2006), Centro Nacional de Prevención de Desastres, 1 p.
- Cuestionario sobre edificios dañados*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2 pp.
- Formato para evaluación del comportamiento ante sismo de hospitales existentes*. Acta Acapulco (Hospitales), Centro Nacional de Prevención de Desastres, 3 pp.
- Dictamen técnico para evaluación de edificios*, Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal, 17 pp.
- Formato de inspección de daños*, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1 p.
- Formato para inspección postsísmica*. Evaluación Rápida, 1 p. y Evaluación detallada, 2 pp., Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Colima A.C., 2003.
- Evaluación de daños post sismo a la infraestructura física*, Dirección General de Protección Civil, sistema Nacional de Protección Civil, marzo de 2010, (formato 1 p., manual 11 pp.)
- Protocolo de inspección de departamento*, Levantamiento de la Alcaldía de Ñuñoa, Santiago de Chile, 1 p.
- Ficha de evaluación de daños*, Dirección de Arquitectura, Ministerio de Obras Públicas de Chile, febrero de 2010, Santiago de Chile, 2 pp.
- Inspección y verificación de edificaciones para conocer su respuesta estructural y su capacidad bajo acciones sísmicas*, Óscar de la Torre Rangel, 5 pp.
- Ficha de evaluación de daños constructivos*, AIC Consultores, 2 pp.
- Cartilla breve para refuerzo de la vivienda rural de auto construcción contra sismo y viento*, (Pacheco et all, 2005), Centro Nacional de Prevención de Desastres, 23 pp.
- Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos en mampostería*. Dirección de prevención y atención de emergencias (DPAE) y la Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

- AGUIAR, R. Y. (2001). *Evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica*. Quito, Ecuador: Centro de investigaciones científicas. Escuela politecnica del Ejercito.
- ALI, S. F. (2008). Coulomb stress evolution in northeastern Caribbean over the past 250 years due to coseismic, postseismic, and interseismic deformation. *Geophys. 174*, 904-918.
- ANEAS, S. (15 de Marzo de 2000). <http://www.ub.edu>. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- ANGELETTI, P. B. (1988). *Comparison between vulnerability assesment and damage index, some results*. Kyoto, Japan: Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering.
- ARAGÓN, J. F. (2011). *Manual Del Formato De Captura De Datos Para Evaluacion Estructural Red Nacional De Evaluadores*. Mexico: CENAPRED, Direccion De Investigación, Subdirección de Riesgos Estructurales .
- ATC-21 (1988). *Applied Technology Council, Radio Visual Screening of buildings for Potencial Seismic Hazards*. Redwood City, California : A Handbook .
- BARBAT, A. C. (2010). Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area. *Structure and Infrastructure Engineering*, 17-38.
- BARBAT, A. Y. (1996). Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones. *Earthquake Spectra*, 371-394.
- BENDER, B., & PERKINS, D. (1982). SEISRISK III. A computer program for seismic hazard estimation. *USGS Open file report*, 82-293.
- BENEDETTI, D. B. (1988). Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 183-201.
- BENEDETTI, D., & PETRINI, V. (1984). Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura i proposte di un metodo di un metodo di valutazione. *L'Industria delle Costruzioni*, No. 149, 66-74.
- BENITO, B. J. (1998). *Peligrosidad Sísmica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- BILHAM, R. (2010). Lessons from the Haiti earthquake. *Nature*, Vol. 463, 878-879.
- BONETT, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmicos de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Barcelona: Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya.
- BOOMER, J., & MARTÍNEZ-PEREIRA, A. (1998). 11th World Conference on Earthquake Engineerin, No. 84. *The prediction of strong-motion duration for engineering design*, (pág. 8).
- BRUNET, R. (1996). *Les mots de la Géographie. Dictionnaire critique* (3 ed.). París: Reclus- La Documentation Francaise.
- CAICEDO, C. (1993). *Vulnerabilidad Sísmica en Zonas Urbanas. Aplicación a un Sector de Eixample de Barcelona*. Barcelona: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña.
- CARDONA, O. (2005). BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestion de Riesgos. . *Sistema de Indicadores para la Gestion del Riesgo de Desastres: "Informe Tecnico Principal"*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- CARREÑO, T. (2010). Evaluación ex ante del riesgo sísmico. En *Técnicas innovadoras para la evaluación* (págs. 55-69). Barcelona: Escuela Tecnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Catalunya.
- CEPAL (2005). *El impacto de los desastres naturales en el desarrollo: Documento metodologico básico para estudios Nacionales de Caso*. México: Informe L-64.
- CHANG, S. P., & KUNG, T. (1995). Seismic Vulnerability Evaluation of Essential Facilities in Memphis and Shelby County. *Earthquake Spectra*, Vol. 11 (4).
- CIGR. (2009). *Patologías en las edificaciones* . Mérida, Venezuela: Centro de Investigacion en Gestion Integral .
- CORSANEGRO, A., & PETRINI, V. (1990). *Seismic vulnerability of buildings*. Trieste, Italia : In: Proceedings of the SEISMED 3



- CSSC. (1999). *Earthquake Risk Management: A toolkit for Decision - Makers*. State of California : California Seismic Safety Commission.
- DOLCE, M. K. (1994). Technical Report 10th european conference on Earthquake Engineering. *Report of the EAEE working group 3: vulnerability and risk analysis*, (págs. 4, 3049-3077). Vienna.
- DOWRICK, J. (1997 ). *Earthquake Resistant Design For Engineers and Architects*. 2nd Edition: John Wiley & Sons.
- EBERHARD, M. B. (2010). *The Mw 7,0 Haiti earthquake of January12, 2010: USGS/EERI Advanced reconnaissance team report* USGS Internal report.
- EERI. (2010). *Learning from earthquakes: the Mw 7.0 Haiti earthquake of January 12, 2010*. Special Earthquake Report.
- EIRD. (2005). *Marco de acción de Hyogo 2005-2015, Aumento de la resiliencia de las naciones y comunidades ante los desastres. Estrategia Internacional de Reducción de Desastres*. Naciones Unidas <http://www.eird.org/herramientas/esp/socios/eird/MAH.pdf>.
- EPRI. (1986). *QHAZARD: Seismic hazard methodology for the central and eastern United States, Vol. 1-3*. Palo Alto: Electric Power Research Institute.
- FERRERO, A., & GARGANTINI, D. (2003). El Riesgo como Oportunidad. *Revista Invi, No. 47, Volumen 18*, 72-78.
- FERRERO, G. (2003). El riesgo como oportunidad. *Revista Invi, No. 47, Volumen 18*, 72-78.
- FIERRO, E., & PERRY, C. (2010). *Preliminary reconnaissance report - 12 January 2010 Haiti earthquake*. BFP Engineers.
- FRANKEL, A. H. (2011). Seismic hazard maps for Haití. *Earthquake Spectra, Vol 27*, 23-24.
- GARCIA-MAYORDOMO, J. &. (1999). *Sismicidad y peligrosidad sísmica de la República Dominicana*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de ingeniería y morfología del terreno. .
- GRIMAZ, S. (1994). *Vulnerabilità sismica di edifici isolati in muratura*. Italia : Dipartimento di Georisorse e territorio , Università degli Studi di Udini.
- GRÜNTAL, G. (1998). European Macroseismic Scale. *CONCEP DE L'EUROPE* (pág. Volume 15). Luxembourg: Cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.
- HMC. (1997). *Earthquake damage mitigation guidelines*. Queensland, Australia : Hughes McNaughton Consultants Pty Ltd, Department of public works and housing, built environment research unit,
- Ignacianos por Haití. (2011). *Ignacianos por Haití*. Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de <http://www.ignacianosporhaiti.org/web/historia/>
- IRESKATE. (2013). *Comercializan tela para evitar colapso de edificios*. Recuperado el 2014, de [www.irescate.es: http://irescate.es/terremotos-comercializan-tela-sismica-para-evitar-colapso-de-edificios/](http://irescate.es/terremotos-comercializan-tela-sismica-para-evitar-colapso-de-edificios/)
- KELLEHER, J. S. (1973). Possible criteria for predicting earthquake locations and their application for major plate boundaries of the pacific and the caribbean, . *Journal of Geophysical Research 78*, 2547-2585.
- LINDELL, M. P. (2007). *Introduction to Emergency Management* 1ra Edition.
- MARSHALL, J. L. (2011). Recipe for disaster: Construction, methods, materials, and building performance in the January 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra, Vol. 27*, 323-343.
- MARTÍNEZ, M., & MARÍ, M. (2011). *La distribución de Poisson*. Valencia, España : Universidad Politécnica de Valencia.
- MCCANN, W. (2006). In caribbean tsunami hazard. *World Scientific* , 43-65.
- MEJÍA, O. (12 de Enero de 2012). Hay fallas geológicas en toda la isla Hispaniola, por tierra y mar. *Hoy digital*
- MENA, U. (1997). *Implementación del método del índice de Vulnerabilidad en el Sistema de Información Geografica, ARCINFO*. Barcelona: Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartografía. Universidad Politécnica de Cataluña.

- MENA, U. (2002). Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- MENA, U. M. (1999). *Análisis de daño en edificios dañados por el terremoto del 2 de febrero de 1999, en la región de Murcia*. Barcelona: Reporte interno, Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cataluña.
- MILETI, D. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press.
- MIX, D. K.-C. (2011). Assessment of residential housing in Léogâne, Haiti, and identification of needs for rebuilding after the January 2010 Earthquake. *Earthquake Spectra* 27, 229-322.
- MIYASCHIRO, J. A. (2009). *Vulnerabilidad físico habitacional: Tarea de todos. ¿Responsabilidad de alguien?* Lima, Peru: Observatorio urbano-Desco.
- NAVIA, J., & BARRERA, E. (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil.
- PERALTA, H. (2007). La gestión del riesgo sísmico en la planeación urbana: el papel de la comunidad y de las instituciones.
- PERRISTRAL, G. (2012). *Trabajo de fin de master: Recomendaciones hacia la normativa sísmoresistente de Haití*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- RATHJÉ, E. B. (2011). Damage patterns in Port-au-Prince during the 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra* No. 27, 117-136.
- RODRÍGUEZ, Y. (2013). *Comparación entre el análisis determinista y probabilista del riesgo sísmico de estructuras*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- SAFINA, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Barcelona, España: Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya.
- SALAMANCA, L. (s.f.). *Estudio de resiliencia en desastres naturales en seis barrios de la ciudad de La Paz, Bolivia*. Bolivia: National Centre of Competence in Research.
- SANDI, H. (1986). Vulnerability and risk analysis for individual structures and system. *Proceedings of the eighth European Conference on Earthquake Engineering*, 7, (págs. 11-60). Lisbon.
- SANDI, H. P. (2008). Development of a nationwide seismic vulnerability estimation system. *Constructi*, 28-47.
- SAUTER, F. (1996). Redefining terms in the field on seismic safety and risk mitigation. *Earthquake Spectra* 12, 315-326.
- SCHERER, J. (1912). *Great earthquakes in the island of Haiti*. *Bull. Seism. Soc. of Am.* (Vol. 2).
- SERGISAI. (1998). *Seismic risk evaluation through integrated use of geographical information system and artificial intelligence techniques: Final Report of the SERGISAI Project*. European Commission Directorate General XII for Science, Research and Development. Environment and Climate 1994-1998, Climatology and Natural Hazard.
- SILVA, N. (2011). *Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales, y evaluación preliminar de riesgo sísmico en la región metropolitana*. Chile: Universidad de Chile.
- SMITH, K. (1992). Environmental Hazards. 324.
- TAYLOR, C. V. (1998). *Evaluating Models of Risk from Natural Hazards: Paying the price*. Washington: Joseph Henry Press.
- TORO, G., & ABRAHAMSON, N. S. (1997). Model of strong motions from earthquakes in Central and Eastern North America: Best estimates and uncertainties. *Seismological Research Letters*, Vol 68, No 1, 41-57.
- TORRES, Y. (2012). *Estimación del riesgo sísmico en Puerto Príncipe, Haití*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- VICENTE, R. P. S. (2011). Seismic vulnerability and risk assessment case study of the historic city centre of Coimbra. *Bull Earthquake Engineering*, 1067-1096.

- VILLAMOR, P., & BERRYMAN, K. (1999). Memorias 1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. *La tasa de desplazamiento de una falla como aproximación de primer orden en las estimaciones de peligrosidad sísmica*. (págs. Tomo la, Pp 153-163). Murcia.
- WHITTOW, J. (1988). *Diccionario de geografía física*. Madrid.
- WOO, G. (1992). 10th World Conference on Earthquake Engineering. *Calibrated expert judgement in seis mic hazard analysis. Proc* (págs. Vol. 1, 333-338 ). Madrid.
- YÉPEZ, F. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería para estudios de Riesgo sísmico*. Barcelona : Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña.
- YEPEZ, F. (1996 (b)). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña.
- YÉPEZ, F. B. (1996). Simulación de escenarios de daño sísmico en zonas urbanas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para el Cálculo y Diseño de la Ingeniería*, 331-358.

## Figuras

### CAPITULO II

- Figura 22.c.1** Procedimiento utilizado para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios en Queensland, Australia (HMC, 1997)
- Figura 22.d.1** Configuración en planta de la estructura. (BENEDETTI & PETRINI,1984).
- Figura 22.d.2** Configuración en elevación de la estructura. (BENEDETTI & PETRINI,1984).
- Figura 24.a.1** Clasificación general de lesiones en las edificaciones. Fuente (CIGIR, 2009)
- Figura 24.b.1** Porcentaje de los principales daños en las edificaciones, Fuente CIGIR.

### CAPITULO III

- Figura 3.2.a.1** Representación gráfica de los principales lineamientos tectónicos de la isla la Hispaniola. **Fuente** Plan nacional de contingencia para terremotos (COE) de la República Dominicana. 2009. *(Rediseñado por el autor)*
- Figura 3.2.a.2** Representación gráfica del historial sísmico de la República Haití. Elaboración propia.
- Figura 3.2.b.1** Mapa de peligrosidad sísmica (PGA) de La Hispaniola para el período de retorno de (a)475, (b)975 y (c)2475 años. (PIERRISTRAL, 2012). **Fuente:** Trabajo de fin de master: Recomendaciones hacia la normativa sismorresistente de Haití. Universidad Politécnica de Madrid.
- Figura 3.2.b.2** Sismos en la isla Hispaniola 1564- 2010, en Magnitud  $M_w$  (Escala sismológica de magnitud de momento) . **Fuente:** *Estudio de la amenaza sísmica y vulnerabilidad física del Gran Santo Domingo. Ministerio de Economía, planificación y desarrollo de la República Dominicana. Recuperado de [http://www.do.undp.org/content/dominican\\_republic/es/home/operations/projects/crisis\\_prevention\\_and\\_recovery/estudio-de-la-amenaza-sismica-y-vulnerabilidad-fisica-del-gran-s/](http://www.do.undp.org/content/dominican_republic/es/home/operations/projects/crisis_prevention_and_recovery/estudio-de-la-amenaza-sismica-y-vulnerabilidad-fisica-del-gran-s/)*
- Figura 3.2.c.1** Mapa de vulnerabilidad sísmica de Haití por regiones. *Elaboración propia.*
- Figura 3.2.a.1** Distribución espacial de las tipologías constructivas en Puerto Príncipe (TORRES, 2010)
- Figura 3.2.a.2** Diagrama de porcentajes de daños por tipologías identificadas (ver Tabla 3.2.e. 1) en (TORRES, 2012).
- Figura 3.2.a.3** Mapa de índice de daño medio en Puerto Príncipe. **Fuente:** (TORRES, 2012)
- Figura 3.2.a.4** Mapa de daños esperados para la tipología de edificaciones con estructura de hormigón armado y muros de bloques de hormigón. **Fuente:** (TORRES, 2012).
- Figura 3.2.a.5** Número de edificios que se esperan queden inhabitables.(TORRES,2012) Anexos 6.
- Figura 3.2.a.6** Distribución del número de edificios en Puerto Príncipe. (Oficina de Catastro de Haití) (TORRES, 2012), Anexos 6.

## CAPITULO II

**Imagen 1:** haitianos recogen escombros de iglesia Puerto Príncipe. (2010). Recuperado de [www.taringa.net](http://www.taringa.net)

**Imagen 2:** Afectado por el terremoto Haití visita iglesia 2010 El Huffington post. (2014). Recuperado de [www.huffingtonpost.es](http://www.huffingtonpost.es)

**Imagen 3:** Deslizamiento de tierra en la carretera entre la comunidad del Valle du Jacmel y Benetm, en el departamento del Sud Est. Haití. (2010) Recuperado de [www.es.wfp.org](http://www.es.wfp.org)

**Imagen 4:** Tsunami impacta el norte de Japon. (2011). Recuperado de <http://www.bbc.com>

**Imagen 5:** Incendio tras el terremoto de San Francisco. (1906). Recuperado de <http://www.windows2universe.org>

**Imagen 6:** Colapso estructural del Palacio Presidencial de Haití. (2010). Recuperado de [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)

**Imagen 7:** Haitianos caminan entre los escombros luego del terremoto. (2010). Recuperado de [www.elnacional.com.do](http://www.elnacional.com.do)

**Imagen 8:** Haitiana prepara "galletas de barro " (2010) Recuperado de [www.vbrasa.wordpress.com](http://www.vbrasa.wordpress.com)

**Imagen 9:** Colapso de asentamientos informales en Puerto Príncipe durante sismo de Enero. (2010) Recuperado de [www.pobrezaafricayhaiti.blogspot.com](http://www.pobrezaafricayhaiti.blogspot.com)

**Imagen 10:** Mapa de Peligrosidad Sísmica de Italia en unidades de aceleración sísmica, (g) (2012) ARETXABALA, A, La Sicilia e il rischio sísmico.

**Imagen 11:** Mapa isosista Terremoto del 6 de Mayo de 1951, El salvador. (1987) ALVAREZ, S. Informe Técnico-Sismológico del Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986.

**Imagen 12:** Mapa isosista Terremoto del 3 de Mayo de 1965, El salvador. (1987) ALVAREZ, S. Informe Técnico-Sismológico del Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986.

**Imagen 13:** Mapa isosista Terremoto del 19 de Junio de 1982, El salvador. (1982) ALVAREZ, S. Informe Técnico-Sismológico del Terremoto en El Salvador del 19 de junio de 1982.

**Imagen 14:** Representación gráfica de la distribución de las placas tectónicas. (2014). Recuperado de [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

**Imagen 15:** Mapa de las zonas sísmicas de Catalunya (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat/web/es/sismologia\\_atles\\_risc.html](http://www.igc.cat/web/es/sismologia_atles_risc.html)

**Imagen 16:** Mapa de zonas sísmicas que resulta de considerar el efecto del suelo (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat/web/es/sismologia\\_atles\\_risc.html](http://www.igc.cat/web/es/sismologia_atles_risc.html)

**Imagen 17:** Mapa de vulnerabilidad sísmica por daños en edificaciones (1997). Instituto cartográfico y geológico de Catalunya. Recuperado de [www.igc.cat/web/es/sismologia\\_atles\\_risc.html](http://www.igc.cat/web/es/sismologia_atles_risc.html)

**Imagen 18:** Mapa de peligrosidad sísmica (2011). Terremotos: actividad sísmica de Baleares. Recuperado de [www.elmundo.es/elmundo/2011/05/12/baleares/1305202129.html](http://www.elmundo.es/elmundo/2011/05/12/baleares/1305202129.html)

**Imagen 19:** Colapso de vivienda de 2 niveles durante terremoto de Haití por mala ubicación de pilares. (2010) SALDARRIAGA, L, Lesiones de los terremotos de Haití y Chile. Recuperado de <http://desdelavegardelsubsols.blogspot.com.es/2012/05/lecciones-de-los-terremotos-de-haiti-y.html>

**Imagen 20:** Vulnerabilidad estructural (2014). Plan Lima y Callao 2035. Municipalidad metropolitana de Lima, Perú. Recuperado de [www.plam2035.gob.pe/gamarra-san-cosme-y-el-pino-aun-son-zonas-de-alto-riesgo-ante-un-gran-sismo/](http://www.plam2035.gob.pe/gamarra-san-cosme-y-el-pino-aun-son-zonas-de-alto-riesgo-ante-un-gran-sismo/)

**Imagen 21:** Densidad poblacional en Gamarra, San Cosme y El Pino de Lima, Perú. (2014). Plan Lima y Callao 2035. Municipalidad metropolitana de Lima, Perú. [www.plam2035.gob.pe/gamarra-san-cosme-y-el-pino-aun-son-zonas-de-alto-riesgo-ante-un-gran-sismo/](http://www.plam2035.gob.pe/gamarra-san-cosme-y-el-pino-aun-son-zonas-de-alto-riesgo-ante-un-gran-sismo/)

**Imagen 22:** Edificio construido a base de anexos en el barrio Petares de Caracas, Venezuela. (2008). Ciudad barrio. Recuperado de [www.cafedelasciudades.com.ar/urbanidad\\_7L\\_p.htm](http://www.cafedelasciudades.com.ar/urbanidad_7L_p.htm)



**Imagen 23:** Asentamientos informales, Guatemala. (2012) RODRÍGUEZ Y., Un barranco de limones. Recuperado de [www.plataformaurbana.cl/archive/2012/06/15/un-barranco-de-limones/](http://www.plataformaurbana.cl/archive/2012/06/15/un-barranco-de-limones/)

**Imagen 24:** Vulnerabilidad física. Planificación Urbanística en la función y gestión del riesgo. (2011). Recuperado de [www.planificaciurbanistica.blogspot.com.es](http://www.planificaciurbanistica.blogspot.com.es)

**Imagen 25:** La autoconstrucción, factor de riesgo y vulnerabilidad(2014). ROMERO. L., Recuperado de [www.gacetadigitalunam.mx/ediciones\\_anteriores/2014/30-06-2014/index.php/academia/3087-la-autoconstruccion-factor-de-riesgo-y-vulnerabilidad/html](http://www.gacetadigitalunam.mx/ediciones_anteriores/2014/30-06-2014/index.php/academia/3087-la-autoconstruccion-factor-de-riesgo-y-vulnerabilidad/html)

**Imagen 26:** Alta densidad poblacional en zonas, factor de riesgo y vulnerabilidad en Haití.(2010). BARRIA. O., Recuperado de [www.veja.abril.com.br/270110/caos-depois-desastre-p-066.shtml](http://www.veja.abril.com.br/270110/caos-depois-desastre-p-066.shtml)

**Imagen 27:** Asentamientos informales crecen descontroladamente en Latinoamérica. Artículo: Los asentamientos urbanos informales aumentan la pobreza en Colombia, según ONG. Recuperado de <http://www.tvwfdc.com//2014/10/17/los-asentamientos-urbanos-informales-aumentan-la-pobreza-en-colombia-segun-ong/>

**Imagen 28 y 29:** Autoridades escolares educan a los niños sobre qué hacer al momento de un sismo, Venezuela. El GRESAR imparte talleres de prevención y divulgación sísmica a escuelas y liceos de Caricuao. Recuperado de [www.gabinetejuvenildecaricuao.blogspot.com.es](http://www.gabinetejuvenildecaricuao.blogspot.com.es)

**Imagen 30:** Respuestas de emergencia por parte de las autoridades, terremoto Haití 2010. Recuperado de <http://www.taringa.net/posts/imagenes/8353679/Las-fotografias-mas-impactantes-del-ano-2010.html>

**Imagen 31:** Autoconstrucción irresponsable. *Un estado débil y un país miserable*, Haití. Recuperado de <http://www.taringa.net/posts/info/17765176/Un-estado-debil-y-un-pais-miserable-Haiti.html>

**Imagen 32, 33 y 34:** Daños en pilares por mala colocación de los estribos y por falta de los estribos necesarios para el buen comportamiento estructural del elemento. Fuente: (CIGIR, 2009)

**Imagen 35:** Agrietamiento en doble diagonal en forma de cruz, formado por tensión diagonal en edificio de mampostería no reforzada. La nueva vida en los edificios que el terremoto no logró derribar. Recuperado de [www.construhub.cl/destacados/edificios-terremoto-derribar/](http://www.construhub.cl/destacados/edificios-terremoto-derribar/)

**Imagen 36:** Deterioro de edificio en Santiago de Chile luego de haber resistido varios sismos. La nueva vida en los edificios que el terremoto no logró derribar. Recuperado de [www.construhub.cl/destacados/edificios-terremoto-derribar/](http://www.construhub.cl/destacados/edificios-terremoto-derribar/)

**Imagen 37:** Error inicial de replanteo del hueco por donde debía de pasar la tubería, se puede ver a la derecha el hueco cuadrado dejado a tal efecto en el hormigonado de la planta. Recuperado de [www.civilgeeks.com/2011/10/20/1-los-5-errores-son/](http://www.civilgeeks.com/2011/10/20/1-los-5-errores-son/)

**Imagen 38:** El incumplimiento de la normativa produjo un desprendimiento de los elementos estructurales principales y al mismo tiempo causó rajaduras, grietas sobre la pared medianera y el posterior desprendimiento de mampostería del segundo cuerpo de dicho edificio, Uruguay. Recuperado de [www.lanacion.com.ar/1420573-se-derrumbo-un-edificio-de-10-pisos-en-bartolome-mitre-al-1200-en-el-centro-porteno](http://www.lanacion.com.ar/1420573-se-derrumbo-un-edificio-de-10-pisos-en-bartolome-mitre-al-1200-en-el-centro-porteno)

**Imagen 39 y 40:** Mala respuesta de los materiales y la composición de los mismos en un elemento estructural. Recuperado de [www.constructoracastillo.blogspot.com.es](http://www.constructoracastillo.blogspot.com.es)

**Imagen 41:** Efectos de un terremoto de 6,3, escala de Richter sobre iglesia Christchurch en Nueva Zelanda. Recuperado de <http://valasz.hu/vilag/uj-meresi-eredmenyekre-tamaszkodnak-67624>

## CAPITULO III

**Imagen 42:** Mujer haitiana camina entre los escombros, luego del sismo que ocurrió en la República de Haití, Enero 2010. Las fotografías mas impactantes del año 2010. Recuperado de <http://www.taringa.net/posts/imagenes/8353679/Las-fotografias-mas-impactantes-del-ano-2010.html>

**Imagen 43:** Representación grafica de los continentes y ubicación geográfica de Haití. Recuperado de [www.freebievectors.com/es/material-de-antemano/50908/mapa-negro-del-mundo-africa/](http://www.freebievectors.com/es/material-de-antemano/50908/mapa-negro-del-mundo-africa/)

**Imagen 44:** Fabricación de hormigón in Situ (EERI, 2010).

**Imagen 45:** Un hombre trabaja en la construcción de un nuevo edificio de oficinas en construcción en Petion Ville. Recuperado de [www.milenio.com/internacional/mundo-lente-tomas-imagenes\\_5\\_230426965.html](http://www.milenio.com/internacional/mundo-lente-tomas-imagenes_5_230426965.html)

**Imagen 46:** Identificación de zonas con alta vulnerabilidad y riesgo sísmico en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití. Elaboración propia. Recuperada de *GoogleEarth*.

**Imagen 47:** Vivienda de correspondiente a la tipología A de las tipologías existentes identificadas en Puerto Príncipe. Recuperada de <https://economiarurbana.wordpress.com/tag/reutilizar/>

**Imagen 48:** Vivienda de correspondiente a la tipología B de las tipologías existentes identificadas en Puerto Príncipe. (PERRISTRAL, 2012).

**Imagen 49:** Vivienda de correspondiente a la tipología C de las tipologías existentes identificadas en Puerto Príncipe. Recuperada de <http://invi.gob.do/tabid/113/Itemid/20/EI-INV-concluye-viviendas-rurales.aspx>

**Imagen 50:** Vivienda de correspondiente a la tipología D de las tipologías existentes identificadas en Puerto Príncipe. Recuperada de [http://www.diariolibre.com/noticias/2014/07/07/1688251\\_los-alcarizos-quieran-haya-policas-patrollando.html](http://www.diariolibre.com/noticias/2014/07/07/1688251_los-alcarizos-quieran-haya-policas-patrollando.html)

**Imagen 51:** Vista interior de colapso de la fachada frontal de mampostería no reforzada una nave industrial en Puerto Príncipe. (EBERHARD, 2010)

**Imagen 52:** Colapso de la fachada frontal de mampostería no reforzada una nave industrial en Puerto Príncipe. (EBERHARD, 2010)

**Imagen 53:** Haitiano mira entre las telas que le sirven de cobijo en la ciudad de Puerto Príncipe, Haití. Luego del terremoto del año 2010. Fuente: [http://noticias.lainformacion.com/mundo/la-crisis-significa-otra-cosa-en-haiti\\_30iOkts3LArRHUTU4Ej9/](http://noticias.lainformacion.com/mundo/la-crisis-significa-otra-cosa-en-haiti_30iOkts3LArRHUTU4Ej9/)

## CAPITULO V

**Imagen 54:** Mano de haitiano cubriendo grieta de un muro de concreto en Puerto Príncipe, Haití. Luego del terremoto del año 2010. Fuente: <http://www.slate.fr/story/16881/afrique-doit-elle-aider-haiti>

**Imagen 55:** Composición de muro con tecnología de tela de fibra de vidrio con resistencia sísmica. Fuente: <http://es.earthquake-report.com/2012/04/10/seismic-wallpaper-may-make-the-world-a-little-more-earthquake-resistant/>

**Imagen 56:** Refuerzo del nudo viga-columna con MapeWrap C, Mapei. Fuente: Catalogo de productos Mapei Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

**Imagen 57:** Refuerzo a corte de pilar mediante tejidos MapeWrap, Mapei. Fuente: Catalogo de productos Mapei, Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

**Imagen 58:** Aplicación de refuerzo con MapeWrap, Mapei, en muros. Fuente: Catalogo de productos Mapei, Italia. [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

**Imagen 59:** Detalle de refuerzo en fachada exterior con productos Mapei. Fuente: Revista trimestral: Realidad Mapei. No. 8, Marzo 2012.

**Imagen 60:** Aplicación de productos en muratura exterior. Fuente: Revista trimestral: Realidad Mapei. No. 8, Marzo 2012.

**Imagen 61:** Refuerzo de pilar con FRP, Mapei. Fuente: Revista trimestral: Realidad Mapei. No. 8, Marzo 2012.

# Ecuaciones

## CAPITULO II

**Ecuación 1:** cálculo del índice de vulnerabilidad edificios de mampostería no reforzada, Pag. 39

**Ecuación 2:** Calculo del el índice de vulnerabilidad (VI) (BENEDETTI & PETRINI, 1984), Pag. 42.

**Ecuación 3:** resistencia a cortante características del tipo de mampostería en (Ton/m<sup>2</sup>). (BENEDETTI & PETRINI, 1984) pag. 45

**Ecuación 4:** Coeficiente sísmico C de la resistencia convencional. (BENEDETTI & PETRINI, 1984) pag. 48

**Ecuación 5:** Calculo del índice de vulnerabilidad final de edificaciones de hormigón armado. (BENEDETTI & PETRINI, 1984) pag. 50

**Ecuación 6:** Para obtener el riesgo sísmico específico. pag. 53

**Ecuación 7:** Para obtener el riesgo sísmico expresado como la convulsión entre el valor del riesgo sísmico específico S y el valor económico de los elementos en riesgo. pag. 53



## CAPITULO II

**Tabla 2.2a.1:** Sistema de puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica propuesta por (CHANG et al, 1995) pag. 38

Tabla 2.2.c.1: Factores necesarios para evaluar la vulnerabilidad potencial de edificios en Queensland, Australia. (HMC, 1997)

**Tabla 2.2d.1:** Escala numérica del índice de vulnerabilidad para estructuras de mampostería no reforzada. (BENEDETTI & PETRINI, 1984).

**Tabla 2.2d.2:** Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad de edificios de mampostería. (AGUIAR et al, 2001)

**Tabla 2.2d.3:** Escala numérica del índice de vulnerabilidad I, para las estructuras de hormigón armado (BENEDETTI & PETRINI, 1984)

## CAPITULO III

**Tabla 3.2d.1 – Tabla 3.2d.6 :** Descripción de cualidades y características de las zonas identificadas con vulnerabilidad y riesgo sísmico en la ciudad de Puerto Príncipe. 1) Carrefour, 2) Deprez, 3) Petionville Tent City, 4) Hatte Lathan, 5) Delmas, 6) Petionville.

**Tabla 3.2d.7:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Estribos en pilares"*. Elaboración propia. Fuente de imágenes: (MARSHALL, 2011), (TORRES, 2012)

**Tabla 3.2d.8:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Hormigón fabricado in situ, sin hormigonera"*. Elaboración propia. Fuente de imágenes: (MARSHALL, 2011),

**Tabla 3.2d.9:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Pilares Infradimensionados, Colocación incorrecta, falta de alineación vertical"*. Elaboración propia. Imágenes recuperadas de: [www.desdelavegardubsoils.blogspot.com](http://www.desdelavegardubsoils.blogspot.com)

**Tabla 3.2d.10:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Mala unión viga-pilar"*. Elaboración propia. Fuente de Imágenes: (EBERHARD, 2010)

**Tabla 3.2d.11:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Tamaño de los estribos y barras de acero más delgadas de lo requerido"*. Elaboración propia. Imágenes recuperadas de [www.ciperchile.cl/2010/04/07/estudio-de-edificio-de-penta-revela-la-falla-estructural-que-se-repite-en-las-modernas-torres-afectadas-por-el-terremoto/](http://www.ciperchile.cl/2010/04/07/estudio-de-edificio-de-penta-revela-la-falla-estructural-que-se-repite-en-las-modernas-torres-afectadas-por-el-terremoto/)

**Tabla 3.2d.12:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Fallos por cortante"*. Elaboración propia. (TORRES, 2012) Imágenes recuperadas de <http://civilgeeks.com/2014/05/05/el-efecto-de-columna-corta-en-las-escuelas/>

**Tabla 3.2d.13:** Ficha de identificación de lesiones en edificaciones colapsadas luego del sismo de Haití en 2010. *"Planta baja débil"*. Elaboración propia. (CIGIR, 2009)

**Tabla 3.2e.1:** Clasificación del parque inmobiliario de Puerto Príncipe (TORRES, 2012)

## CAPITULO IV

**Tabla 4.3.1:** Pagina 1 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.

**Tabla 4.3.2:** Pagina 2 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.

**Tabla 4.3.3:** Pagina 3 de la ficha de evaluación de edificaciones propuesta.

## CAPITULO V

**Tabla 5.3.5 :** Tabla de posibles soluciones de prevención de daños frente a sismos en tipologías identificadas

