



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN
LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Eliezer Gamaliel Pérez Mérida
Asesorado por el Ing. Erick Ricardo Pérez Mérida

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN
LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELIEZER GAMALIEL PÉREZ MÉRIDA
ASESORADO POR EL ING. ERICK RICARDO PÉREZ MÉRIDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Rudman Miranda Castañón
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 07 de marzo 2011.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eliezer Gamaliel Pérez Mérida', enclosed within a circular scribble.

Eliezer Gamaliel Pérez Mérida



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
23 de octubre de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Eliezer Gamaliel Pérez Mérida, quien contó con la asesoría del Ing. Erick Ricardo Pérez Mérida

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO
USAC

Ing. Wúllian Ricardo Yon Chavarría
Jefe Del Departamento de Planeamiento

/bbdeb
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Guatemala, noviembre de 2014

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director de Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Montenegro

Por este medio me complace someter a su consideración el trabajo de tesis, realizado por el estudiante universitario **Eliezer Gamaliel Pérez Mérida**, quien se identifica con carne estudiantil número 200117679; titulado "**LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**"; trabajo que fue asesorado, revisado y aprobado por este servidor.

Por lo tanto, me permito recomendar su aprobación.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para suscribirme de usted,

Atentamente,



Erick Ricardo Pérez Mérida

Ingeniero Civil

Maestro en Ingeniería Vial

Colegiado No. 4072

Erick Ricardo Pérez Mérida
Ingeniero Civil, Maestro Ing. Vial
Colegiado 4072



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Erick Ricardo Pérez Mérida y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Eliezer Gamaliel Pérez Mérida, titulado LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **LA INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES EN LAS OBRAS PÚBLICAS DE INFRAESTRUCTURA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Eliezer Gamaliel Pérez Mérida**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque de Él viene la sabiduría.
Mis padres	Ángel Arturo Pérez Álvarez, Consuelo de Jesús Mérida Natareno, que Dios los tenga en su gloria.
Mis hermanos	Dina, Joel Betzaida, Ana (q.e.p.d.), Jonatan, y en especial a Erick Pérez Mérida, gracias por tus enseñanzas y apoyo durante toda mi vida.
Mi novia	Giovana Reyes, porque siempre has estado ahí, sin importar lo que pase, gracias por estar junto a mí y por tu apoyo incondicional.
Mis tíos	Por ser una influencia en mi vida.
Mis cuñados	Por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la cuna del conocimiento en educación superior.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos.
Mis amigos de la Facultad	Por estar ahí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. GENERALIDADES SOBRE VULNERABILIDAD Y RIESGOS.....	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Vulnerabilidad.....	8
1.1.2. Riesgo	15
1.1.3. Prevención de desastres o gestión de riesgos	17
1.2. Descripción de antecedentes sobre desastres ocurridos y la respuesta definida para eventos futuros.....	18
1.3. Teoría de ingeniería civil relacionada	21
1.3.1. Planeamiento.....	22
1.3.1.1. Identificación de riesgos	23
1.3.1.1.1. Situación con certidumbre.....	23
1.3.1.1.2. Situación con riesgo	23
1.3.1.1.3. Situación con incertidumbre.....	24
1.3.1.2. Fuentes de los riesgos.....	24
1.3.1.2.1. Localización y tamaño del proyecto.....	24

	1.3.1.2.2.	Tecnológico.....	24
	1.3.1.2.3.	Acciones de administración.	25
	1.3.1.2.4.	Regulaciones.	25
	1.3.1.2.5.	Documentos.....	26
1.3.1.3.		Clasificación de riesgos.....	27
	1.3.1.3.1.	Riesgos conocidos	27
	1.3.1.3.2.	Riesgos conocidos- desconocidos	27
	1.3.1.3.3.	Riesgos desconocidos- desconocidos	28
1.3.1.4.		Técnicas de identificación de riesgos.....	28
	1.3.1.4.1.	Diagrama Causa- Efecto (Ishikawa).....	28
	1.3.1.4.2.	Lista de verificación.....	30
	1.3.1.4.3.	Entrevistas.	30
	1.3.1.4.4.	Grupo nominal.....	30
1.3.1.5.		Cuantificación de riesgos	31
1.3.1.6.		Elaboración de las respuestas a los riesgos.....	32
1.3.1.7.		Diseño de contingencias.	34
1.3.2.		Ingeniería estructural.....	34
1.3.3.		Ingeniería hidráulica e hidrología.	38
1.4.		Árbol del problema.	39
	1.4.1.	Causas	40
	1.4.1.1.	Sitio de construcción inapropiado.....	40

1.4.1.2.	Evaluación restringida del sitio de construcción.....	41
1.4.1.3.	Diseño técnico con alcance restringido ante eventos catastróficos.....	41
1.4.1.4.	Planeación débil en el área de definición de riesgos.	42
1.4.1.5.	Presupuesto y financiamiento sin incluir la gestión de riesgos.....	42
1.4.2.	Efectos.....	42
1.4.2.1.	Pérdida de la inversión por colapso de la infraestructura.	43
1.4.2.2.	Alto costo de recuperación o de reparación de infraestructura.	43
1.4.2.3.	Pérdida de bienes materiales y vidas humanas.....	43
1.4.2.4.	Falta de infraestructura de atención primaria después del evento catastrófico.	44
1.4.2.5.	Disminución de infraestructura para servicio.	44
2.	APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA CIVIL EN LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN INFRAESTRUCTURA CRÍTICA.....	45
2.1.	Definición de infraestructura crítica	46
2.2.	Catálogo de obra de infraestructura crítica.....	47
2.3.	Identificación de vulnerabilidades para el catálogo de obras críticas o esenciales.	49
2.3.1.	Vulnerabilidades estructurales.....	49

2.3.2.	Vulnerabilidades no estructurales.	50
2.3.3.	Vulnerabilidad de la infraestructura de obra pública en Guatemala.	51
2.4.	Identificación de amenazas para el catálogo de obras críticas o esenciales.	55
2.4.1.	Amenazas naturales.	55
2.4.2.	Amenazas no naturales.	57
2.5.	Determinación de la metodología para la reducción de vulnerabilidades con aplicación de ingeniería civil en el planeamiento territorial.	57
2.5.1.	Criterios generales a aplicar en obras de infraestructura crítica.	66
2.6.	Tipos de desastres.	74
2.6.1.	Desastres naturales.	74
2.6.2.	Desastres provocados.	78
2.7.	Utilización general del método en obras de infraestructura crítica.	79
2.7.1.	Diagnóstico, identificación de amenazas y vulnerabilidades.	79
2.7.2.	Formulación de proyecto o anteproyecto.	83
2.7.3.	Evaluación de anteproyecto o proyecto.	84
3.	CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA.	87
3.1.	Reconocimiento del sitio de construcción.	90
3.2.	Costo financiero de la implementación de las medidas de mitigación en la reducción de vulnerabilidades.	100
3.3.	Costo financiero y social de la no aplicación de ingeniería civil en la planeación de infraestructura crítica.	102

4.	ESTUDIO DE UN CASO	111
4.1.	Descripción del caso.	111
4.2.	Análisis del caso.....	112
4.2.1.	Reconocimiento del sitio de construcción.....	113
4.2.2.	Observaciones generales sobre el sitio de la construcción.....	117
4.2.3.	Resultado del análisis.....	117
	CONCLUSIONES	127
	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	APÉNDICES	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vulnerabilidad de deslave de carreteras	10
2.	Vulnerabilidad a crecidas extraordinarias.....	11
3.	Diagrama de indicadores de vulnerabilidad para la región centroamericana y República Dominicana.	12
4.	Riesgo de pérdida de superestructura en puente debido a crecida extraordinaria.	16
5.	Vista del Hotel Terminal luego del terremoto de 1976	21
6.	Diagrama Causa-Efecto de Ishikawa.	29
7.	Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala	35
8.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala.....	37
9.	Árbol del problema para análisis de diseño y ejecución de construcciones vulnerables ante eventos catastróficos.....	39
10.	Amenazas para infraestructura crítica pública de capital fijo.....	52
11.	Vulnerabilidades para infraestructura crítica pública de capital fijo.	53
12.	Flujograma para actividad de diagnóstico.	61
13.	Flujograma acciones para la formulación del proyecto.	63
14.	Flujograma de acciones para evaluación del proyecto.....	65
15.	Esquema del lugar donde se efectuó el ensayo de penetración	119
16.	Ensayo de penetración estándar (STP).	126

TABLAS

I.	Longitud de sistema de fallas del país (en kilómetros) hasta el 2010	3
II.	Población cercana a las fallas geológicas hasta el 2010	4
III.	Número de sismos registrados por mes 1990-2009	5
IV.	Magnitud mínima y máxima registrada por mes 2009	6
V.	Número de eventos sísmicos y magnitud mínima y máxima registrada según departamento 2009.	7
VI.	Historial de terremotos en Guatemala.....	19
VII.	Niveles de intensidad sísmica por zona	36
VIII.	Boleta de matriz de información legal para reconocimiento en campo del sitio de construcción.....	92
IX.	Boleta de matriz de información sobre las características propias para reconocimiento en campo del sitio de construcción.....	94
X.	Boleta de matriz de información sobre componente bioclimático.	96
XI.	Boleta de matriz de información sobre componente estructural.	98
XII.	Número de personas afectadas por los eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010.	104
XIII.	Número de viviendas e infraestructura afectada por los eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010.....	105
XIV.	Número de personas afectadas por eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010.....	106
XV.	Número viviendas e infraestructura afectada por eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010.....	107

XVI.	Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y la erupción del volcán de Pacaya julio 2010, (millones de quetzales y dólares USD).....	108
XVII.	Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y erupción del volcán de Pacaya en el sector vivienda julio 2010, (número de viviendas, millones de quetzales y dólares USD)	109
XVIII.	Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y erupción del volcán de Pacaya en el sector salud julio 2010, (millones de quetzales y dólares USD)	110
XIX.	Boleta de matriz de información sobre las características propias para reconocimiento en campo del sitio de construcción	114
XX.	Boleta de matriz de información sobre las características propias y del entorno para reconocimiento en campo del sitio de construcción	115
XXI.	Boleta de matriz de información sobre las características propias y del entorno para reconocimiento en campo del sitio de construcción para componente estructural.....	116
XXII.	Ensayos y normas observadas, estación base San Diego, La Gomera Escuintla.....	118
XXIII.	Profundidad de sondeo y nivel freático, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla.....	120
XXIV.	Ensayo de campo	120
XXV.	Descripción de Estratigrafía.	121
XXVI.	Limites de Atterberg, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla.....	122
XXVII.	Granulometría, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla.....	122
XXVIII.	Resistividad eléctrica del suelo, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla.....	123
XXIX.	Valor soporte, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla.....	124

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración de la gravedad (m/seg ²)
A_r	Aceleración máxima del suelo producida por el sismo frecuente o de servicios.
A₀	Aceleración máxima efectiva para sismo básico
A_f	Aceleración máxima efectiva para sismo frecuente
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
cm³	Centímetro cúbico
CO₂	Dióxido de carbono
I_o	Índice de sismicidad
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
M_w	Magnitud de momento en sismos en la escala de Richter.
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
Ω	Ohmio, unidad de medida para la resistencia eléctrica.

GLOSARIO

Acaecer	Suceder, producirse un hecho
Acopio	Acumulación, acción de acumular o acopiar algo
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
AGRIP	Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública.
Albergue	Lugar en donde una persona encuentra o halla hospedaje o resguardo; establecimiento público que atiende a personas durante estancias cortas.
Amenaza	Anunciar, presagiar o ser eminente algún mal
ASTM	American Society of Testing of Materials
Código	Conjunto de leyes o normas sobre una materia determinada.
Colapso	Disminución brusca o paralización de una actividad
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.

Contingencia	Posibilidad o riesgo de que suceda una cosa, hecho o problema que se plantea de forma imprevista.
Desastre	Gran desgracia, suceso infeliz y lamentable cuya atención rebasa la capacidad propia de la comunidad afectada.
Entorno	Ambiente, lo que rodea a algo o alguien.
Escorrentía	Corriente de agua que rebosa su depósito o cauce natural o artificial, erosión producida por una corriente de agua; agua de lluvia que discurre por un terreno.
Esquirlas	Astilla desprendidas de un hueso, piedra, cristal, etc. cuando se fracturan.
Falencia	Debilidad, cuando algo tiene debilidad; falta de fortaleza.
Gestión de riesgo	Conjunto de trámites que se llevan a cabo para resolver un asunto, dirección, administración de una empresa o negocio.
Huracán	Viento de grande fuerza, originado generalmente en zonas tropicales, que gira en grandes círculos.
IGN	Instituto Geográfico Nacional

Índole	Carácter propio de cada uno, naturaleza, calidad y condición de las cosa.
Infraestructura	Vocablo utilizado habitualmente, como sinónimo de obra pública por haber sido el Estado el encargado de su construcción y mantenimiento, en razón de la utilidad pública y de los costos de ejecución.
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Intrínseco	Característico, esencial.
Matriz	Cualquier original del que se saca copias.
Mitigar	Moderar, aplacar o suavizar la dureza de algo.
Oneroso	Muy costoso, caro.
Pernicioso	Muy dañino o perjudicial.
Planeación	Trazar o formar el plan de una obra.
Planeamiento	Proceso básico que sirve para seleccionar metas y determinar objetivos, así como la mejor manera de alcanzarlos.
Riesgo	Probabilidad de que una amenaza se convierta en un evento adverso

Rol	Papel que desempeña una persona o grupo en cualquier actividad, conducta que un grupo espera de un miembro en una situación determinada.
SECONRED	Secretaria de la Comisión Nacional para la Reducción de Desastres.
SEGEPLAN	Secretaria General de Planificación
Simulación	Presentación de algo como real.
Socavamiento	Escavado por debajo, dejando en falso o sin apoyo.
Software	Término genérico que se aplica a los componentes no físicos de un sistema informático.
Suministro	Abastecimiento de lo que se considera necesario.
Telúrico	De la Tierra como planeta o relativo a ella.
Vulnerabilidad	Incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.
Vulnerable	Que puede ser herido o dañado físicamente.

RESUMEN

Este trabajo de graduación está orientado a tratar el tema sobre la vulnerabilidad y riesgos a que están expuestos los proyectos de ingeniería civil, en general; se da énfasis a la obra que se define como infraestructura crítica por la importancia que tiene a la prestación de servicios en los momentos de ocurrencia en un desastre e inmediatamente después de un siniestro.

Se describe en forma general el significado técnico de la vulnerabilidad y de los riesgos, explicando cómo se pueden prevenir los desastres a través de una gestión de riesgos; asimismo, los antecedentes sobre los siniestros ocurridos para encontrar respuestas adecuadas hacia eventos futuros, se indica cómo identificar los riesgos, su clasificación y se detallan las técnicas para esas acciones.

Se presenta la definición de la infraestructura crítica, identificando el catálogo que constituyen estas obras; aplicando la ingeniería civil para la reducción de las vulnerabilidades en la infraestructura crítica, se identifican las vulnerabilidades y amenazas a las que está expuesta. Describiendo la metodología para su reducción con aplicación de una gestión de riesgo apropiada.

Se presentan, desde el punto de vista de ingeniería civil, las especificaciones técnicas para el planeamiento de infraestructura crítica. Se propone una metodología para la aplicación de los criterios técnicos de la ingeniería civil, previo a desarrollar los diseños de los proyectos.

Para la aplicación de esos criterios técnicos se presentan los resultados del estudio de un caso, que está definido por la planeación y ejecución de una estación base de telefonía celular, de acuerdo a la cimentación cuadrada, construcción sobre suelos aluviales en la población de San Diego, la Gomera, del departamento de Escuintla; la torre constituida por elementos estructurales de acero con una altura especificada de 42 metros sobre el nivel de columnas de apoyo, con protección especial para descargas eléctricas producidas por rayos.

Se presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo, y en consecuencia se plantean las recomendaciones para fortalecer los criterios técnicos profesionales de ingeniería civil, para la gestión de riesgos provocados por las vulnerabilidades y amenazas a las que se enfrentan los proyectos de infraestructura crítica.

OBJETIVOS

General

Importancia de la planificación para la reducción de desastres en la infraestructura de obras públicas.

Específicos

1. Identificar las amenazas y sus tipos a que se enfrentan los proyectos de infraestructura en la República de Guatemala
2. Identificar la política de gestión de riesgos que esté implementada con carácter obligatorio para el análisis encaminado a la reducción de desastres en obras de infraestructuras.
3. Proponer la actualización de la metodología existente en la evaluación de identificación de vulnerabilidades y amenazas, para que en la gestión de riesgo se tenga los criterios profesionales de ingeniería civil que permita una reducción de consecuencias nocivas al enfrentar desastres naturales o provocados, que afectan la infraestructura de obra civil.
4. Demostrar a través del estudio de un caso particular, los beneficios de aplicar una metodología apropiada en el análisis de reducción de vulnerabilidades y amenazas dentro de la gestión de riesgo en un proyecto, en sus fases de formulación y ejecución.

5. Observancia de las normas y especificaciones técnicas y disposiciones especiales en las etapas de planificación, para reducción de desastres.

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de infraestructura civil están sujetos a enfrentar riesgos diversos cuando entran en funcionamiento. En la República de Guatemala, esos riesgos se han presentado, luego de ocurrir un evento desastroso, ya sea natural o provocado; llegan a colapsar o a sufrir daños significativos. Las amenazas más importantes a enfrentar en un proyecto son las sísmicas e inundaciones provocadas por el desbordamiento de ríos; catalogadas como las más importantes; también existen las amenazas de deslizamientos de tierras y hundimientos.

En este trabajo de graduación se muestra un historial de eventos ocurridos en los últimos años dentro de su capítulo de antecedentes, donde se podrá verificar la cantidad de eventos y sus tipos; como también, la cantidad de personas afectadas y la cantidad de infraestructura dañada; la inclusión de esa información estadística tiene como propósito convencer al lector y al sector profesional de la ingeniería civil, sobre la importancia que tiene el análisis dentro de la fase de planeación de proyectos de cualquier tipo, sobre la identificación de vulnerabilidades y amenazas que tienen los sitios de construcción y los proyectos mismos; y consecuentemente, la importancia que tiene la gestión de los riesgos derivados de las amenazas a enfrentar por un proyecto dentro de las fases lógicas que son necesarias cumplir hasta la puesta en funcionamiento, inclusive hasta la etapa de conservación y mantenimiento.

Con ese propósito, el capítulo 2 trata sobre la importancia de la aplicación de la ingeniería civil en la reducción de vulnerabilidades en la denominada infraestructura crítica o esencial; aportando de manera general los tópicos necesarios para la realización de un análisis profesional y con criterio crítico o conservador, a través de una metodología lógica que pueda aplicarse de manera personalizada a cada proyecto de acuerdo a su naturaleza y a sus expectativas de servicio.

En el capítulo 3 se hace referencia a los criterios o consideraciones de la aplicación de la ingeniería civil como disciplina académica en la fase de planeación de infraestructura crítica o esencial; ya que este tipo de proyectos son los considerados con mayores exigencias de ingeniería civil y todas sus especialidades; mostrando la propuesta de metodología complementaria para aplicarla dentro del análisis de rigor en los proyectos donde interviene el ingeniero civil; se mencionan las normas que son aplicables con carácter obligatorio dentro del análisis. Se menciona, particularmente, la política de Estado sobre la reducción de vulnerabilidades y amenazas en la gestión de riesgo en la infraestructura de orden público, es decir, financiada por el Estado de Guatemala; esta política obedece a los compromisos de Estado asumidos dentro de la planeación regional en la llamada reducción de desastres.

Se estudió un caso particular para demostrar la importancia de la inclusión del análisis y su metodología propuesta, en los proyectos de infraestructura crítica o esencial; como también, en la considerada básica. Finalmente se presentan conclusiones y recomendaciones.

1. GENERALIDADES SOBRE VULNERABILIDAD Y RIESGOS

1.1. Generalidades

Guatemala, debido a su ubicación geográfica, pertenece a una zona sísmica de alta vulnerabilidad, por lo que se experimentan periódicamente sismos de diversas intensidades, a pesar de que no todos son sensibles, sí tienen importancia para el diseño estructural de la infraestructura nacional. El país se localiza en una zona de fallas y forma el límite tectónico entre las placas: del Caribe, Cocos y placa Norteamericana. Esta zona sísmica está conformada, principalmente, por las fallas del Motagua, Chixoy y Polochic.

La vulnerabilidad del país es alta debido a la cantidad de riesgos que se pueden observar, desde las sequías hasta inundaciones durante la época de lluvias; también se debe considerar que en la actualidad las construcciones se han vuelto más vulnerables, pues las instituciones encargadas de planearlas no desarrollan estudios específicos para los diversos tipos de edificaciones de carácter público, y solo han estandarizado las construcciones de escuelas, salones comunales, puestos y centros de Salud, así como otros tipos de construcciones, dejando sin atención la planificación; incluyendo los factores naturales, tales como: la fuerza del viento y el sentido de los techos para soportar esta fuerza; así como el clima y la topografía de los terrenos en donde se deberán construir las edificaciones.

Las construcciones se ejecutan a pesar de los antecedentes en lugares que ya han presentado casos de derrumbes o inundaciones, entonces la

vulnerabilidad la provoca el hombre por falta de planificación. El resto es trabajo de la naturaleza.

En el campo de la ingeniería civil se deben analizar los riesgos por sismos (sismoresistencia de las estructuras en diseño para su posterior construcción), por inundación repentina (crecidas extraordinarias en riberas de los ríos más importantes y caudalosos del país); por vientos extraordinarios; por ocurrencia de huracanes, tormentas tropicales y vulcanismo; estos análisis se consideran debido a la importancia financiera que resulta en mantener en servicio la infraestructura durante y luego de que ocurre algún evento adverso.

Para tener una mejor comprensión sobre el riesgo sísmológico al que se enfrenta la infraestructura de edificaciones a nivel nacional, a continuación en la tabla I se muestra el detalle de las fallas geológicas dentro del territorio nacional; hasta el 2010.

Tabla I. **Longitud de sistema de fallas del país
(en kilómetros) hasta el 2010**

DEPARTAMENTOS	GRANDES FALLAS	FALLAS PRIMARIAS	FALLAS SECUNDARIAS	TOTAL
Total	600.66	652.29	1,068.70	2,321.65
Guatemala	31.70	59.98	29.26	120.94
El progreso	131.79	0.00	7.72	139.51
Sacatepéquez	0.00	1.13	0.00	1.13
Chimaltenango	28.97	0.00	5.59	34.56
Escuintla	0.00	1.60	0.00	1.60
Santa Rosa	0.00	21.22	6.41	27.63
Sololá	0.00	57.74	17.65	75.39
Totonicapán	0.00	0.00	0.00	0.00
Quetzaltenango	0.00	27.53	16.03	43.56
Suchitepéquez	0.00	0.00	0.00	0.00
Retalhuleu	0.00	0.00	6.89	6.89
San Marcos	1.22	3.38	5.82	10.42
Huehuetenango	144.82	0.00	211.17	355.99
Quiché	220.15	0.00	156.04	376.19
Baja Verapaz	108.78	62.29	77.93	249.00
Alta Verapaz	187.82	129.74	421.89	739.45
Petén	0.00	347.82	359.39	707.21
Izabal	256.21	36.45	150.04	442.70
Zacapa	156.63	0.00	13.77	170.40
Chiquimula	0.00	83.32	42.86	126.18
Jalapa	0.00	13.16	45.97	59.13
Jutiapa	0.00	41.80	34.78	76.58

Fuente: INSIVUMEH.

De acuerdo a la tabla I se puede determinar que el departamento más vulnerable por fallas es Quiché y el que presenta vulnerabilidad nula es Suchitepéquez.

Esta extensión de fallas geológicas que provocan sismos, tienen un efecto directo e inmediato al momento de la ocurrencia de los movimientos telúricos sobre la población que reside o está asentada en sus proximidades; en el tabla II puede observarse la cantidad de personas en riesgo de sufrir pérdidas al momento de la ocurrencia de un sismo en el territorio nacional, hasta el 2010.

Tabla II. **Población cercana a las fallas geológicas hasta el 2010**

DEPARTAMENTOS	GRANDES FALLAS		FALLAS PRIMARIAS		FALLAS SECUNDARIAS	
	No. de poblados	Población	No. de poblados	Población	No. de poblados	Población
Total	267.00	43,071.00	159.00	10,924.00	228.00	5,929.00
Guatemala	21.00	1,410.00	71.00	22,444.00	15.00	2,083.00
El progreso	60.00	4,322.00	0.00	0.00	1.00	66.00
Sacatepéquez	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chimaltenango	17.00	925.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Escuintla	0.00	0.00	1.00	2,265.00	0.00	0.00
Santa Rosa	0.00	0.00	16.00	1,875.00	0.00	0.00
Sololá	0.00	0.00	11.00	3,142.00	4.00	475.00
Totonicapán	0.00	0.00	1.00	819.00	0.00	0.00
Quetzaltenango	0.00	0.00	28.00	5,546.00	9.00	882.00
Suchitepéquez	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Retalhuleu	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	553.00
San Marcos	1.00	88.00	1.00	44.00	5.00	357.00
Huehuetenango	129.00	23,269.00	0.00	0.00	94.00	5,267.00
Quiché	96.00	9,593.00	0.00	0.00	46.00	4,326.00
Baja Verapaz	50.00	1,700.00	23.00	781.00	30.00	546.00

Continuación de la tabla II.

Alta Verapaz	93.00	18,708.00	32.00	3,223.00	122.00	3,350.00
Petén	0.00	0.00	41.00	1,292.00	33.00	607.00
Izabal	108.00	18,071.00	17.00	1,795.00	20.00	558.00
Zacapa	66.00	6,292.00	0.00	0.00	4.00	26.00
Chiquimula	0.00	0.00	41.00	2,553.00	22.00	374.00
Jalapa	0.00	0.00	5.00	214.00	7.00	330.00
Jutiapa	0.00	0.00	23.00	1,847.00	20.00	684.00

Fuente: INSIVUMEH.

El departamento de Sacatepéquez es el único que no posee poblaciones cercanas a ningún tipo de falla.

Para tener una visualización completa sobre el riesgo sísmico y la vulnerabilidad en ese sentido, a continuación se muestra en la tabla número tres el recuento de sismos ocurridos en el período comprendido de 1990 al 2009.

Tabla III. **Número de sismos registrados por mes 1990-2009**

Año	Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	1,405	70	130	113	110	136	108	161	153	116	111	91	106
1991	689	78	53	80	119	121	115	81	10	0	0	9	23
1992	1,412	79	77	139	84	210	89	72	58	96	186	130	192
1993	1,849	171	104	186	371	224	111	78	88	190	116	87	123
1994	728	97	74	151	39	76	67	69	45	50	26	18	16
1995	401	34	15	15	66	53	47	24	56	1	14	4	72
1996	628	78	94	70	9	10	9	10	38	42	27	116	125
1997	1,024	29	16	15	198	289	241	210	3	15	6	2	0
1998	625	99	49	117	62	26	16	55	46	22	37	30	66

Continuación de la tabal III.

1999	988	60	35	61	44	154	248	117	87	47	38	55	42
2000	414	29	33	29	27	45	23	33	30	52	24	34	55
2001	413	81	43	37	29	17	7	20	11	33	39	47	49
2002	712	79	72	64	86	58	68	52	21	32	68	73	39
2003	984	88	40	93	61	58	78	68	180	120	80	62	56
2004	1,041	96	121	107	60	109	79	73	95	101	63	73	64
2005	900	91	56	82	72	116	61	81	97	67	58	49	70
2006	561	51	35	54	43	86	66	58	34	23	19	26	66
2007	905	46	53	47	41	44	102	103	125	86	83	43	132
2008	1,400	134	97	55	185	118	134	119	129	150	114	85	80
2009	1,754	64	81	139	551	189	125	96	141	103	103	79	83

Fuente: INSIVUMEH.

En 1993 fue el que registró mayor cantidad de sismos y el de 1995 se registró la menor cantidad de sismos.

Tabla IV. **Magnitud mínima y máxima registrada por mes 2009**

Mes	Magnitud Richter	
	Minima	Máxima
Promedio	1.9	7.0
Enero	2.9	5.9
Febrero	2.9	5.3
Marzo	3.1	5.4
Abril	1.9	5.8
Mayo	2.6	7.0
Junio	2.5	5.2
Julio	2.5	4.8
Agosto	2.5	5.1
Septiembre	2.4	5.3
Octubre	2.6	5.8
Noviembre	2.2	5.4
Diciembre	3.1	5.2

Fuente: INSIVUMEH.

En mayo de 2009 se registró la mayor magnitud de sismo.

Tabla V. **Número de eventos sísmicos y magnitud mínima y máxima registrada según departamento 2009**

Mes	Cantidad	Magnitud Richter	
		Minima	Máxima
Promedio	1,754	1.9	7.0
Guatemala	370	2.1	4.6
El Progreso	2	3.1	3.5
Sacatepéquez	3	2.5	3.7
Chimaltenango	8	3.0	3.9
Escuintla	279	1.9	5.1
Santa Rosa	138	2.2	4.4
Sololá	6	3.1	4.5
Totonicapán	3	3.1	4.5
Quetzaltenango	5	3.3	4.6
Suchitepéquez	86	2.7	5.4
Retalhuleu	104	2.7	4.7
San Marcos	22	3.1	4.6
Huehuetenango	16	3.0	4.7
Quiché	13	2.9	5.1
Baja Verapaz	3	3.4	4.1
Alta Verapaz	19	2.9	5.2
Petén	4	3.9	4.8
Izabal	6	3.5	4.2
Zacapa	4	3.2	4.8
Chiquimula	4	3.4	3.7
Jalapa	10	2.5	4.0
Jutiapa	46	3.0	5.4
Océano Pacífico	119	3.3	5.4
Territorio de Belice	8	3.8	4.6
Territorio de El Salvador	172	2.4	4.8
Territorio de Honduras	16	3.0	4.6
Territorio de México	59	3.1	5.3
Fuera del mapa	229	3.1	7.0

Fuente: INSIVUMEH.

El departamento de Guatemala fue en donde se registraron mayor cantidad de sismos por mes.

1.1.1. Vulnerabilidad

Es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.

La vulnerabilidad depende de diferentes factores, tales como: la calidad y condiciones de las construcciones y su ubicación en relación con las amenazas.

Se puede definir dos tipos de vulnerabilidades; la primera, llamada económica; por ejemplo: las familias de pocos recursos económicos, muchas veces ocupan zonas de alto riesgo, alrededor de las ciudades, porque no tienen suficientes opciones de elegir lugares más seguros (y más caros); y la segunda, llamada física; por ejemplo, las personas que viven en la planicie son más vulnerables ante las inundaciones que los que viven en lugares más altos; y una casa de madera, a veces, tiene menor peligro ante un sismo, pero puede ser más vulnerable a un incendio o un huracán.

Se entiende que se es vulnerable ante una amenaza; las acciones propias de los seres humanos aglutinados en comunidades muchas veces crean amenazas por la falta de planificación de esas acciones; cuando se talan inmoderadamente los bosques para cambiar el uso del suelo con el propósito de aliviar una demanda económica, se crean las amenazas de erosión de los suelos y de deslizamientos en el caso de terrenos escarpados.

Esas circunstancias crean potencialmente eventos catastróficos en determinadas épocas del año; es decir, son comunidades vulnerables ante la amenaza de ocurrencia del riesgo.

En el ámbito social es importante que las comunidades estén educadas en el sentido de que sus acciones de intervención que modifiquen su entorno geográfico y físico tendrán una consecuencia negativa hacia su seguridad y permanencia en el lugar; y por lo tanto, es importante que tengan el conocimiento básico para reconocer las amenazas a sus vulnerabilidades, y sepan manejar los riesgos; es decir, tengan la capacidad de reducir la ocurrencia de desastres debidos a sus intervenciones, y cuando ocurran, sean capaces de manejarlos adecuadamente de tal manera que no afecten en forma extraordinaria su salud, seguridad y permanencia en el lugar. Una comunidad bien organizada y bien informada, es menos vulnerable que una comunidad que no conoce las amenazas que la rodean y que no se organiza para responder a ellas.

En el ámbito técnico de la ingeniería civil es importante que los profesionales diseñadores de las estructuras y los encargados de planear los proyectos de desarrollo, tengan el pleno conocimiento de las debilidades, vulnerabilidades, amenazas y riesgos en el área geográfica donde se circunscribe el o los proyectos; y deben ser capaces de plantear estrategias económicamente factibles para la reducción de los desastres y la gestión apropiada de los riesgos.

Figura 1. **Vulnerabilidad de deslave de carreteras**



Fuente: carretera de Nentón hacia Huehuetenango km 355.

Se puede observar el deslave de la carretera debido a la saturación de agua de lluvia en el suelo, lo que provoca la destrucción del tramo de carretera.

Figura 2. **Vulnerabilidad a crecidas extraordinarias**



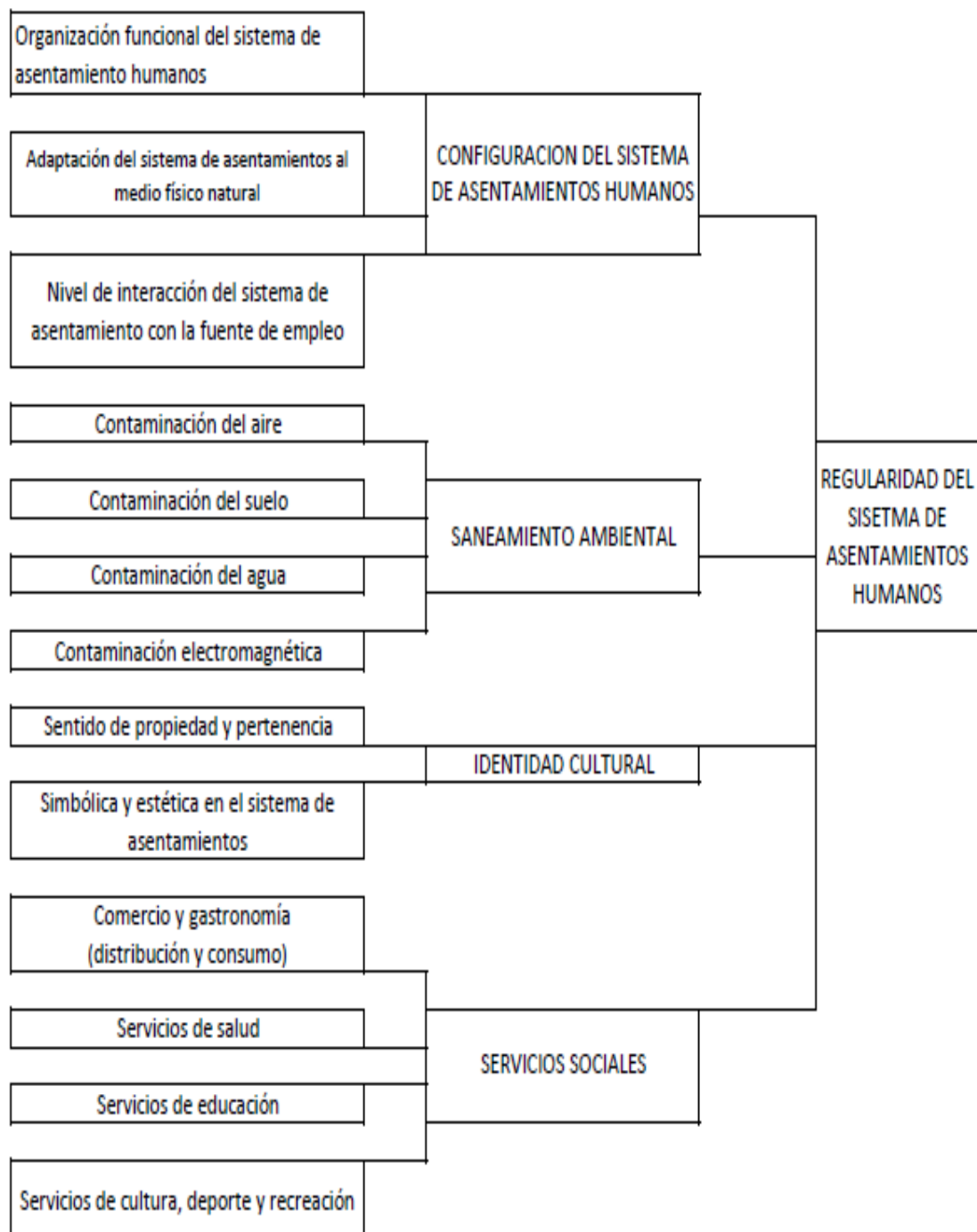
Fuente: puente San Francisco, Suchitepéquez.

Se observa en la fotografía que los enfoques de entrada y salida del puente fueron destruidos por la corriente del río, por lo cual colapsó el puente.

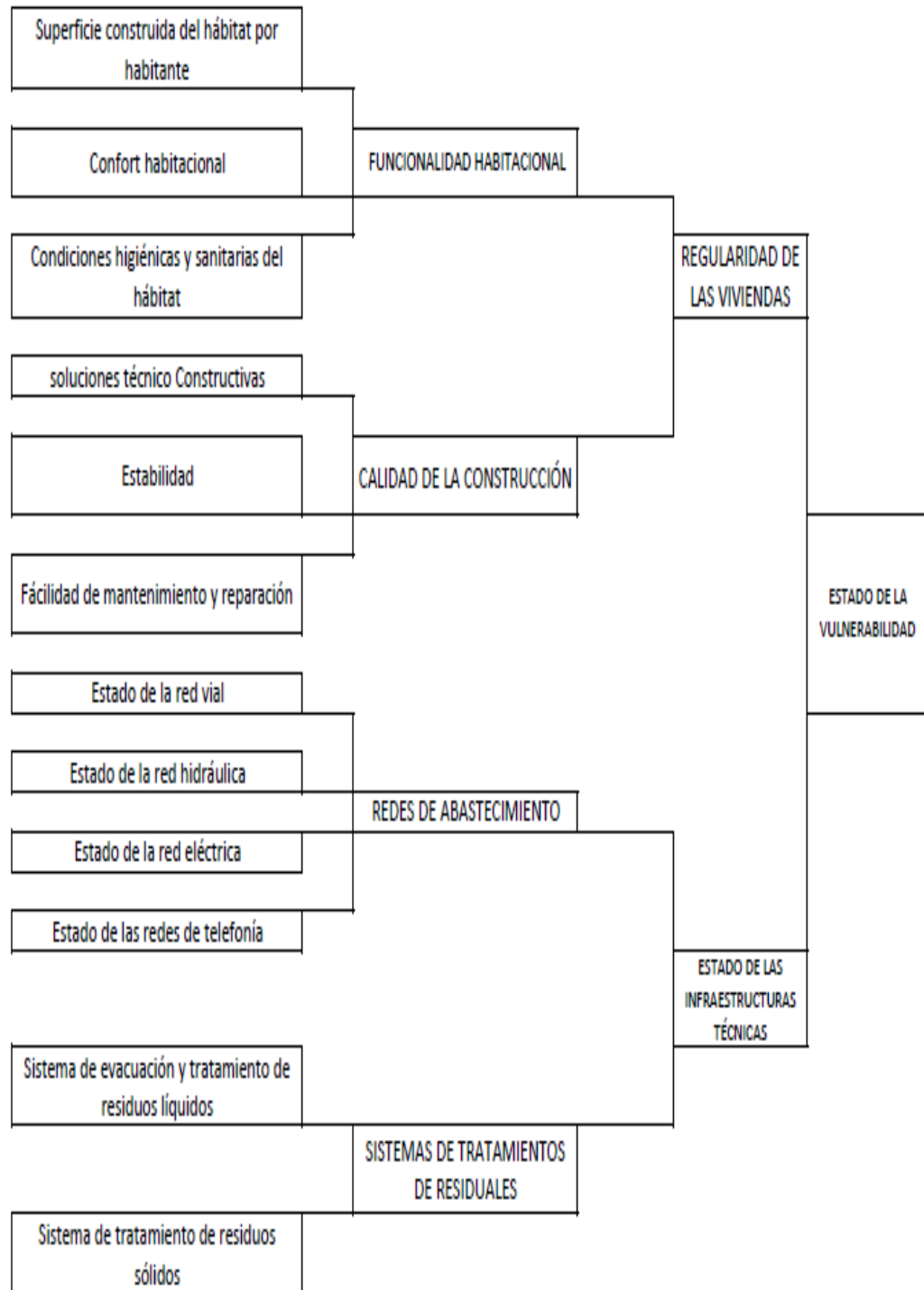
La vulnerabilidad es objeto de análisis y estudios profundos, donde se debe recabar información para crear bases de datos estadísticas con el propósito de poder contar con una herramienta de retroalimentación para enfrentar situaciones sin demorar.

En algunos foros dedicados al análisis de la gestión de riesgos, se ha llegado a determinar indicadores de vulnerabilidad, en esos indicadores, la ingeniería civil juega un rol importante en varias disciplinas; pero la más importante, es en el rubro de planificación de infraestructura económica y en planes de desarrollo local de regiones definidas, a continuación se puede visualizar esos indicadores.

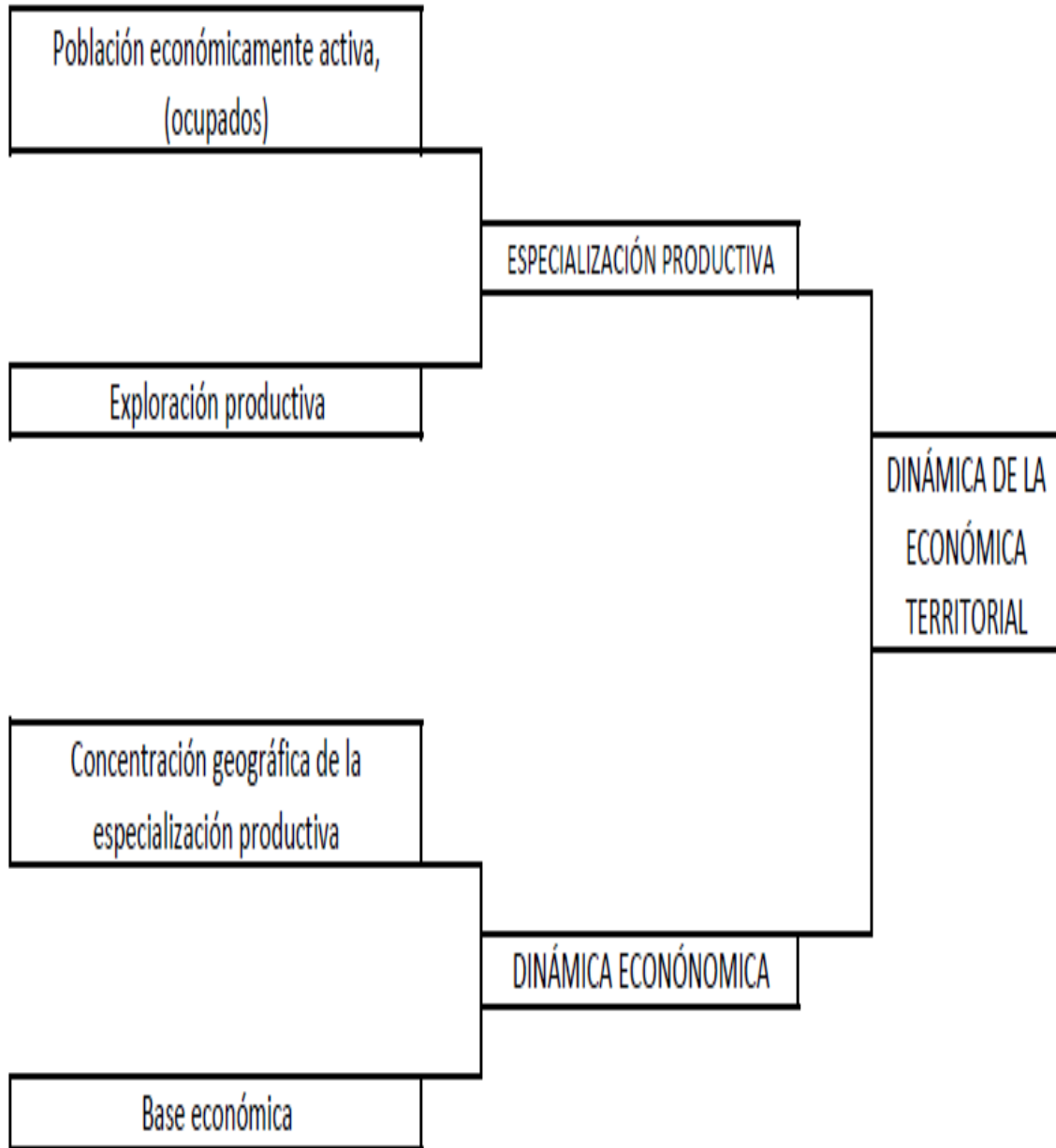
Figura 3. **Diagrama de indicadores de vulnerabilidad para la región centroamericana y República Dominicana**



Continuación de la figura 3.



Continuación de la figura 3.



Fuente: *Indicadores de vulnerabilidad a desastres para la región centroamericana*, foro MITCH +10, Guatemala, 2007.

Con la recopilación de información oficial se pueden establecer fichas de indicadores de vulnerabilidad como una guía sintetizada de la información para ser utilizada.

1.1.2. Riesgo

Es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se unen, se convierten en un riesgo, es decir, en la probabilidad de que ocurra un desastre.

Los riesgos pueden reducirse o manejarse (gestión de riesgo). Si se es cuidadoso en la relación con el ambiente, y si se está consciente de las debilidades y vulnerabilidades frente a las amenazas existentes, se puede tomar medidas para asegurarse de que las amenazas no se conviertan en desastres.

La gestión del riesgo no solo permite prevenir desastres. También ayuda a practicar lo que se conoce como desarrollo sostenible. Es cuando las personas pueden vivir bien, con salud y felicidad, sin dañar el ambiente o a otras personas a largo plazo.

La prevención y mitigación es todo lo que se hace para asegurar que no suceda un desastre; y si sucede, que no perjudique tanto como podría. La mayoría de los fenómenos naturales no pueden impedirse; pero sí se puede reducir los daños que causan planificando de una manera consciente y responsable.

En forma general, se puede definir al riesgo de la siguiente manera:

Riesgo = (amenaza o peligro) X (probabilidad de ocurrencia).

El riesgo es la amenaza por la probabilidad de ocurrencia.

Figura 4. **Riesgo de pérdida de superestructura en puente debido a crecida extraordinaria**



Fuente: puente San Francisco, Suchitepéquez.

Debido a las crecidas del río se observa que se destruye la parte central del puente, donde colapsaron los pilares de la cimentación.

Para asignar valores a la ecuación del riesgo, es necesario definir una matriz de amenazas asignándoles ponderaciones de acuerdo a estándares internacionales, y su probabilidad de ocurrencia determinarla a través de datos históricos de ocurrencia de los eventos específicos que interesa evaluar.

1.1.3. Prevención de desastres o gestión de riesgo

Es la aplicación de medidas para evitar que un evento se convierta en un desastre; es reducir la vulnerabilidad por medio de una planificación preventiva, que permita observar el foco del problema y dar una solución a corto plazo, disminuyendo la vulnerabilidad que pueda poseer una localidad.

Es necesario tener un diagnóstico inicial de cualquier tipo de proyecto a ejecutar para poder detectar y reducir los riesgos potenciales que se presentan y la manera en que estos pueden ser reducidos para evitar el riesgo y minimizar la probabilidad de ocurrencia de un desastre.

Dentro de la gestión de riesgo existe la mitigación de desastres; esta actividad es el conjunto de medidas para reducir la vulnerabilidad frente a ciertas amenazas. Por ejemplo, hay formas de construcción que aseguran que las viviendas, escuelas, hospitales no colapsen durante un terremoto o huracán.

La prevención y mitigación comienzan por:

- Conocer cuáles son las amenazas y riesgos a los que están expuestos en una comunidad en el nivel primario o micro región; o los de un país en su conjunto.
- Reuniones informativas y talleres de capacitación con familias y vecinos, con el propósito de hacer planes para reducir amenazas y riesgos o evitar.
- Realizar lo que se planea para reducir la vulnerabilidad.

No es suficiente hablar sobre el asunto, hay que tomar acciones, y se debe iniciar contando con planificaciones apropiadas y adaptar una matriz de riesgos y vulnerabilidades que permitan reducir los desastres.

1.2. Descripción de antecedentes sobre desastres ocurridos y la respuesta definida para eventos futuros

En Guatemala, durante el 2008, en el foro Mitch + 10, se trataron los temas de vulnerabilidad y riesgos que poseen los países centroamericanos ante desastres naturales, y los efectos que estos causan a la sociedad; tomando como base la experiencia centroamericana con la ocurrencia del huracán denominado Mitch.

Los efectos del huracán Mitch en el territorio nacional, desnudaron las debilidades y vulnerabilidades de la infraestructura de carácter crítico del país; muchos puentes fueron afectados por las crecidas extraordinarias que experimentaron los ríos, se atribuyó no solo a las altas precipitaciones sino también al cambio climático manifestado y a la baja calidad de materiales y mano de obra en su construcción, de la misma manera se afectaron estructuras escolares y comunales, principalmente por su localización en zonas susceptibles a inundaciones; pero lo más importante, fue que quedó demostrado la falta de planeación, supervisión, ejecución y control.

En Guatemala, el terremoto más destructivo en su historia reciente fue el de 1976, con una magnitud de 7,5 en escala de Richter y un hipocentro ubicado a solo 5 kilómetros de profundidad. Este terremoto, procedente de la falla del Motagua, causó la muerte de 23 000 personas, dejando 76 000 personas heridas, y causó extensos daños materiales. Sorprendentemente, el terremoto de 7,9 en escala de Richter de 1942, aunque mayor en magnitud, fue menos

destrutivo, lo que se explica en parte porque ocurrió a una profundidad mayor (60 kilómetros). Aunque es necesario mencionar que para esa época el crecimiento poblacional, institucional e infraestructuras es menor y por ende el daño fue menor.

Un número de sismos con magnitudes relativamente bajas causaron daños mayores en áreas localizadas, lo que puede explicarse en parte por su hipocentro poco profundo. El del terremoto de 1985 en el municipio de Uspantán del departamento de Quiché, con una magnitud de 5,0 mw y un hipocentro de 5 kilómetros, causó la destrucción del 80 por ciento de la infraestructura del centro urbano de Uspantán, pero causó poco daño fuera del municipio.

Tabla VI. **Historial de terremotos en Guatemala**

HISTORIAL DE TERREMOTOS EN GUATEMALA		
AÑO	MES	EPICENTRO
1717	noviembre	Antigua Guatemala
1765	octubre	Quetzaltenango
1773	julio	Antigua Guatemala
1816	julio	Polochic
1902	abril	Quetzaltenango
1913	marzo	Cuilapa
1917	noviembre	Ciudad de Guatemala
1918	diciembre	Ciudad de Guatemala
1942	agosto	Occidente del país
1959	febrero	Ixcán
1976	febrero	Falla del Motagua
1985	octubre	San Miguel Uspantan
1988	noviembre	San Vicente Pacaya
1998	enero	Santo Domingo Suchitepéquez
2012	noviembre	Champerico

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_guatemala. Consulta:17 de abril de

2014.

Han ocurrido en Guatemala en un período de 295 años, 15 terremotos o siniestros que han impactado al país social y económicamente.

Con esa experiencia negativa, se constató la falta de códigos de construcción segura ante eventos naturales; debidos principalmente, a que en la época de bonanza posterremoto de 1976 se consideraron las soluciones adoptadas ante las vulnerabilidades de esa época, como una simple receta aplicándola en cualquier lugar del territorio, sin considerar el reconocimiento del terreno y su área de influencia.

Debido al impacto negativo y alto costo financiero que tienen los desastres naturales, el Estado tomó la primera acción en el diario de Centro América, y en la publicación del martes 29 de marzo del 2011, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) como ente rector en Guatemala para la reducción de desastres, publicó el Acuerdo número 03-2010 que consiste en la Norma para la Reducción de Desastres uno (NRD-1), requerimientos estructurales para obras críticas, esenciales e importantes.

La Norma NRD-1 debe ser utilizada de acuerdo al tipo de edificación que se planifica construir, de tal manera que tomando esta norma como base se pueda reducir considerablemente la vulnerabilidad que se posee en el país, teniendo un mejor control de los métodos de diseño, planificación y construcción de la infraestructura en Guatemala.

Algunas acciones o intervenciones en la infraestructura con el propósito de ampliar las capacidades de albergue o funcionalidad, pueden llevar a crear riesgos inminentes que pueden llegar a contribuir de forma negativa en la estabilidad de las obras, por ejemplo, el caso del Hotel Terminal; que según informaciones de la época de ocurrencia del terremoto de 1976, se eliminó una

columna para ampliar la capacidad del salón de recepciones del hotel, lo que provocó el desplome de una buena parte de su estructura.

Figura 5. **Vista del Hotel Terminal luego del terremoto de 1976**



Fuente: Hotel Terminal zona 4, ciudad de Guatemala.

1.3. Teoría de ingeniería civil relacionada

La ingeniería civil interviene en un nivel importante dentro de la gestión de riesgos y en la reducción de desastres en infraestructura de manera general; se torna más importante cuando se trata o interviene en infraestructura con carácter de servicios públicos o privados; es decir, infraestructura para servicios de salud, educación, comunicación y transporte, generación de electricidad, y distribución de agua potable y energía eléctrica. Por lo tanto, su aplicación dentro del desarrollo de diseño y construcción de infraestructura es ineludible.

Desde esa perspectiva, se puede mencionar que la ingeniería civil se aplica desde varias disciplinas o especialidades, y las más importantes son las siguientes:

1.3.1. Planeamiento

El planeamiento de infraestructura para servicios esenciales tiene una importancia de primer orden dentro del desarrollo de estudios de prefactibilidad y factibilidad en proyectos de esa naturaleza; debido a que, en esa etapa es donde se conciben todas las virtudes que tendrá el proyecto, como también se dejan plasmadas las debilidades o vulnerabilidades a que se enfrentará al momento de prestar el servicio para el que fue concebido; y principalmente, la evaluación que se realiza sobre su comportamiento en el momento de ocurrencia de un evento catastrófico (terremoto, inundación, incendio, huracán y otros).

La planificación no es de un solo país o de una institución, es un proceso que se debe implementar para reducir las pérdidas materiales y humanas que se han dado durante la historia de la humanidad.

Cuando se planifica con la intención de reducir los desastres, al momento de ocurrencia de un evento de origen natural o provocado, que pueda causar daños severos a la infraestructura; se debe considerar dentro de la planeación inicial la administración de riesgos; esta gestión de riesgo se basa principalmente en la naturaleza del proyecto de infraestructura, su ubicación, localización y su valor financiero de construcción, operación y mantenimiento.

Entonces, dentro de la planeación de un proyecto, se debe incluir la etapa de administración de riesgos como una obligación dentro del proceso; dentro de

esa etapa existen varios pasos u obligaciones que se deben cumplir, y en forma general los más importantes son los siguientes:

1.3.1.1. Identificación de riesgos

Es la etapa inicial de la gestión de riesgo dentro de la etapa de planeación; en ella se identifican los posibles riesgos del proyecto con el auxilio de aplicación de técnicas conocidas, como la identificación de las fuentes que provocan esos riesgos; en el entendido que, la principal fuente de riesgos para un proyecto es su propia naturaleza.

Para la identificación de los riesgos hay que considerar como mínimo tres situaciones, que son:

1.3.1.1.1. Situación con certidumbre

Es aquella donde la decisión se toma con base al conocimiento exacto de un panorama general; por ejemplo, el lugar de construcción del proyecto es vulnerable a la constante ocurrencia cíclica de vientos fuertes y, proclives a inundaciones, y que en determinados meses del año sus vías de acceso presentan dificultad para el tránsito normal de cualquier clase de vehículo.

1.3.1.1.2. Situación con riesgo

Es aquella donde la decisión se toma con base a la evaluación racional de la probabilidad de ocurrencia de una situación adversa; por ejemplo, la ubicación del proyecto está cercana a una ladera sin intervención humana, pero que no tiene certeza sobre si existe planeación para el cambio de uso de la tierra.

1.3.1.1.3. Situación con incertidumbre

Es aquella donde la decisión se toma sin considerar ningún parámetro de referencia, es decir, no se tiene conocimiento ni datos que ayuden a evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento catastrófico.

1.3.1.2. Fuentes de los riesgos

Luego de definir el tipo de situación que se enfrenta en el proyecto, se debe identificar las fuentes de esos riesgos; en forma general, las fuentes de los riesgos pueden ser:

1.3.1.2.1. Localización y tamaño del proyecto

La localización y el tamaño del proyecto generan por sí mismo riesgos inherentes a este, ya que su localización define los posibles eventos que deberá enfrentar en su etapa de construcción y funcionamiento; mientras que su tamaño impone el cálculo del financiamiento para la puesta en marcha de un plan de gestión de riesgo o atención de contingencias.

1.3.1.2.2. Tecnológico

Esta fuente de riesgos se identifica con la incertidumbre que se genera alrededor de la utilización de nuevas tecnologías durante el diseño, construcción, operación y mantenimiento de un proyecto de infraestructura; es decir, es posible enfrentar dificultades con la utilización de software de nueva generación, nuevos modelos de equipo y maquinaria de construcción que exijan ciertas condicionantes en el lugar de construcción que puedan añadir

vulnerabilidades al conjunto de infraestructura en su operación y mantenimiento.

De la misma manera, los nuevos materiales básicos para la construcción de algunos componentes de la infraestructura y posibles nuevos sistemas constructivos, que con su utilización no se genere certeza de cumplir con todos sus requerimientos y que permitan la permanencia de las obras construidas bajo esos lineamientos al momento de ocurrir un desastre.

1.3.1.2.3. Acciones de administración

Esta fuente de riesgos está definida por las acciones de estimación de costos y determinación de presupuestos; en el acaecimiento de errores humanos y la toma de decisiones oportunas, durante el ciclo de la vida útil del proyecto, incluyendo su etapa de planeación.

1.3.1.2.4. Regulaciones

La falta o existencia de regulaciones de cualquier naturaleza, crean riesgos para los proyectos; es decir, es posible que no existan especificaciones técnicas generales o especiales para algunos componentes de las obras de infraestructura que puedan ser vulnerables a situaciones específicas de origen natural; en otro sentido, por ejemplo, se debe considerar el análisis del impacto ambiental que el proyecto provocará en su entorno inmediato y que sea probable que con el cumplimiento de las medidas de mitigación ambiental se pueda agregar vulnerabilidades al conjunto de las obras que puedan poner en riesgo su funcionalidad durante la ocurrencia de una emergencia de carácter natural.

1.3.1.2.5. Documentos

Esta fuente de riesgo está definida dentro de los documentos contractuales al momento de construcción, operación y mantenimiento de un proyecto; debido a las características de las obligaciones y derechos de las partes involucradas. Por ejemplo, en Guatemala los proyectos de infraestructura deben cumplir con el Decreto 57-92 del Congreso de la República, Ley de Contrataciones del Estado, que en sus artículos 65 de cumplimiento, donde se obliga a los ejecutores a garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del contrato; 67 de conservación de obra o calidad o de funcionamiento, donde se garantiza por un periodo de 18 meses la conservación de la obra; y 70 garantías, donde se obliga a obtener seguros contra los riesgos inherentes a las obras. Y el Acuerdo Gubernativo 1056-92 Reglamento de la ley de contrataciones del Estado que en su artículo 41 garantías norma que los seguros tienen una vigencia igual a la garantía de conservación de obra.

Esas coberturas tienen deficiencias bien marcadas, si el proyecto se daña por una causa extraordinaria la cobertura de permanencia no se aplica, ya que solo se puede reclamar si la falla se imputa al contratista ejecutor; las cuales tienen vigencia de 18 meses, pero si existiera dolo o culpa por parte del contratista, su responsabilidad es de 5 años a partir de la vigencia de la recepción definitiva de la obra, según el artículo 67 de la Ley de Contrataciones del Estado; mientras que con la póliza del seguro, si no se notifica con cierto plazo de tiempo, la garantía se pierde, esto sucede porque los responsable de utilizar y mantener los proyectos no tienen bajo su responsabilidad el manejo de esos documentos contractuales.

Para que se pueda accionar de acuerdo a los términos de las garantías se recomienda que a los usuarios directos de los proyectos se les traslade copia de las pólizas y se les instruya como deben de utilizarse dentro del plazo de su vigencia si llegará a ocurrir un evento catastrófico.

1.3.1.3. Clasificación de riesgos

Luego de haber identificado con certeza los riesgos que enfrentará la infraestructura, es importante clasificarlos. En forma general, los riesgos se pueden clasificar de la siguiente manera:

1.3.1.3.1. Riesgos conocidos

Estos son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia es común y razonablemente entendida; es decir, donde se cuenta con suficiente información para predecir su ocurrencia y se entiende con bastante claridad sus causas y consecuencias.

1.3.1.3.2. Riesgos conocidos-desconocidos

Son aquellos que tienen consecuencias severas en el caso que ocurran los desastres naturales o provocados por la intervención humana; su probabilidad de ocurrencia es baja, pero que no se puede descartar. Por ejemplo, la ocurrencia de un siniestro imputable a un descuido humano en el manejo de sistemas eléctricos o sustancias peligrosas; el siniestro puede rebasar las medidas de seguridad dentro de la edificación y que puedan dañar algunos componentes de su infraestructura.

1.3.1.3.3. Riesgos desconocidos-desconocidos

Son aquellos que no se pueden considerar dentro de la etapa de planeación de un proyecto, ya que no se tiene idea que pueda suceder, por lo tanto, su probabilidad de ocurrencia es casi nula, lo que obliga a no considerarlo. Por ejemplo, los hundimientos ocurridos en el barrio San Antonio de la zona 6 y el ocurrido en la zona 2 de la ciudad de Guatemala.

1.3.1.4. Técnicas de identificación de riesgos

Para la identificación de los riesgos, se han desarrollado algunas técnicas que permiten con facilidad relativa la identificación requerida; para obtener el máximo de utilidades, es necesario tener un conocimiento pleno del contexto general y completo del problema; contar con registros históricos confiables de la naturaleza del proyecto objeto de evaluación; las técnicas más reconocidas son las siguientes:

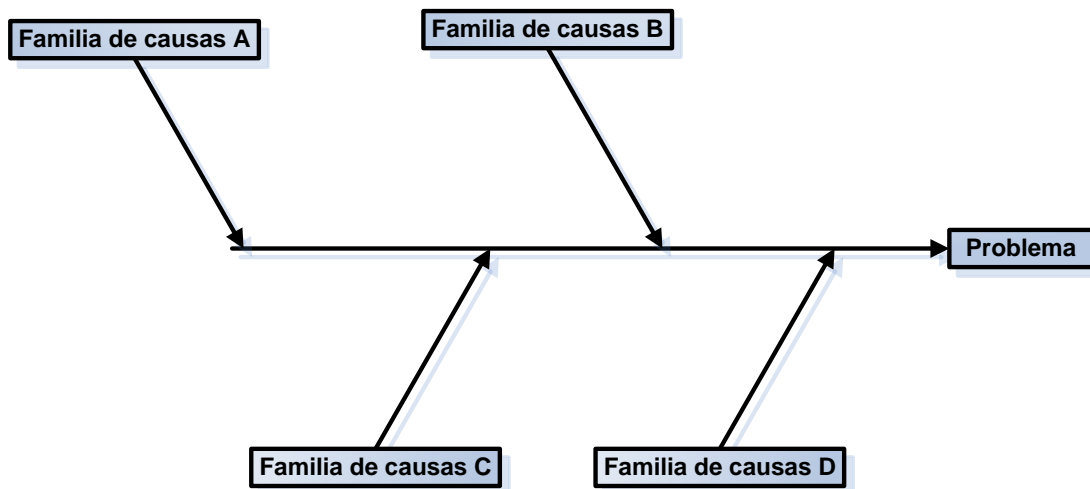
1.3.1.4.1. Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)

Cuando se desea resolver un problema, es importante conocer con exactitud sus causas y como se relacionan entre sí; el Diagrama Causa-Efecto es una guía para la recolección de datos y para su análisis arribando a la identificación aceptable de las causas de esos problemas; luego con la misma facilidad se pueden determinar en forma aceptable los efectos del problema.

El analista debe ser mesurado y tener buen criterio, ya que es importante evitar recolectar datos y analizarlos sabiendo que son causas no preponderantes, esta acción puede evitar la pérdida de tiempo y la mala utilización de recursos; es decir, el criterio aplicado debe responder a cierto nivel de causas y efectos principales.

A este método también se le llama: Diagrama de Espina de Pescado; Diagrama Causa y Efecto y, Diagrama de Hueso de Godzilla.

Figura 6. **Diagrama Causa-Efecto de Ishikawa**



Fuente: elaboración propia.

Se analizan las familias de causas y efectos de un problema con el auxilio de un diagrama para interpretarlos y buscar las soluciones apropiadas.

1.3.1.4.2. Lista de verificación

La lista de verificación quizá sea la técnica más conocida y utilizada; tiene un riesgo intrínseco, ya que puede volverse rutinario y evita el razonamiento en la búsqueda de los riesgos del proyecto; por lo tanto, no se recomienda el uso excesivo de esta técnica; lo prudente será crear una lista de verificación de acuerdo a la naturaleza del proyecto, su ubicación, localización, tamaño y valor financiero.

1.3.1.4.3. Entrevistas

Esta técnica se utiliza con el equipo principal de planificación de los proyectos, donde se intenta determinar con exactitud de acuerdo a la naturaleza del proyecto los riesgos a los que estará expuesto durante su vida útil.

1.3.1.4.4. Grupo nominal

La técnica de grupo nominal consiste en la creación de un grupo de personas que tengan las capacidades y conocimientos suficientes para determinar los riesgos de un problema con una complejidad alta; en este método se advierte es necesario contemplar varias etapas, y las más importantes son:

- Etapa o proceso de generación de ideas: se establece a través del nombrado líder del grupo nominal los avisos correspondientes para efectuar reuniones de trabajo multidisciplinario, haciendo saber cuáles serán las reglas generales para esta etapa con el propósito de lograr una participación proactiva. Por ejemplo, generar las ideas correspondientes (lluvia de ideas) para verificar el contenido de la planificación de un

proyecto, para identificar los posibles riesgos inherentes, realizando una lista pero sin agregar comentarios.

- Etapa de reporte o registro de ideas: existen dos métodos para el registro de ideas: si las ideas son sensitivas, si son muchas o existen varios participantes: el líder recolecta las ideas y las registra en forma individual y anónima. Cada persona presenta su idea en la oportunidad que se le brinda, en este caso no están permitidas las evaluaciones o criticas mientras el participante presenta y registra su idea.
- Etapa de presentación y discusión de ideas: luego que las ideas han sido registradas, se discute individualmente cada una para clarificar el propósito y evitar al máximo las interpretaciones erróneas.
- Etapa de clasificación de ideas: en este proceso, cada participante de acuerdo a su criterio clasifica las ideas que fueron registradas; existen varios métodos para la clasificación de las ideas, el más común utilizado es el de someter a votación cada una para asignarle un orden de importancia. El propósito de esta etapa, es lograr en consenso la prioridad o importancia de las ideas registradas.

1.3.1.5. Cuantificación de riesgos

Consiste en cuantificar el impacto de los riesgos de un proyecto en términos de costo y plazo mediante el uso de técnicas de análisis de riesgo.

Para cuantificar los riesgos existen varios métodos para predecir la ocurrencia de los eventos naturales o provocados que pueden incidir en un proyecto durante todas sus etapas (planeación, construcción, operación y

mantenimiento); el método más acertado es el de simulación, aunque se necesita una capacidad instalada que tenga acceso a tecnología de punta y fuentes de información confiables; en esta etapa se debe considerar los riesgos que se clasifiquen como los más probables, con el auxilio de medidas de análisis probabilístico tales como la determinación de la probabilidad total de ocurrencia (método del árbol o probabilidad total), la desviación estándar, la varianza, distribuciones de probabilidad, entre otras.

Lo importante se centra en analizar los riesgos más probables y que afecten seriamente a los proyectos, inclusive los que puedan llevar a su colapso; obteniendo dentro del análisis su costo financiero y el tiempo necesario para gestionarlo apropiadamente.

1.3.1.6. Elaboración de las respuestas a los riesgos

Esta etapa consiste en analizar y seleccionar la estrategia que contrarreste el impacto de los riesgos de un proyecto; las respuestas a los riesgos pueden ser inmediatas y de contingencia.

La respuesta significa que el riesgo se puede eliminar, reducir o transferir.

Cuando una respuesta es anticipada se tiene como finalidad mantener el riesgo en una situación de control; mientras que las respuestas de contingencia se diseñan para mantener los daños reales que eventualmente pueden causar cada riesgo, por debajo de una cifra definida como objetivo que idealmente deber ser próxima a cero, y que si se maneja bien puede llevar a obtener un beneficio adicional.

Desde la concepción del proyecto, el equipo planificador deberá considerar anticiparse a los riesgos, pero también debe ser capaz de planificar las medidas de contingencia (gestionar los riesgos); cuando se logra incluir los estudios de sensibilidad dentro de la planeación de un proyecto, entonces se puede estar preparado para efectuar una efectiva gestión de riesgos; para lograrlo, se debe incluir dentro de la planeación lo siguiente:

- Eliminar el riesgo: cuando se logra tener la certeza que el beneficio que proveerá el proyecto es mayor al daño que ocasione la ocurrencia de un evento; es decir, la inversión y beneficios se han logrado antes del evento.
- Reducir el riesgo: se logra cuando se ha desarrollado una serie de estudios donde se haya analizado todos los riesgos, y se han diseñado todas las medidas de contingencia, de tal manera que, el riesgo es mínimo y razonable.
- Compartir el riesgo: cuando se tiene planeado efectuar alianzas estratégicas con los usuarios–beneficiarios de un proyecto, donde se comparten los riesgos.
- Transferir el riesgo: cuando se otorga una concesión o derecho de usufructo de un proyecto.
- Asegurar el riesgo: se puede transferir el riesgo con la acción de adquirir seguros contra eventos catastróficos; es decir, quién se encargará de recuperar el proyecto cuando se produzca un evento catastrófico.

1.3.1.7. Diseño de contingencias

Este tipo de acciones son consecuencia del principio que los daños que pueden producir los riesgos, no son seguros y tampoco inevitables; y que son mayores o menores en función de cuales sean las acciones y decisiones directivas que se tomen con relación al proyecto y sus riesgos ya conocidos.

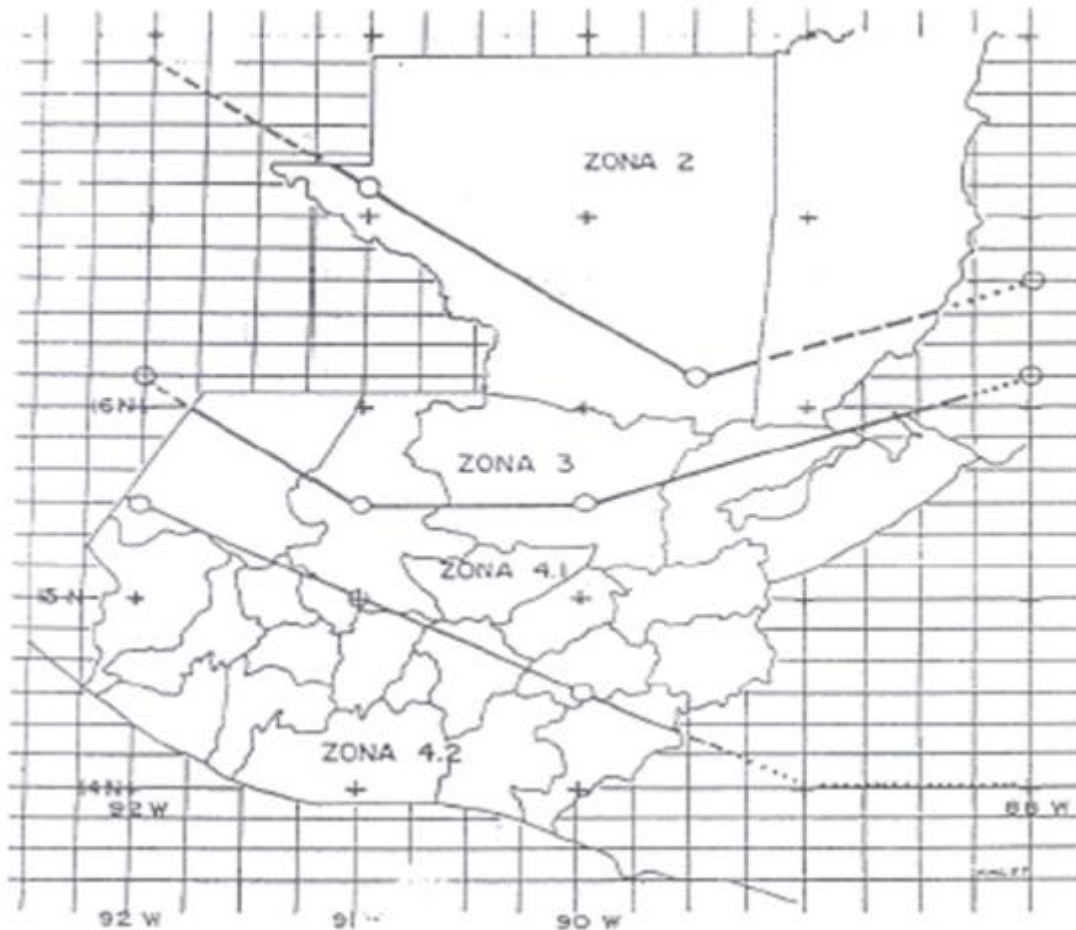
La planificación de las contingencias es esencial, ya que es la anticipación del futuro en el sentido de obtener un diseño que sea funcional y que el proyecto se comporte de la manera que ha sido concebido.

El plan debe contener un capítulo para el manejo de crisis; deberá además proveer de las instrucciones necesarias para comportarse durante la ocurrencia de un evento que provoque desastres.

1.3.2. Ingeniería estructural

Luego del terremoto de 1976 se inició la etapa de investigación sísmica en la República de Guatemala; se creó el documento denominado *Normas Estructurales de Diseño y Construcción Recomendadas para la República de Guatemala*, donde se definieron las zonas sísmicas en el territorio nacional.

Figura 7. **Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala**



Fuente: SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico*. p. 2.

En la figura 7 se puede apreciar las 4 zonas sísmicas definidas para la República de Guatemala; la retícula del mapa coincide con el mapa a escala 1:50 000. Para cada zona sísmica se ha asignado un índice de sismicidad (I_0), un rango de aceleración máxima efectiva del suelo producidas por el básico o severo (A_0), para el frecuente (A_f) y para el extremo (A_e). En la tabla VI se puede observar la clasificación de estos parámetros determinados en la revisión del Código en el 2000.

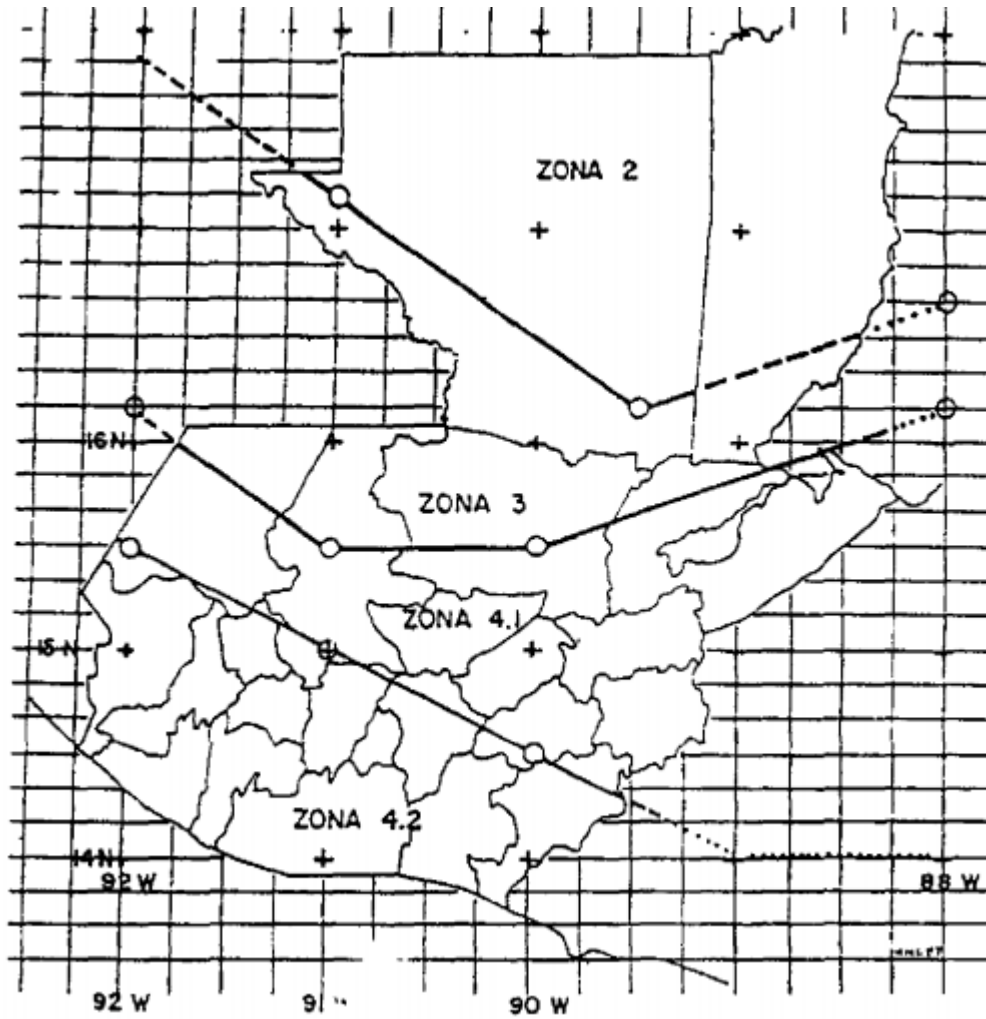
Tabla VII. **Niveles de intensidad sísmica por zona**

Zona sísmica	I_o (índice de sismicidad)	A_o (aceleración máxima efectiva del suelo sismo básico o severo)	A_f (aceleración máxima efectiva del suelo sismo frecuente)	A_e (aceleración máxima efectiva del suelo sismo extremo)
2	2	0.10g	0.00g	0.13g
3	3	0.10 a 0.30g	0.00 a 0.10g	0.13 a 0.39g
4.1	4	0.30g	0.10 a 0.105g	0.39g
4.2	4	0.30g	0.15g	0.39g

Fuente: SANTANA, Guillermo. *Evaluación de código sísmico*. p. 2.

La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) en el 2009 ha obtenido información actualizada como resultado de efectuar simulaciones en el programa denominado RESIS II; y ha determinado un catálogo por municipio sobre amenazas sísmicas, además de contar con una distribución de zonas con más detalle de información; a continuación se muestran los resultados en cuanto al mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala.

Figura 8. Zonificación sísmica para la República de Guatemala



ZONA	I_0	A_0	A_r	Observaciones
2	2	0.15 g	0.015 g	Cuando sea necesario interpolar hacerlo sobre líneas norte-sur
3	3	0.15 a 0.40 g	0.015 a 0.15 g	
4.1	4	0.40 g	0.15 a 0.20 g	
4.2	4	0.40 g	0.20 g	

Fuente: AGIES, *Norma NSE-2 demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección*. p. 2.

Para comprender a cabalidad la teoría para el cálculo y sobre el nivel de protección, se recomienda consultar la Normativa al respecto de AGIES en el sitio <http://www.duplo.com.gt/agies/normas.html>, donde se puede obtener la totalidad de la información con el detalle pertinente.

1.3.3. Ingeniería hidráulica e hidrología

Luego de ocurridos los fenómenos atmosféricos denominados huracán Mitch en 1998, el huracán Stan en 2005, la tormenta tropical Agatha en el 2010, y la depresión tropical 12E en el 2011; produjeron daños severos a la infraestructura diversa en el territorio nacional; de esa cuenta, el Instituto de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) confeccionó el llamado Atlas hidrológico para la República de Guatemala; donde se ha zonificado las cuencas con la información correspondiente, además se ha llegado a definir las fórmulas correspondientes para el cálculo de avenidas extraordinarias; con el propósito de proveer las herramientas técnicas suficientes y confiables para la definición del nivel de protección hacia las estructuras en el caso de ocurrencia de este tipo de fenómenos.

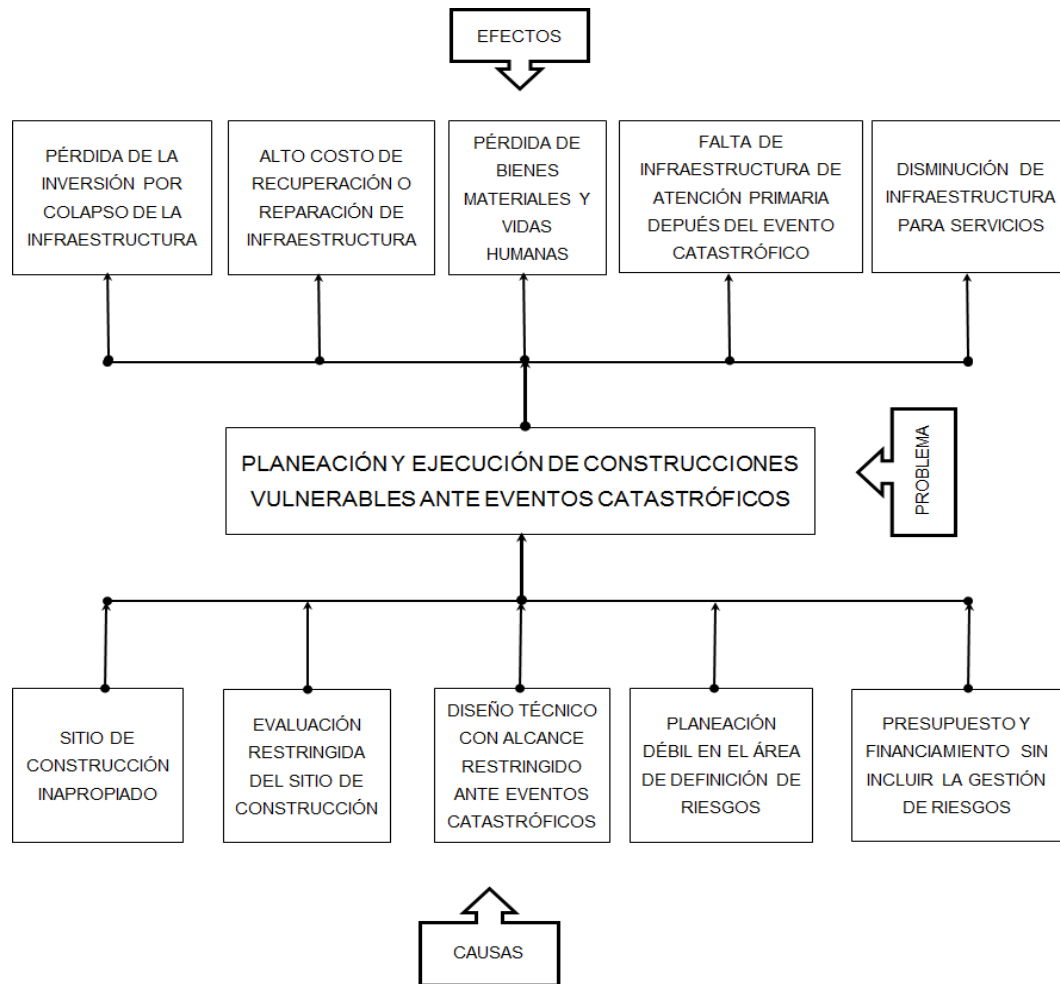
Es necesario contar con información georeferenciada para poder analizar la situación del sitio, que en el caso de hidrología es sumamente importante en cuanto a la escorrentía superficial.

Se debe analizar los sitios de construcción próximos a laderas de montañas o riberas de río para verificar la vulnerabilidad en el caso de ocurrir deslizamientos, desprendimientos de suelos, crecidas máximas y socavamientos o erosiones que puedan afectar a la obra a construir.

1.4. Árbol del problema

El análisis con el árbol de problemas es una herramienta participativa, que se usa para identificar los problemas principales con sus causas y efectos, permitiendo a los planificadores de proyectos definir objetivos claros y prácticos, como también, plantear estrategias para poder cumplirlos. Incluir texto

Figura 9. **Árbol del problema para análisis de diseño y ejecución de construcciones vulnerables ante eventos catastróficos**



Fuente: elaboración propia.

1.4.1. Causas

Se identificaron 5 causas que resultan ser recurrentes, y que provocan el planeamiento de obras de infraestructura en general vulnerables; y son las siguientes:

1.4.1.1. Sitio de construcción inapropiado

Particularmente se pudo observar que los sitios de construcción para obra pública en su mayoría resulta ser inapropiado; debido a que, cuando se lleva la planeación de infraestructura de servicio productivo, social, educación y salud; regularmente las comunidades aportan terrenos que no tienen un valor de uso significativo para sus habitantes; es decir, regularmente se tiene en disponibilidad lugares con muchas vulnerabilidades; por ejemplo, sitios cercanos a laderas de barrancos o sistemas montañosos; cercanos o contiguos a riberas de ríos o zanjones que drenan la escorrentía en época de invierno; ubicación que no permite con facilidad proveer de servicios esenciales (agua potable, energía eléctrica, ingreso por camino vehicular).

Salvo la obra de gran envergadura, donde el gobierno local o el gobierno nacional cumplen con todos los requerimientos de verificación y selección del sitio para la construcción de obra catalogada como importante o primaria, los sitios de construcción si cumplen con todos los requerimientos técnicos para la ejecución de infraestructura crítica.

1.4.1.2. Evaluación restringida del sitio de construcción

Se puede decir que, a pesar de existir información recopilada por la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia(SEGEPLAN), no es consultada por los evaluadores de los sitios de construcción de obra para servicios esenciales; quizá por una acción personal o por desconocimiento; traducido a la realidad, las evaluaciones de sitios para la construcción de obras de carácter público y algunas de carácter privado no es observado o cumplido de acuerdo a los estándares técnicos generalmente aceptados, o bien, siguiendo las guías proporcionadas por SEGEPLAN. En algunos casos, las evaluaciones no son completas debido principalmente por las restricciones financieras de los proyectos.

1.4.1.3. Diseño técnico con alcance restringido ante eventos catastróficos

Como resultado de las falencias en la selección de los sitios de construcción y sus evaluaciones con algunas debilidades; se obtienen diseños con carencias que soporten eventos catastróficos; en cuanto a especificaciones técnicas, económicas, disposiciones especiales, así como de normas generalmente aceptadas para construcción de edificaciones.

Además se enfrenta siempre con el problema de la deficiencia financiera en el desarrollo de los diseños de obras; dado que, particularmente, se trazan o establecen metas que no son planteadas con presupuestos apropiados y si los son, reducen costos en la calidad del material a consecuencia de la corrupción imperante en el sistema institucional.

1.4.1.4. Planeación débil en el área de definición de riesgos

Esta causa está intrínsecamente unida con el diseño; debido a las restricciones financieras no se consideran los análisis respectivos en la definición de riesgos de las obras durante su construcción, y principalmente durante su operación; regularmente no se entregan las planificaciones con manuales de mantenimiento y con estrategias de contingencia en el momento de ocurrencia de un evento catastrófico y de operación luego de ocurrido el evento.

1.4.1.5. Presupuesto y financiamiento sin incluir la gestión de riesgo

Esta causa principal se debe a las restricciones de carácter financiero; únicamente se presupuestan y se ubica el financiamiento para la construcción de la infraestructura, y se posterga el equipamiento total y su mantenimiento rutinario y preventivo; se espera a que suceda el deterioro para financiar su conservación y mantenimiento, es decir curar la enfermedad.

Las causas descritas anteriormente, son las responsables de una ejecución de obras de infraestructura vulnerables ante eventos catastróficos; y como consecuencia se experimenta los siguientes efectos.

1.4.2. Efectos

En la construcción del árbol del problema se identificaron 5 efectos producidos en el análisis del problema, que son:

1.4.2.1. Pérdida de la inversión por colapso de la infraestructura

Como consecuencia primera de tener una débil planeación ante desastres naturales, se obtiene que la inversión de proyectos de servicio o de infraestructura económica se pierda durante el evento catastrófico.

1.4.2.2. Alto costo de recuperación o de reparación de infraestructura

En el caso que la infraestructura productiva sufra daños reparables, sus costos de recuperación y de reparación resultan ser onerosos, dado que, además de paralizar las actividades generadoras de economía distraen recursos financieros destinados para otros rubros, y que se consumen en la recuperación.

1.4.2.3. Pérdida de bienes materiales y vidas humanas

Regularmente durante y después de que ocurre un evento catastrófico, resulta que se pierden bienes materiales y vidas humanas; dado que, no se cuenta con programas establecidos para minimizar los daños.

En la valoración de las vidas, no existe cuantificación alguna, ya que, solamente se reportan las muertes y desapariciones como una estadística; no se ha realizado evaluaciones de productividad económica de forma individual de las víctimas que resultan en los eventos naturales catastróficos o provocados.

1.4.2.4. Falta de infraestructura de atención primaria después del evento catastrófico

En las poblaciones donde la infraestructura de servicios de salud es limitada, y se ve afectada por la ocurrencia de un evento catastrófico, resulta que no existe un lugar apropiado para brindar los primeros auxilios a las víctimas del evento; en el caso de la infraestructura vial, si no existe una red que permita más de una vía de ingreso–egreso a la población y resulta afectada, agrava la situación debido a que no se cuenta con una vía terrestre para evacuar a las víctimas hacia lugares seguros y centros de asistencia médica. En el caso de los servicios de agua potable y de energía eléctrica, si ese tipo de infraestructura se daña, y si no se puede acceder al lugar donde se encuentran, no se logra la atención inmediata en reparaciones y puesta en funcionamiento de los sistemas.

1.4.2.5. Disminución de infraestructura para servicio

En consecuencia fatal, al no contar con infraestructura de servicios durante y después de ocurrido el evento; la infraestructura que queda en funcionamiento resulta ser insuficiente para brindar los servicios pertinentes debido al incremento de la demanda; en este caso, los servicios se vuelven escasos y los daños se magnifican debido a la falta de atención oportuna.

2. APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA CIVIL EN LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Ingeniería es una ciencia que permite desarrollar todo tipo de proyecto de tal manera que con su utilización y aplicación se pueda garantizar la eficacia y seguridad de los proyectos a realizar.

En el caso de la ingeniería civil, su aplicación es indispensable en obras de infraestructura, y es en la planificación donde se debe definir los riesgos y vulnerabilidades de las obras proyectadas; de la misma manera, en la evaluación de obras importantes que se encuentran en operación y funcionamiento. Las obras se pueden clasificar como críticas, esenciales e importantes; esta clasificación se ha definido de acuerdo a su funcionalidad y objeto; no es lo mismo una escuela que un hospital o una plaza pública, cada una tiene su planificación en base a diferentes parámetros entre los principales los estructurales, arquitectónicos, socioculturales y otros.

Para reducir la vulnerabilidad en la infraestructura crítica se debe contar con una planificación completa constituida en la parte técnica con un estudio de ingeniería civil en sus diferentes disciplinas, ya que los riesgos son varios y de diversa índole; las obras presentan riesgos de acuerdo a la zona geográfica donde se construirán y en el ámbito micro regional, cada lugar tiene diferentes características de suelo, clima, viento, precipitación, escorrentía y fallas sísmicas; es necesario mantener presente que la amenaza sísmica es un factor cuantificable pero no controlable, ya que depende de propiedades físicas de la tierra que esta fuera del control humano.

2.1. Definición de infraestructura crítica

Son aquellas instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya interrupción o destrucción tendría un impacto mayor en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento de las instituciones del Estado y de las Administraciones Públicas.

Para efectos de comprensión general y conceptual no especializado, se puede definir la infraestructura crítica de la siguiente manera: Es aquella obra física que debe resistir y funcionar (operar) durante la ocurrencia de un evento catastrófico natural o provocado; y, operar normalmente en su capacidad total, inmediatamente después de ocurrido el evento.

Este tipo de estructura es catalogada como esencial (estructuras necesarias después de un desastre) y sirven a cantidades considerables de personas, con espacio suficiente para su circulación y funcionamiento continuo y capacidad de seguir operando después de un desastre natural.

Las obras de infraestructura crítica sirven a la sociedad con diferentes funciones, algunas son de permanencia voluntaria, transitorios, de habitación, entre otros usos.

En términos generales, la infraestructura crítica o esencial, está constituida por obras de carácter público o de uso masivo; es decir, infraestructura de telecomunicaciones, de salud, de transporte (aeropuertos, puentes y carreteras principales), de educación, de generación-transmisión y distribución de energía eléctrica, de seguridad pública; y, de agua y saneamiento.

Existe cierta discrepancia en el uso del lenguaje en la definición de este tipo de obras; a nivel regional, algunos países la denominan como infraestructura crítica; y en otros, como infraestructura esencial; en el caso de Guatemala, se le denomina como infraestructura esencial.

2.2. Catálogo de obra de infraestructura crítica

La infraestructura crítica puede catalogarse de acuerdo a su utilidad, su diseño de servicio, finalidad, y otras categorías.

En la República de Guatemala, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) ha clasificado los tipos de obras de infraestructura en forma general en categorías ocupacionales y de acuerdo a esas categorías se ha normado el diseño por sismo, por viento y por inundaciones; esta clasificación se encuentra detallada en la Norma denominada NSE1-10 Generalidades, Administración de las Normas y Supervisión Técnica en su capítulo 3 Clasificación de Obras.

Esa clasificación ha catalogado a las obras como:

- Categoría 1: utilitarias
- Categoría 2: ordinarias
- Categoría 3: importantes
- Categoría 4: esenciales

Para el caso de las obras catalogadas como críticas o esenciales, y con base en la clasificación realizada por AGIES, se puede enumerar el siguiente catalogo de este tipo de obras.

- Infraestructura de Salud: hospitales con servicios de emergencia, cuidados intensivos, quirófanos, centros y puestos de salud.
- Infraestructura de seguridad ciudadana: instalaciones de policía nacional civil, instalaciones de bomberos, instalaciones de defensa civil, y la infraestructura específica para las comunicaciones relacionadas con la atención a desastres.
- Infraestructura de telecomunicaciones: centrales telefónicas y de radiodifusión.
- Infraestructura de transporte: puentes, carreteras, aeropuertos, puertos, vías ferroviarias, hangares y la relacionada a transporte masivo de personas, bienes y productos.
- Infraestructura de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica: hidroeléctricas, centrales de energía eléctrica, líneas de transmisión y líneas de distribución.
- Infraestructura de saneamiento: obras de captación–conducción y distribución de agua potable; y sus obras de operación y control.
- Infraestructura designada para centros de asistencia en casos de emergencias: instalaciones para el funcionamiento de albergues, centros de acopio y distribución de ayuda humanitaria.

2.3. Identificación de vulnerabilidades para el catálogo de obras críticas o esenciales

Desde la aplicación de ingeniería civil, existen vulnerabilidades en el proceso de planeación que son estructurales y no estructurales. Las vulnerabilidades estructurales se presentan en el proceso de construcción y surgen debido a los sistemas constructivos y de los materiales a utilizar; mientras que las no estructurales surgen en el proceso de funcionamiento y operación donde interactúan todos los elementos que han definido las vulnerabilidades.

En forma general se definen las vulnerabilidades más importantes de acuerdo al catálogo de obras esenciales enumeradas y descritas anteriormente.

Todas las vulnerabilidades son comunes en todas las categorías enumeradas, y en el catálogo de infraestructura crítica o esencial.

2.3.1. Vulnerabilidades estructurales

Las vulnerabilidades estructurales para la infraestructura crítica, de acuerdo a la experiencia nacional en la República de Guatemala, son las siguientes:

- Sitio de construcción: los espacios físicos y geográficos definidos para la planeación y construcción de este tipo de estructuras no tienen contemplado su ampliación o crecimiento de acuerdo a la demanda de los servicios que presta la infraestructura. Espacio disponible insuficiente; ubicación y localización inadecuada; servicios escasos para su funcionamiento.

- Diseño arquitectónico y estructural: el conjunto de instalaciones pueden no ser diseñados de acuerdo al sismo resistencia apropiada a la zona sísmica donde se ubica; puede provocar hacinamiento por la imposibilidad de crecimiento físico, puede no tener una disposición dentro del sitio de construcción adecuada para soportar fuerzas de viento extremas.
- Hidrología de superficie: puede estar ubicado en lugares que son históricamente afectados por escorrentía de avenidas ordinarias y extraordinarias que puedan provocar socavamientos, erosión e inundaciones repentinas; esta vulnerabilidad está estrechamente vinculada con el sitio de construcción.

2.3.2. Vulnerabilidades no estructurales

Las vulnerabilidades no estructurales son aquellas que pueden afectar el funcionamiento eficiente de la infraestructura al momento de ocurrencia de un desastre; es decir, son condiciones de distribución de mobiliario y equipo movable o fijo, que pueden entorpecer el libre desplazamiento de las personas durante y después del evento catastrófico.

En el caso de infraestructura de salud: equipo insuficiente para prestar servicios, falta de renovación de acuerdo a los avances tecnológicos en el área de salud; en el caso de infraestructura de educación: distribución inadecuada de mobiliario fijo y movable, mala utilización de espacios para resguardo de bienes y materiales educativos que interfieren en la libre locomoción de los alumnos y docentes.

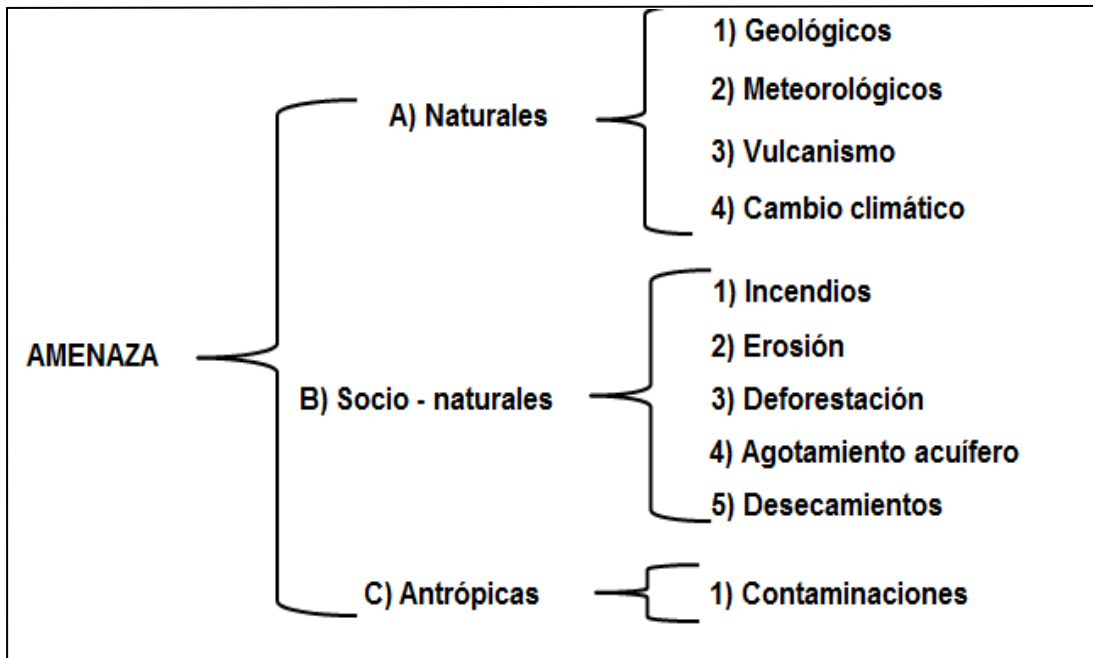
Los sitios de construcción no proveen un adecuado desarrollo de rutas de evacuación masiva al momento de ocurrencia de un desastre; el entorno se satura de comercios relacionados con la actividad que desarrolla la infraestructura (hospitales, albergues, escuelas, clínicas de tratamiento ambulatorio, estaciones de bomberos, estaciones y subestaciones policiales, aeropuertos, terminales de autobuses; etc.). En infraestructura de transporte, algunos sitios de construcción de puentes no permiten contar con rutas alternas que permitan el tránsito de vehículos en forma general al momento de la interrupción del paso sobre esas estructuras.

2.3.3. Vulnerabilidad de la infraestructura de obra pública en Guatemala

En la República de Guatemala, la SEGEPLAN ha definido una estrategia para la evaluación del riesgo en obra pública catalogada como capital fijo; es decir, infraestructura que luego de ser construida pasa a constituir un bien inmueble público del Estado.

A partir del 2013 se debe incluir dentro de la planeación de este tipo de obras el análisis de riesgo, por lo tanto, es imprescindible dentro de la etapa planeadora, la identificación de amenazas y vulnerabilidades, de acuerdo al criterio de SEGEPLAN. Esta entidad ha puesto en disponibilidad en su sitio web la política denominada “Análisis de gestión del riesgo en proyectos de inversión pública, AGRIP 2013”, donde se explica con detalle el criterio institucional y se proveen las matrices que cumplen con ese criterio. A continuación se muestra un esquema general del criterio del ente gubernamental al respecto.

Figura 10. **Amenazas para infraestructura crítica pública de capital fijo**

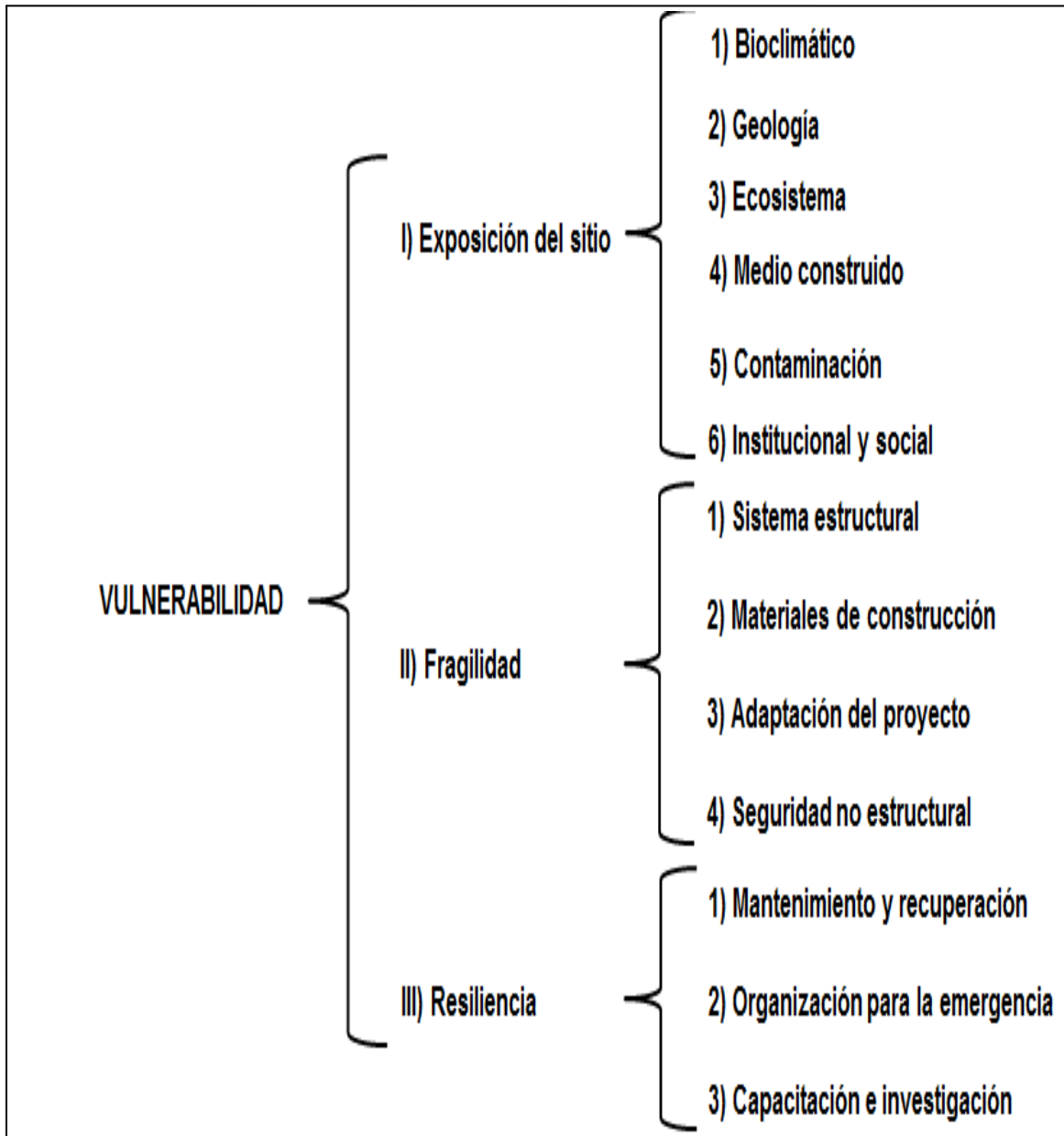


Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, las amenazas han sido clasificadas en tres grandes rubros:

- Naturales: sus cuatro componentes están ligados intrínsecamente con la aplicación de ingeniería civil.
- Socioculturales: cuyos componentes dos y cuatro son objeto de estudio de ingeniería civil.
- Antrópicas: desde luego, las contaminaciones también pueden ser provocadas por la ejecución de proyectos de ingeniería civil; este componente puede identificarse con el estudio de impacto ambiental de los proyectos.

Figura 11. **Vulnerabilidades para infraestructura crítica pública de capital fijo**



Fuente: elaboración propia.

Las vulnerabilidades han sido identificadas y clasificadas en tres grandes rubros, y cada rubro en diversos componentes; I) exposición del sitio, cuyos componentes del uno al cinco están relacionados con la ingeniería civil en diversas especialidades; es decir, se debe contar con un equipo de profesionales de la ingeniería civil con orientación especializada por componente; II) fragilidad, todos los componentes relacionados con la ingeniería civil y especialmente con especialización en análisis y diseño estructural; y, III) resiliencia, su componente número uno con estrecha vinculación con la ingeniería civil.

Para el sector público, el análisis de gestión de riesgo en proyectos de inversión pública (AGRIP), se basa en tres pasos fundamentales y que han sido definidos de la siguiente manera:

Paso número 1: análisis de amenazas

Paso número 2: análisis de vulnerabilidad

Paso número 3: definición de medidas de reducción del riesgo

Dentro de esos pasos se define el diagnóstico de la prefactibilidad para el desarrollo de un proyecto en su etapa planeadora, si es positivo el resultado se procede entonces a la formulación del proyecto y, finalmente a su evaluación de factibilidad; si el resultado es positivo, entonces se procede a la ejecución del proyecto.

Es tarea fundamental la revisión de documentos que permitan aportar un criterio profesional bien fundado en cada etapa de ingeniería civil dentro de la planeación de un proyecto.

Existen dentro de las instituciones técnicas del Estado, documentos de consulta que aportan el criterio planeador a los equipos de investigación; en forma general se pueden mencionar los siguientes:

- Atlas nacional de riesgo; este se puede consultar en SEGEPLAN.
- Mapas de amenaza sísmica, volcánica, deslizamiento, inundación, flujos de lava y otros; estos se pueden consultar en SE CONRED y SEGEPLAN.
- Planes de ordenamiento territorial, estudios de microzonificación; estos pueden ser consultados en SEGEPLAN o en el IGN.
- Inventarios de desastres: estos se pueden consultar en SECONRED e INSIVUMEH.

2.4. Identificación de amenazas para el catálogo de obras críticas o esenciales

Para la infraestructura física identificada como crítica o esencial; desde el punto de vista y criterio técnico de ingeniería civil, se puede determinar que existen amenazas que generan vulnerabilidades y riesgos; en forma general, se puede indicar que, la infraestructura física civil, está expuesta a las siguientes amenazas:

2.4.1. Amenazas naturales

Las amenazas naturales para la infraestructura crítica en la República de Guatemala, se pueden identificar de forma general en la siguiente clasificación:

- Actividad sísmica: dependiendo de la ubicación y localización del sitio de construcción, el proyecto esta afecto a experimentar movimientos sísmicos; la República de Guatemala está dividida en 4 zonas sísmicas.
- Velocidad del viento: dependiendo de la ubicación y localización del sitio de construcción, y de la altura de su estructura; el proyecto esta afecto a experimentar fuerzas laterales de viento. En evento extraordinario cuando ocurre el paso de un huracán.
- Inundaciones: dependiendo de la ubicación y localización del sitio de construcción, el proyecto puede estar afecto a experimentar inundación por desbordamiento de ríos o lagos; por taponamientos de estructuras de alcantarillados municipales generales, o por obstrucciones al flujo de escorrentía superficial provocado por derrumbe o deslaves en el área de influencia del proyecto.
- Derrumbes y deslaves: si el sitio de construcción está cercano a laderas pronunciadas sin protección contra deslizamientos o derrumbes.
- Lluvia: cuando se experimenta la ocurrencia de tormentas tropicales o huracanes; cuando la precipitación es excesiva y provoca daños al sitio de construcción y a la propia estructura del proyecto.
- Vulcanismo: cuando el sitio de construcción se encuentra dentro del rango de afectación de actividad volcánica; es decir, vulnerable a la exposición de lava y cenizas volcánicas.

2.4.2. Amenazas no naturales

Las amenazas no naturales para la infraestructura crítica en la República de Guatemala, se pueden identificar de forma general en la siguiente clasificación:

- Acciones perniciosas provocadas al proyecto. Incendios provocados dentro y fuera del proyecto, atentados con explosivos, daño a equipo de emergencia, tratamiento inadecuado de desechos producidos por el proyecto, mala utilización de los recursos del proyecto que provoquen mal funcionamiento.
- Diseño arquitectónico y estructural no apropiado: este tiene como consecuencia un diseño estructural igualmente inapropiado; no observación de regulaciones para el diseño estructural sísmoresistente de la estructura
- Mantenimiento inadecuado de la infraestructura: falta de un programa de mantenimiento adecuado a los componentes vulnerables de la infraestructura; sistemas de energía eléctrica, instalaciones especiales, sistemas de saneamiento, y, sistemas de seguridad y alerta.
- Crecimiento desordenado: en el proyecto o sus alrededores dentro de su área de influencia; esto amenaza el buen funcionamiento del proyecto.

2.5. Determinación de la metodología para la reducción de vulnerabilidades con aplicación de ingeniería civil en el planeamiento territorial

Para obtener o provocar una reducción de las vulnerabilidades en los proyectos de infraestructura crítica, se debe aplicar criterios bien fundados y

formados de ingeniería civil en general durante el proceso de planeamiento individual por proyecto y en forma regional; es decir, planificar por micro-zonas y por macrozonas; el crecimiento desordenado provoca amenazas que incrementan las vulnerabilidades en los proyectos, por lo tanto, es imprescindible encontrar la forma adecuada para su reducción.

Para lograr el objetivo de reducir o abatir las vulnerabilidades en los proyectos, es primordial conocer las amenazas hacia los mismos; en ese sentido, entonces será necesario definir un método de trabajo para poder efectuar un análisis prudente y con la calidad profesional requerida.

El método o metodología para alcanzar el objetivo, tendrá necesariamente contar con los niveles mínimos de análisis; en consecuencia, se puede determinar que la metodología mínima a cumplir será en tres etapas durante la planeación de los proyectos, y esas etapas son las siguientes:

- Diagnóstico: esta es la primera fase del método para la reducción de vulnerabilidades; en ella se identifican todas las amenazas a que estará expuesto el proyecto, en el caso de infraestructura nueva; en el caso de infraestructura existente y que será objeto de remodelación, ampliación, reducción, o cualquier combinación que altere su estado físico actual, el trabajo a desarrollar es el mismo, aunque con algunas complicaciones, dado que, con certeza se debe conocer las amenazas y vulnerabilidades que han afectado a la obra en funcionamiento.

En el caso de obra pública, se deberá utilizar el cuadro número 1 desarrollado por SEGEPLAN dentro de su política de gestión de riesgos, en particular con la utilización de esta herramienta se cumple y completa la fase de diagnóstico.

En forma general, en esta etapa se deberá compilar toda la información necesaria para arribar a un diagnóstico veraz y efectivo; tiene suma importancia la visita técnica de inspección ocular al sitio de construcción, con el propósito de conocer las condiciones reales del sitio y de su entorno.

- **Formulación:** inmediatamente luego de obtener el diagnóstico correspondiente, se efectuará el trabajo de gabinete que consiste en la formulación del proyecto, lo que regularmente se conoce como ingeniería de detalle; en esta etapa se aplica y conjuga todos los conocimientos técnicos para la correcta utilización de los materiales locales, las condiciones físicas del sitio de construcción y su entorno; con el propósito de obtener un proyecto viable técnicamente. Es importante desarrollar al menos tres escenarios o propuestas de proyecto, con el propósito que los entes tomadores de decisiones finales tengan una posición cómoda para tomar la decisión más acertada; esto debido a que, regularmente los decidores finales no son técnicos.

En esta etapa se abaten las vulnerabilidades estructurales y no estructurales del proyecto propuesto, y se fortalece para que pueda soportar la ocurrencia de las amenazas naturales y no naturales; es decir, se gestionan los riesgos identificados y se proyecta una obra de calidad técnica y funcional, que redunde en una factibilidad financiera y económica, y se proyecta la vida útil del proyecto; se agrega el plan de mantenimiento y conservación.

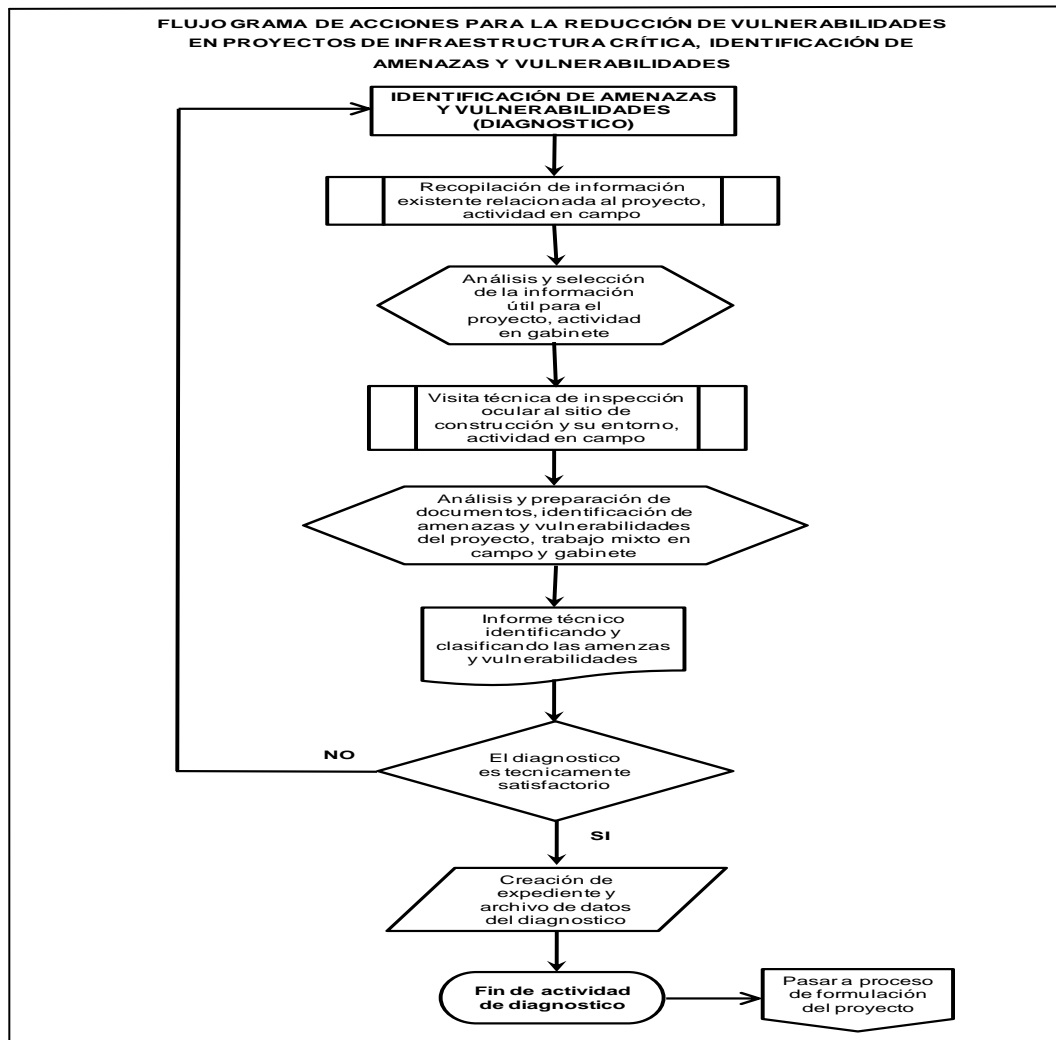
- **Evaluación:** esta etapa consiste en que, un equipo multidisciplinario evalúe las condiciones técnicas, financieras, económicas, ambientales, sociales y políticas del proyecto propuesto; de esta evaluación se espera

obtener los parámetros necesarios que sirven para la toma de decisión final para la ejecución del proyecto o, en caso contrario para solicitar reformas que lo hagan factible. Se debe considerar que, desde el criterio técnico, la evaluación técnica debe ser preponderante o dominante dentro de la evaluación, y si su condición abate al máximo las amenazas y vulnerabilidades, no debe ser modificado su diseño y su estructura.

Para determinar el diseño de un método de trabajo, será necesario contar con un flujograma de actividades, que guie a los profesionales de ingeniería y otros durante el proceso, de tal manera que, el proceso de ejecución del método tenga características estandarizadas; aunque la estandarización no significa que los eventos o procesos sean automáticos; por el contrario, la aplicación del método requiere de personas con suficiente capacidad técnica con criterios bien fundados para discernir entre amenaza y vulnerabilidad, dado que, de sus apreciaciones y determinaciones depende el éxito de la reducción de vulnerabilidades; es decir, el método no debe ser aplicado como una receta estándar, si no, aplicado con criterio propio de acuerdo a las condiciones y naturaleza del proyecto.

Con ese propósito se muestran las figuras que muestran por etapa, los flujogramas que definen los pasos lógicos para aplicar la ingeniería civil dentro del método para lograr la reducción de vulnerabilidades en obras de infraestructura crítica en términos generales.

Figura 12. Flujograma para actividad de diagnóstico



Fuente: elaboración propia.

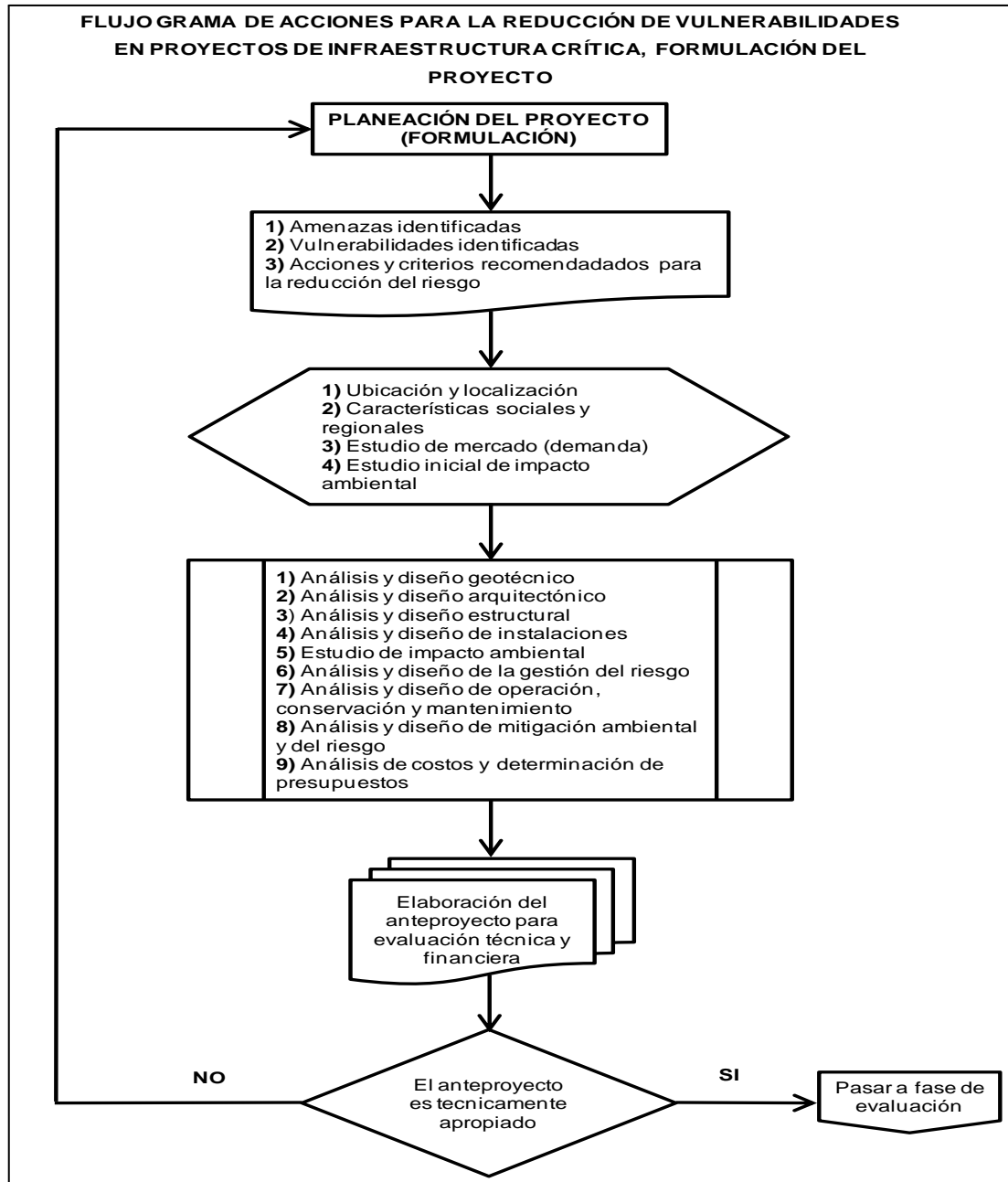
Como puede observarse en el diagrama anterior, el equipo multidisciplinario deberá realizar todas las actividades necesarias para arribar en forma correcta la identificación de las amenazas y vulnerabilidades existentes previas a la formulación del proyecto; con el propósito de reducir al máximo el peligro de ocurrencia cuando el proyecto se haya ejecutado.

En el método propuesto, no necesariamente debe existir una matriz estandarizada para el ingreso de información, tal como sucede con la obra pública, donde SEGEPLAN ha instituido matrices o formularios para registrar la información obtenida en la fase de diagnóstico; esto debido a que, los proyectos no son estandarizados, y por lo tanto, en su concepción técnica se aplican criterios de diseño de acuerdo a sus exigencias de servicio; es decir, se debe aplicar un tratamiento personalizado a cada proyecto, aún cuando sea similar a otros proyectos.

En la etapa de diagnóstico se debe centrar esfuerzos en la actividad de reconocimiento del sitio de construcción y su entorno; aplicando los criterios más conservadores posibles, con el propósito de identificar y considerar las más mínimas condiciones que puedan crear amenazas hacia el proyecto; en el estudio del entorno del sitio de construcción, se deberá considerar y proyectar con mucho criterio, los cambios que puede sufrir durante la vida útil del proyecto a formular; es decir, se debe considerar los cambios que puedan surgir con la ejecución y puesta en funcionamiento del proyecto.

Al tener la información se debe elaborar el documento técnico respectivo para archivarlo en más de una institución, esto con el propósito de agregar información que puede ser útil para el planeamiento microregional para el desarrollo del área de influencia del proyecto.

Figura 13. Flujograma acciones para la formulación del proyecto



Fuente: elaboración propia.

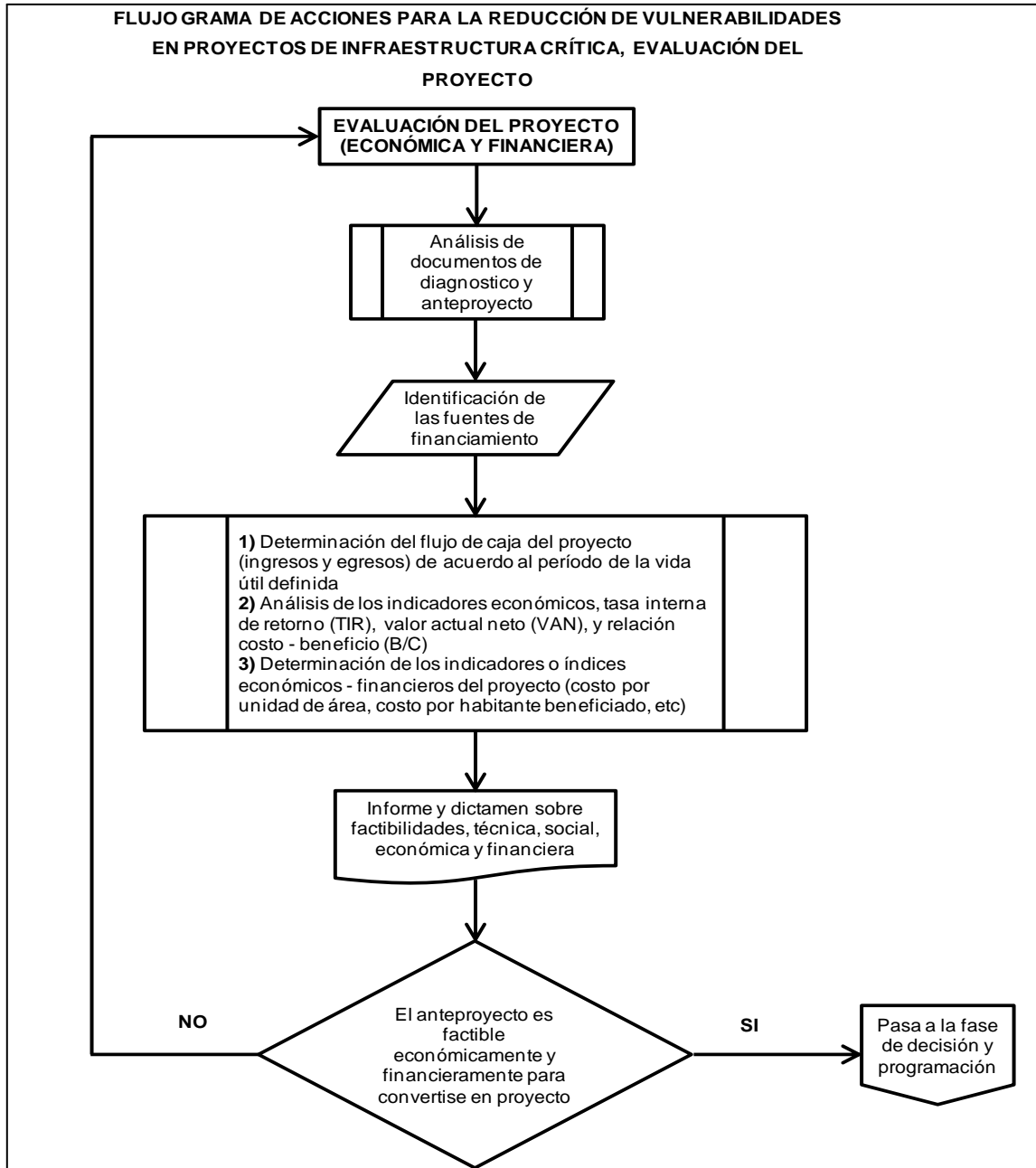
Con el documento técnico elaborado donde se identificaron las amenazas, las vulnerabilidades y las acciones recomendadas para la mitigación de ambas, y la definición de las acciones necesarias para la reducción del riesgo; se procede a la fase de análisis y diseños diversos propios del proyecto; en la figura anterior se muestra en forma general el flujograma de acciones para la formulación de un proyecto.

Se puede dar el caso que el anteproyecto puede llegar a determinarse como inapropiado, o bien se determina que no es factible técnicamente; y si sucede este caso, se debe declarar o recomendar no ejecutable; es decir, descartarlo desde el criterio técnico. Y si se hace una revisión y cambios en los diseños y se logra un proyecto aceptable, entonces podrá pasar a la fase de evaluación.

En el proceso de análisis y diseño de los diferentes componentes del proyecto, se consideran las posibles amenazas y vulnerabilidades que se agrega al proyecto específicamente en la fase de diseño, ya sea este arquitectónico, estructural, funcionamiento, conservación y mantenimiento; de esa cuenta, es necesario e imprescindible realizar el análisis de la gestión del riesgo; es decir, en la etapa de formulación se consideran las amenazas y vulnerabilidades existentes y las que se agregan; en ambos escenarios, se debe determinar las acciones propias la mitigación y disminución de todas las amenazas y vulnerabilidades.

Cuando se tienen definidas las acciones para la gestión de riesgo, entonces se procede a la integración documental del anteproyecto, con el objeto de ser evaluado económica y financieramente; es decir, primero se llega a la mejor decisión técnica y posteriormente se evalúa su factibilidad económica y financiera.

Figura 14. **Flujograma de acciones para evaluación del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

Cuando el proyecto o anteproyecto está finalizado, se procede a la fase de evaluación económica y financiera; en esta fase ya se cuenta con toda la información requerida para llegar a la evaluación; sin embargo, se deberá determinar el flujo de caja del proyecto; es decir, todos los ingresos y egresos durante el período de duración de la vida útil, que regularmente son entre 20 y 30 años.

Con los resultados obtenidos, de ser el caso de haber determinado que el proyecto es factible, entonces se traslada para que se decida en qué fecha se procederá a la ejecución del mismo; en caso contrario, se deberá revisar todo el anteproyecto para lograr realizar los ajustes pertinentes para llegar a obtener la factibilidad.

2.5.1. Criterios generales a aplicar en obras de infraestructura crítica

Como una muestra de cómo seguir las directrices del método, a continuación se menciona en forma general los pasos para una buena aplicación del método.

En la etapa de diagnóstico se deberá considerar para la infraestructura crítica, los siguientes criterios que resultan ser fundamentales:

- Localización de la obra
- Aspectos estructurales y no estructurales
- Aspectos funcionales

Los criterios generales para la construcción de infraestructura crítica ante las amenazas sísmicas, se reducen a las siguientes:

La localización de la obra es muy importante estudiarla con precisión, pues de esta manera se puede reducir el riesgo de que la infraestructura sufra daños provocados por un desastre de carácter sísmico.

Es necesario obtener mapas de amenaza sísmica que permita determinar con un bajo margen de error con respecto a la ubicación y el grado de amenaza que pueda existir; se deben considerar para la elaboración de los mapas de amenaza sísmica los siguientes factores:

- Fallas sísmicas
- Mecánica y dinámica de los suelos
- Recurrencia de los sismos
- Magnitud de los sismos

En la República de Guatemala, la amenaza sísmica es la que forzosamente se debe enfrentar cualquier obra, no importando su grado de importancia; debido a que el país está localizado dentro de un área de gran actividad sísmica, por lo tanto, la infraestructura debe ser localizada en zonas y lugares lejos de las fallas sísmicas, en lo posible y de esta manera reducir el riesgo de desastres ante terremotos sin dejar por un lado las condiciones que presenta el suelo, y combinar los factores que reducen el riesgo de manera considerable.

En la vulnerabilidad estructural, su grado es directamente proporcional al daño potencial que pueden sufrir los elementos estructurales de una construcción. Se consideran particularmente los cimientos, paredes, columnas, gradas, pisos techos y otro tipo de elementos estructuras por los cuales está compuesto el edificio.

El grado de vulnerabilidad de estos componentes depende de los siguientes factores:

- La calidad y complejidad del diseño estructural
- La calidad de los materiales de la construcción
- El mantenimiento que recibe la construcción
- La forma estructural y arquitectónica del edificio

Las obras catalogadas como críticas deben ser sismo-resistentes, es decir, la estructura soportara el sismo de gran magnitud sin caerse; en el caso de la infraestructura de salud, estos son proyectos atípicos, importantes y muy complejos, en los cuales se debe ejecutar una inversión monetaria considerablemente alta. Por lo que, aunque el costo sea elevado para una construcción sismoresistente, este tipo de construcción nos asegure que la inversión no se perderá y seguirá en servicio inmediatamente después de suceder el siniestro.

Los muros de cortante son paredes de concreto en el diseño para la estructura, este provee rigidez lateral y fuerzas en las cargas laterales. Existen dos tipos de cortante, el primero en el cual el muro transmite las cargas de

gravedad, y otro en el cual las columnas son las que cargan la gravedad del edificio.

Los marcos arriostrados, que disminuyen la vulnerabilidad sísmica; consisten en una estructura unida con una columna de acero y vigas, estas resisten las fuerzas laterales por los aceros diagonales puestos en vigas seleccionadas bajo el diseño estructural. Mientras que, la otra vulnerabilidad estructural, se remedia utilizando el sistema de muros de cortante confinado de acero; que es una estructura completa colocada en vigas y columnas de acero.

Para lograr una cimentación sismoresistente, se recomienda la utilización de un sistema aislado, con el objeto de que la estructura se mueva en conjunto con el suelo y de esta manera evitar daños en la estructura.

La vulnerabilidad no estructural se refiere a todos los elementos que no tienen funciones estructurales, son aspectos internos que permiten la funcionalidad de una obra, también se consideran en esta clasificación los componentes arquitectónicos.

Los elementos arquitectónicos deben ser instalados de tal manera que no se produzca interacción entre estos y la estructura resistente; se debe seleccionar los elementos de tal manera que resista las deformaciones que la estructura resistente impone; tener apoyos laterales y anclajes para que el elemento tenga estabilidad; los cielos falsos deben estar debidamente arriostrados.

El mobiliario y equipo pesado debe estar debidamente anclado al piso para evitar que este cause daños a las instalaciones y a las personas que se encuentren cerca del equipo, al momento de ocurrencia de un sismo.

En el caso de las instalaciones, para evitar que sufran daños es necesario prestar atención en los apoyos, empalmes, arrastramientos, refuerzos en los puntos de unión; puntos que resultan ser importantes al momento de la ocurrencia de un sismo; el tanque de almacenamiento de agua debe instalarse en alto y tener la capacidad de suministrar por lo menos 60 litros de agua al día por habitante; para el almacenamiento subterráneo de agua, no debe estar a ras del suelo para evitar la contaminación por agentes externos. Los tanques de los gases deben ser identificados apropiadamente con rotulación que sea clara y visualizada desde distancias prudentes.

Los criterios generales para la construcción de infraestructura crítica para disminuir la amenaza provocada por vientos, de igual manera que en los criterios para amenaza sísmica, son importantes, dado que, regularmente se combinan al momento de ocurrencia de un desastre.

La localización de estas obras, en el caso de la vulnerabilidad ante amenazas por vientos, se debe de considerar lo siguiente:

- Condiciones meteorológicas.
- La velocidad máxima del viento.
- Antecedentes históricos.
- Es importante no ubicar estas obras en la mitad de una montaña.
- La carretera de acceso a la infraestructura debe estar libre de carteles, árboles y postes grandes.

Los aspectos estructurales ante amenazas por vientos, debe determinarse por medio del análisis la resistencia estructural ante la carga por viento.

En el caso que el edificio tenga una preingeniería aplicada a la especialidad con la utilización de metal, se debe tomar consideraciones que aseguren que la estructura tenga mayor superfluidad que otros edificios, debe tener la certeza que la estructura no será vulnerable a un colapso progresivo, derivado de la acción de fuerzas de viento.

Las paredes exteriores de concreto armado o mampostería pueden ser diseñadas para tener suficiente fuerza para soportar cargas internas y externas, analizando los vientos.

Es recomendable tener estructuras similares a las diseñadas para resistencia sísmica tal como elementos de borde, marcos arriostrados, muros de cortante confinados de acero.

Los aspectos no estructurales ante la amenaza por vientos, son aquellos que pueden llegar a interactuar y provocar daños a las edificaciones, por lo que, será necesario establecer un diseño apropiado para su disposición dentro de la edificación.

Los ductos de aire no deben ser instalados en los techos, pero los condensadores de aire acondicionado deben tener instalaciones especiales en el techo.

En los elementos arquitectónicos tales como cubiertas de techos, se debe utilizar concreto reforzado con un espesor de 4 pulgadas como mínimo; es decir, techos constituidos por losas de concreto armado.

Las estructuras de las puertas deben ser suficientemente fuertes para soportar las fuerzas de viento, ya sea positivas o negativas, es necesario ensayar las puertas y su estructura con cargas de viento.

Las ventanas deben ser fuertes para soportar cargas positivas y negativas de viento, de preferencia se debe colocar en las ventanas vidrio que al romperse su ruptura empiece desde el centro hacia las orillas para que el vidrio sea cortado en pedazos uniformes; esto se logra, al utilizar vidrios fabricados con refuerzo especial contra la ruptura causado por impacto; ayudando a que, cuando ocurra rompimiento, no existan esquirlas de vidrio que pongan en peligro a los usuarios de las instalaciones.

Los criterios generales para la construcción de infraestructura crítica para la construcción, considerando las amenazas por inundación, están asociados con los criterios utilizados contra las amenazas sísmicas y contra viento; de esa cuenta, la localización es un factor preponderante.

El área de inundación es el factor más importante, ya que esta área es la que indica hasta donde puede inundarse un establecimiento, para determinar esta área se requiere información histórica y técnica combinada con estadística para determinar probabilidades de repetición de inundaciones históricas.

Es necesario obtener esta información para el diseño de infraestructura crítica, aunque, por criterios básicos este tipo de infraestructura no debe estar construido cerca de los cauces de los ríos para evitar riesgos, no solo para la infraestructura y sus usuarios, sino también, para los pobladores cercanos por la existencia de los desechos que las instalaciones producen, y que al momento de sufrir inundación, puede provocar contaminación crítica a los afluentes de agua.

Es necesario recalcar que los mapas de inundaciones son solo un estimado, por lo tanto no es información suficiente y absoluta. Para la construcción de este tipo de obras, es necesario investigar con la población cual es la máxima crecida histórica y también tomar en cuenta los factores que por causas intrínsecas puedan aumentar el riesgo de inundación tales como la tala de bosques, y el no dragado de los ríos, entre otros.

Dentro de los aspectos estructurales ante amenazas por inundación se debe determinar el nivel real posible de inundación; para determinar a su vez el diseño de elevación; entonces es necesario manejar un margen mayor al de la inundación para reducir la probabilidad de riesgo ante este fenómeno.

Dentro de los aspectos no estructurales ante amenaza por inundación; se considera el caso que exista área propensa a inundación, entonces debe existir un sistema de drenaje especial.

Los sistemas sanitarios deben ser diseñados de tal manera que se pueda minimizar o eliminar el riesgo de infiltración de agua por inundación en los sistemas.

Las instalaciones eléctricas, de agua y especiales deben estar salvaguardadas del agua en casos de inundación, evitando así, el contacto del agua con los ductos de esas instalaciones, que deriva en minimizar los riesgos contra incendios por cortocircuitos o explosiones de gases.

En las zonas de alto riesgo de inundación se deben colocar pisos resistentes al agua pero que no sean resbalosos, es necesario utilizar una resina epóxica u otro tipo de pintura impermeable para evitar la contaminación.

2.6. Tipos de desastres

Los desastres se clasifican en dos categorías: los naturales y los no naturales o provocados.

2.6.1. Desastres naturales

Los desastres naturales son los que suceden por eventos naturales; hacen referencia a pérdidas materiales y humanas durante y después de la ocurrencia de un evento catastrófico; tales como: terremotos, inundaciones causadas por desborde de ríos, tormentas tropicales, huracanes, y otros.

Para calificar como desastre a un acontecimiento, es necesario el auxilio de una escala de calificación, de acuerdo al daño que provoca; por ejemplo, para eventos sísmicos existen las escalas de Richter y de Mercalli.

Los efectos de un desastre natural pueden amplificarse debido a planificaciones débiles; esto sucede regularmente en asentamientos humanos; la falta de medidas de seguridad, planes de emergencia y sistemas de alerta provoca que los daños ocasionados por un desastre natural, resulten catastróficos.

Cuando existe actividad humana en áreas con alta probabilidad de desastres naturales, se convierten en zonas de alto riesgo, sin instrumentación, ni medidas apropiadas para responder al desastre natural o reducir sus efectos negativos, se conocen como zonas de alta vulnerabilidad.

Los desastres naturales más recurrentes y conocidos en el entorno nacional, entre otros son:

- Ola de calor: es un desastre caracterizado por alta temperatura extrema e inusual en el lugar donde sucede. Las olas de calor son extrañas y necesitan combinaciones especiales de fenómenos atmosféricos para tener lugar, y puede incluir inversiones de vientos catabáticos (cuando el aire se enfría y baja, se le conoce como aire de montaña), y otros fenómenos.
- Deslizamiento de tierra o alud: un deslizamiento de tierra es un desastre estrechamente relacionado con las avalanchas, pero en vez de arrastrar nieve, llevan tierra, rocas, árboles, fragmentos de casas, etc. Los deslizamientos de tierra pueden ser provocados por terremotos, erupciones volcánicas o inestabilidad en la zona circundante. Los deslizamientos de barro o lodo son un tipo especial de corrimientos cuyo causante es el agua que penetra en el terreno por lluvias fuertes, modificando el terreno y provocando el deslizamiento. Los deslizamientos de tierra suceden después de terremotos, tsunamis, o lluvias de larga duración.
- La enfermedad: se convierte en desastre cuando el agente infeccioso adquiere una difusión a nivel de epidemia o pandemia. La enfermedad es el más peligroso de todos los desastres naturales. Entre las diferentes epidemias que ha sufrido la humanidad están la peste negra, la viruela y el sida. La gripe española de 1918 fue terrible, matando de 25 a 40 millones de personas. La peste negra, ocurrida en el siglo XIV, mató alrededor de 20 millones de personas, un tercio de la población europea. Este desastre se combina con la existencia de suficiente infraestructura de salud, y de albergues suficientes para cubrir zonas declaradas en cuarentena.

- Erupción volcánica son aberturas o grietas en la corteza terrestre a través de la cual se puede producir la salida de lava y gases, o pueden explotar arrojando al aire grandes bloques de tierra y rocas. Este desastre natural es producido por la erupción de un volcán, y éstas puede darse de diferentes formas. Desde pequeñas erupciones diarias, o las extremadamente infrecuentes erupciones de súper volcanes.
- Frente frío: se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas de truenos, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve antes del paso del frente frío, acompañadas de condiciones secas a medida de que el frente avanza. Dependiendo de la época del año y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden venir en una sucesión de 5 a 7 días. En mapas de tiempo, estos están marcados con el símbolo de una línea azul de triángulos que señalan la dirección de su movimiento.
- Tormenta de granizo: es un desastre natural donde la tormenta produce grandes cantidades de granizo que dañan la zona donde caen. Las tormentas de granizo son especialmente devastadoras en granjas y campos de cultivo, matando ganado, arruinando cosechas y dañando equipos sensibles.
- Hambruna: es una situación que se da cuando un país o zona geográfica no posee suficientes alimentos y recursos para proveer alimentos a la población, elevando la tasa de mortalidad debido al hambre y a la desnutrición. Este desastre está ligado a la infraestructura de salud, de producción y almacenamiento de alimentos.

- Hundimientos: un hundimiento de tierra es una depresión localizada en la superficie terrestre producida por el derrumbe de alguna estructura interna, como una cueva. Suceden sin previo aviso y afectan a los edificios situados encima y/o colindantes al área de hundimiento. En algunos casos no se sabe que tan profundos son y que hay en el fondo.
- Incendio forestal es un desastre natural que destruye prados y bosques, causando grandes pérdidas en vida salvaje (animal y vegetal) y en ocasiones vidas humanas. Suelen producirse por el efecto de un relámpago, negligencia, o incluso provocados y queman miles de hectáreas.
- Inundación: es un desastre natural causado por la acumulación de lluvias y agua en un lugar concreto. Puede producirse por lluvia continua, una fusión rápida de grandes cantidades de hielo, o ríos que reciben un exceso de precipitación y se desbordan, y en menos ocasiones por la destrucción de una presa.
- Terremoto: se da en las placas tectónicas de la corteza terrestre. En la superficie, se manifiesta por un movimiento o sacudida del suelo, y puede dañar enormemente las estructuras mal construidas. Los terremotos más poderosos pueden destruir hasta las construcciones mejor diseñadas. Además, pueden provocar desastres secundarios como erupciones volcánicas o tsunamis.
- Tormenta: una tormenta es un ejemplo de tiempo extremo caracterizado por la presencia de rayos, abundante lluvia, fuertes vientos, granizo y en ocasiones nieve y tornados.

- Tsunami: un tsunami o maremoto es una ola gigante de agua que alcanza la orilla con una altura superior a 15 metros. Proviene de las palabras japonesas puerto y ola. Los tsunamis pueden ser causados por terremotos submarinos.
- Cambio climático: el cambio en las condiciones climáticas en el planeta, provoca desastres insospechados, y con mayor frecuencia sus resultados son cada vez más catastróficos; principalmente por la combinación de fenómenos que actúan sobre una región determinada; sus consecuencias resultan ser graves.

2.6.2. Desastres provocados

Los desastres que ocurren de manera provocada, regularmente son consecuencia de la intervención del ser humano y su desarrollo; entre los más significativos se puede mencionar los siguientes:

- Desastre industrial o tecnológico: ocurre cuando existen fallas en los sistemas industriales, la provocación de accidentes, se derraman sustancias químicas tóxicas, incendios, explosiones, fuga de radiación, etc.
- Transporte: la contaminación audiovisual y del aire por la expulsión de CO₂ que provoca polución en el ambiente, dañando instalaciones especiales de las edificaciones cercanas a las vías urbanas y rutas vehiculares.

- Deforestación: la tala inmoderada de vegetación que influye en la calidad del aire, el cambio del uso del suelo; provocando erosión, deslizamientos y otros fenómenos asociados.
- Escasez de materiales: el agotamiento de bancos de materiales para la fabricación de materia prima para construcciones, dejando dañadas las áreas de explotación o extracción; provocando desecamiento de fuentes de agua.
- Emergencias complejas: la ocurrencia de guerras, acciones violentas en contra de personas o infraestructura; vandalismo.

En términos generales, las principales causas de origen humano de la contaminación son: la industrialización, la sobrepoblación, la deforestación, la explotación de canteras y la minería, el uso de fertilizantes y pesticidas, la circulación de vehículos automotores a combustión con derivados del petróleo.

2.7. Utilización general del método en obras de infraestructura crítica

Para la utilización del método para la búsqueda de soluciones que deriven en el abatimiento de las vulnerabilidades en infraestructura crítica, se propone observar las siguientes actividades.

2.7.1. Diagnóstico, identificación de amenazas y vulnerabilidades

En esta etapa, como se muestra en la figura número 8, flujograma para la actividad del diagnóstico; es importante que se realice por un equipo humano

de profesionales con diversas especialidades; es decir, un equipo profesional multidisciplinario.

La actividad inicia con la recopilación de información de carácter técnico de ingeniería; con la identificación de los códigos nacionales existentes para aplicarlos en el cálculo y diseño de la infraestructura; información estadística sobre condiciones climáticas del sitio de construcción, la regionalización de la zona sísmica a que pertenece; si la información nacional referente a los códigos de cálculo, diseño y construcción se consideran no suficientes, entonces agregar a la biblioteca a consultar los códigos de otros países que presenten información que puede ser aplicada al sitio de construcción. En esta actividad se debe designar a una persona con el criterio suficiente para que construya un archivo ordenado de forma lógica, y que prepare de manera ejecutiva (resumida) un resumen con los detalles importantes de cada información que debe ser aplicada al sitio de construcción, debido a que, esa información resumida debe ser trasladada al campo cuando se realice la visita técnica de inspección ocular al sitio de construcción.

Cuando se tiene clasificada la información técnica pertinente; zona sísmica, características regionales de geología, clima, cuenca a la que pertenece el sitio de construcción, datos estadísticos de ocurrencia de fenómenos hidrológicos, meteorológicos, vulcanismo, sísmicos, y otros que se manifiestan en el lugar y sus alrededores o área de influencia del proyecto en estudio; el equipo multidisciplinario se debe trasladar al lugar del sitio de construcción.

Es recomendable que la visita de inspección técnica ocular sea realizada por los profesionales diseñadores y calculistas de todas las etapas del proyecto; incluso, se recomienda que en la actividad participe el personal que tendrá a

cargo el desarrollo de la ingeniería de detalle (elaboración de planos y detalles de construcción, analista de costos y presupuestos), para que se formen un criterio personalizado de las condiciones a que se enfrentará el proyecto.

En esta visita preliminar, se deberá definir la orientación del sitio de construcción respecto de la acción del viento, la forma geométrica del predio, se definirán las condiciones y metas a alcanzar durante la medición topográfica; se dejará definidos los puntos de referencia importantes del entorno del proyecto que puede beneficiar o provocar problemas durante el desarrollo del mismo; es decir, identificar fuentes de materiales a utilizar, la clasificación de la mano de obra local que puede intervenir en la ejecución del proyecto, los cambios en el entorno natural, las posibles fuentes de contaminación que se provocará y las áreas que pueden ser objeto de esa contaminación; se verificará la disponibilidad de fuentes de abastecimiento para los servicios esenciales para que la infraestructura funcione, con eficiencia, a su máxima capacidad; si las condiciones del suelo natural no presentan daños por actividad telúrica, prever las áreas circundantes donde la influencia del proyecto provocará un cambio en la cultura o en el uso de la tierra; y todas las consideraciones que a criterio del equipo multidisciplinario definan como importantes para ser incluidos en el análisis y diseño del proyecto.

Concluida la visita al predio de construcción, el equipo multidisciplinario debe elaborar un informe pormenorizado sobre los resultados obtenidos en la actividad, preparando un plan de acción para instruir a las brigadas de topografía, geotecnia, hidrología y meteorología que tendrá que verificar con más detalle en el campo las condiciones a que está sometido el sitio de construcción; luego se trasladará al campo para efectuar las mediciones definidas y se recomienda que sean supervisados por un profesional que tenga el criterio mejor desarrollado para la resolución de dudas al equipo de medición.

Con la información obtenida en campo, se trasladará al equipo multidisciplinario para que sea evaluada; el equipo deberá definir e identificar las amenazas y vulnerabilidades, existentes y las que provocará el funcionamiento de la infraestructura; y también deberá concluir cuales son las medidas que se deben considerar para mitigar las amenazas y vulnerabilidades, definiendo las acciones que provoquen esa mitigación.

Cuando el equipo multidisciplinario ha concluido su labor, deberá elaborar un informe pormenorizado (memoria descriptiva) sobre el diagnóstico, concluyendo y recomendando todas las acciones y previsiones pertinentes a considerar en la etapa de formulación del anteproyecto; deberá incluir todos los mapas elaborados para la gestión del riesgo y demás documentos que tendrán importancia relevante en el proceso de cálculo y diseño de la infraestructura; deberá elaborar un informe ejecutivo sobre el pormenorizado y lo trasladará a la instancia correspondiente; en algunos casos, el mismo equipo multidisciplinario es el que formula el anteproyecto, cuando esto ocurre, se dictamina favorable el diagnóstico e inmediatamente pasa a la acción del decidor final sobre la continuación del proceso.

Se recomienda que tanto el equipo multidisciplinario, como las brigadas de técnicos medidores tengan continuidad dentro del proceso, con el propósito de capitalizar el criterio obtenido en la etapa de diagnóstico, que forzosamente se debe incluir en el proceso de formulación.

Es importante que los documentos finales obtenidos en la etapa de diagnóstico sean digitalizados para que su consulta pueda ser más cómoda y la información sea trasladada en todo su contenido a las actividades y lugares de discusión, aprovechando así las bondades de la tecnología actual y sus herramientas.

2.7.2. Formulación de proyecto o anteproyecto

Con los informes pormenorizado y ejecutivo del diagnóstico determinado, el equipo multidisciplinario que tendrá la responsabilidad de formular el proyecto, procederá a la verificación de la actualización de los códigos de diseño y cálculo de la infraestructura del proyecto; con esa información determinará las herramientas que mejor se adapten a la formulación técnica del proyecto; es decir, identificar los paquetes de cómputo (software) y el equipo (hardware) más apropiado para realizar esta tarea.

Si en el proceso surgen dudas razonables sobre la información contenida en el diagnóstico, se recomienda que el equipo multidisciplinario ejecute rondas de debate o discusión técnica sobre los temas donde se presentan las dudas, y para mejor decisión, se considera prudente visitar nuevamente el sitio de construcción para corroborar las condiciones del diagnóstico; verificando si las circunstancias o condiciones del sitio de construcción no han variado ostensiblemente desde el momento o época en que fue elaborado.

Se recomienda que cuando se alcance cada meta descrita en la figura número 9, flujograma de acciones para formulación del proyecto; en las fases de análisis, cálculo y diseño de especialidades; se agoten todos los medios y mecanismos apropiados para su revisión, inclusive, la participación de profesionales ajenos al equipo multidisciplinario que elabora la formulación; con el propósito de obtener una crítica constructiva sobre la aplicación de criterios técnicos utilizados en la formulación.

Cuando se tenga completa la información de cálculo, análisis y diseño; se recomienda efectuar una revisión sobre la gestión de riesgo; con esta acción se debe obtener un listado de las amenazas y vulnerabilidades del proyecto

formulado, comparando con la información obtenida en el diagnóstico; con esta acción se obtiene una comparación que determina si se han agregado o disminuido amenazas y vulnerabilidades al proyecto; luego verificar si las medidas de mitigación de estas son factibles o deben ser diseñadas nuevamente.

Cuando se considere que la información o el anteproyecto es capaz de obtener una calificación o dictamen favorable en el ámbito técnico; se procederá a la evaluación y análisis de costos y determinación de presupuestos (tiempo y dinero) para completar la etapa de formulación.

Cuando se considere pertinente, el equipo multidisciplinario emitirá un informe pormenorizado y ejecutivo de la formulación del proyecto, incluyendo la ingeniería y arquitectura de detalle; se recomienda que la información se presente impresa en papel y en forma digital.

Cuando el decidor final de esta fase considere cumplido el objetivo, deberá proceder a instruir al equipo especializado para que se ejecute el proceso de evaluación del proyecto o anteproyecto, dependiendo de su calificación interna dentro del ente interesado.

2.7.3. Evaluación de anteproyecto o proyecto

Con los informes pormenorizados y ejecutivos del diagnóstico y de formulación, el equipo especializado designado, procederá a efectuar la evaluación correspondiente de todos los componentes de factibilidad. Se entiende que la prefactibilidad y factibilidad, abarca los componentes de un proyecto que son: técnico, económico, ambiental, financiero, legal, social y político.

En la figura número 10, flujograma de acciones para evaluación del proyecto; se muestra las etapas relacionadas a la ingeniería civil de evaluación; donde con la información generada en las etapas anteriores, el equipo evaluador, primero procede a la identificación de las posibles fuentes financieras y la disponibilidad; luego aplicando las herramientas y criterios propios de las ciencias económicas y financieras, se realizan los estudios de los parámetros, cuantificándolos y utilizándolos en las proyecciones de rigor, con el propósito de obtener los índices y valores que son los parámetros recomendados para la toma de la decisión final.

Cuando se completa la fase de evaluación, el equipo responsable emite informe pormenorizado y ejecutivo; donde se concluye y recomiendan las acciones pertinentes, siendo las más importantes, las que se refieren a lo relacionado con el dictamen favorable para la ejecución del proyecto; en esta parte se debe dejar bien establecido, cuales factibilidades tienen una mayor preponderancia para hacer posible la decisión de ejecución del proyecto. Al tener el dictamen favorable, entonces se procede a la aplicación de todos los criterios establecidos dentro de la fase de ejecución física y financiera del proyecto.

Posteriormente, cuando el proyecto esté en funcionamiento, se debe realizar la evaluación conocida como *expost*; obteniendo el rendimiento del servicio y operación del proyecto; identificando si las medidas adoptadas para la reducción de amenazas y vulnerabilidades son funcionales; caso contrario, se deberá evaluar y diseñar las medidas que se consideren necesarias para corregir las deficiencias encontradas en este aspecto.

3. CONSIDERACIONES DE INGENIERIA CIVIL EN EL PLANEAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Es necesario determinar, durante el estudio la factibilidad y la viabilidad del proyecto, cuál es la situación base, es decir, cuál es el tipo de proyecto, que en este caso se refiere a las diferentes infraestructuras críticas.

Luego de determinar la situación o proyecto base se debe considerar el lugar, la afluencia y la capacidad de la infraestructura, dependiendo del periodo de diseño que responde al crecimiento poblacional del área de influencia; y, considerar que este nuevo servicio también será de beneficio para poblaciones aledañas, por lo tanto es necesario tener un actor de seguridad que garantice el funcionamiento correcto sin llevar al diseño a un punto en el que tenga la categoría de sobre diseñado o, en el otro caso, que no se tenga la capacidad deseada para cumplir con sus funciones y preste el servicio de acuerdo a las expectativas generadas y cubiertas dentro de su formulación.

Debido a que Guatemala se encuentra en una zona sísmica activa, es necesario tomar en cuenta que los diseños deben estar constituidos por mampostería reforzada o marcos estructurales dúctiles; y en la actualidad se agrega el compromiso de hacer énfasis en los riesgos de inundación y la ocurrencia de fuerte viento; ya que estos riesgos han aumentado dramáticamente como consecuencia del cambio climático experimentado en la actualidad.

Para obtener un apropiado planeamiento en la ingeniería civil, el planeador de proyectos se obliga a verificar los aspectos económicos, financieros, del cambio climático y de los sistemas de desarrollo del área de influencia donde se pretende desarrollar el proyecto. En consecuencia se debe contar con una matriz de chequeo en la que se pueda considerar factores intrínsecos y extrínsecos al proyecto que puedan ser causa de riesgo y vulnerabilidad, con el propósito de determinar una localización razonable del predio para la construcción de la infraestructura.

Con regularidad, primero se tiene definido el sitio de construcción, y de acuerdo a las restricciones que este presenta, se procede a la planeación de proyecto; en este caso, se torna crítico el diseño de la estructura, ya que se debe cumplir con las expectativas del ente interesado en la ejecución del mismo; partiendo de esas restricciones, los equipos técnicos multidisciplinarios se ven obligados a ejecutar las mejores soluciones posibles.

También es necesario que, de manera conjunta, se lleve a cabo un estudio de impacto ambiental que determinará las obras adicionales en la construcción para evitar la contaminación al medio ambiente en el que se desarrollara el proyecto, cumpliendo con las normas, especificaciones y estatutos requeridos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

En el capítulo anterior se trató de forma general la aplicación de la ingeniería civil en la infraestructura crítica, sin llegar a determinar o mencionar algoritmos matemáticos o de cálculo y diseño estructural, hidrológico o meteorológico; está plenamente demostrado en la práctica que el primer reto que enfrenta el ingeniero civil en el ejercicio de la profesión en el campo de acción, es el sitio de construcción.

En la definición del árbol del problema en el capítulo 1, se mostró que una de las causas de la problemática dentro del planeamiento, es lo inadecuado que resultan ser los sitios de construcción; esta circunstancia determina muchas restricciones, entre las más significativas se puede mencionar que el diseño y evaluación del proyecto responde a las restricciones impuestas por las condiciones físicas del sitio de construcción; esta a su vez, desencadena una serie de debilidades en el planeamiento de la obra, otra restricción es lo que el cliente quiere; luego se enfrenta una restricción en la disponibilidad del financiamiento; esta disponibilidad canaliza presiones adicionales sobre el equipo multidisciplinario encargado de formular el proyecto, ya que, se exige que con esa disponibilidad financiera se arribe a la mejor solución, aunque esta no sea la más recomendable desde el criterio técnico, y de la funcionalidad del proyecto.

Por esas consideraciones, el sitio de construcción representa el más importante componente de una planeación de cualquier tipo de infraestructura, y toma una relevancia que exige una atención especial al momento de planear infraestructura crítica; principalmente porque esta infraestructura debe funcionar a plena capacidad durante y después del suceso catastrófico.

Por lo descrito, entonces se debe considerar especialmente el reconocimiento del sitio de construcción, ya que de esa actividad se obtiene toda la información preponderante para el diagnóstico, formulación, evaluación, construcción, funcionamiento, conservación y mantenimiento de la infraestructura. Como principal producto técnico, se obtienen los parámetros de las herramientas que se deberán utilizar, entre ellas los modelos matemáticos a utilizar en cada disciplina. De acá se resuelve si se continúa con el proceso o no, dadas las condiciones legales del sitio de construcción.

3.1. Reconocimiento del sitio de construcción

En el reconocimiento del sitio de construcción, se ven involucradas varias disciplinas de la ingeniería; en el medio, esta acción se encomienda generalmente al ingeniero civil, por ser el profesional que ha adquirido conocimientos y experiencias generales y básicas de cada especialización; sin embargo, es importante recomendar que, al ingeniero civil lo debe acompañar profesionales con especialidades de ingeniería sanitaria, hidrología, meteorología, estructural y geotecnista.

Previo a trasladarse al sitio de construcción, es imprescindible que el ingeniero o el equipo multidisciplinario; recopile la información existente sobre el sitio y del área de influencia, con el propósito de evaluar la situación física del terreno.

A continuación se presenta las condiciones a determinar al momento de realizar el trabajo de gabinete en el reconocimiento y clasificación de la información necesaria para trasladarse al campo a corroborarlas.

- Situación legal del sitio de construcción: se debe consultar al registro de la propiedad inmueble sobre la situación jurídico legal del sitio de construcción; es decir, si la propiedad no está sujeta a litigios, si esta escriturada a favor del ente interesado en desarrollar el proyecto, si no está afectada a gravámenes adicionales a los de ley, si está libre de hipotecas; y en general, si no existe algún impedimento que perjudique el desarrollo y puesta en funcionamiento del proyecto.

- Forma y dimensiones del sitio de construcción: para obtener este conocimiento, es importante contar con los planos de registro, ubicación, localización y si es posible, de curvas de nivel del sitio de construcción; se adquiere con certeza la forma de la figura del sitio, cuadrado, rectángulo, polígono irregular, accesos inmediatos, dimensiones de linderos, orientación de linderos y otra información.
- Características propias y del área de influencia del sitio de construcción: con la ayuda de imágenes satelitales en dos y tres dimensiones, mapas topográficos a escalas de 1:50 000 o a 1:10 000; fotografías aéreas del sitio y sus colindancias; mapa de zonificación sísmica de Guatemala, mapas de micro zonas de isoyetas de precipitación pluvial, de temperaturas medias, mapas de cuencas y micro cuencas hidrológicas del sitio y su entorno; registros estadísticos de fenómenos meteorológicos, sísmicos, desastres, uso del suelo, mapas geológicos, y toda la información que ayude a formar un criterio técnico bien fundado para el reconocimiento del sitio de construcción. Densidad de población, lugares poblados aledaños, servicios existentes, en desarrollo, vías de comunicación, accesos, comercios, ríos, bosques, quebradas; etc.

En esta caracterización se identifica y clasifica a los suelos, calidad del agua, del aire, y otros parámetros importantes que se aplicaran en la formulación del proyecto.

Tabla VIII. **Boleta de matriz de información legal para reconocimiento en campo del sitio de construcción**

MATRIZ DE INFORMACIÓN PARA SITUACIÓN LEGAL DE LA PROPIEDAD PARA EL RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	Esta escriturado a favor del ente interesado en desarrollar el proyecto?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Propietario: _____	
	Escritura No. _____ Finca No. _____ Folio _____ Libro _____	
	Colindantes: _____	
2	Esta solvente en los gravámenes de ley?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Cantidad que adeuda? Q. _____	
	A que entidad se le adeuda? _____	
3	Esta libre de hipotecas?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Cantidad que adeuda? Q. _____	
	A que entidad se le adeuda? _____	
4	Esta libre de litigios?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Razón del litigio? _____	
	Con quién es el litigio? _____	
5	Tiene restricciones en accesos a la propiedad?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que tipo de restricción? _____	

6	Tiene compromiso de ceder derechos de paso?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Cuánta área y en que lindero? _____	
	Con quién es el compromiso? _____	
7	A que jurisdicción departamental y municipal pertenece?	
	Departamento: _____ Municipio: _____	
	Dirección: _____	
8	Esta afecto a pago de licencias de construcción y/o especiales?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> _____	

Fuente: elaboración propia.

En la matriz o boleta de información a obtener en gabinete y en campo para la actividad del reconocimiento de la situación legal del sitio de construcción.

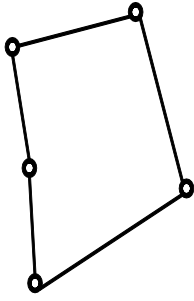
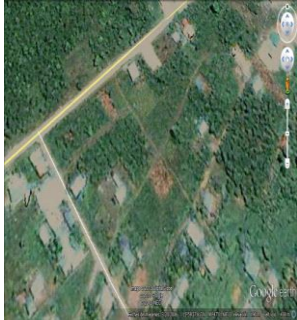
Esta actividad pareciera no tener relación alguna con la ingeniería civil, si tiene una relevancia significativa; muchas veces las situaciones jurídicas de los predios disponibles para la ejecución de los proyectos se ven obstaculizados debido a situaciones que no se consideraron dentro del planteamiento de las soluciones a las demandas que el proyecto satisface.

Por ejemplo, en algunas áreas que son cercanas a aeropuertos o pistas de aterrizaje, existen restricciones en la altura de las edificaciones en el corredor aéreo de ingreso y despegue de aeronaves, siendo en la ciudad de Guatemala las zonas 9, 10 y 14; en las áreas aledañas a monumentos históricos, las obras que se construyen tienen cierta normativa que cumplir, incluso, se deben observar algunas exigencias sobre la arquitectura, funcionamiento y conservación de las obras.

En otros casos, el Estado puede entregar en usufructo o arrendamiento los predios de construcción, para la edificación de infraestructura comercial o de servicios; en estos casos, la conservación y mantenimiento de las obras tienen características especiales; en consecuencia, se puede decir que, la sostenibilidad o permanencia de la inversión que se ejecuta en obras de cualquier índole, depende directamente de la situación jurídica de sus sitios de construcción.

Tabla IX. **Boleta de matriz de información sobre las características propias para reconocimiento en campo del sitio de construcción**

MATRIZ DE INFORMACIÓN PARA FORMA Y TAMAÑO DEL PREDIO PARA EL RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	La forma y dimensiones del predio en planos corresponde a la situación en campo?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que diferencias existen?	
2	Existen dentro del predio fuentes de agua (nacimientos, riachuelos, pozos, otros)?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que tipo de fuente, ubicación dentro del predio	
3	Existe dentro del predio alguna construcción, provisional o permanente?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que tipo de construcción?	
4	El acceso al predio permite el ingreso de transporte pesado con materiales?	
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que características tiene, hay mas de un acceso?	
5	Esquemas generales e información adicional	
	 	

Fuente: elaboración propia.

La actividad de verificación de la forma y tamaño del polígono, predio o sitio de construcción del proyecto; requiere que el observador cuente con la experiencia necesaria para poder interpretar en campo los detalles descritos en los planos existentes; tales como, identificar la orientación del terreno respecto del norte magnético, localizar los detalles importantes que existen identificados en planos, sobre el terreno; áreas boscosas, y otros detalles.

El observador tendrá la oportunidad de definir los aspectos importantes que deberán ser medidos y localizados a través de medios topográficos o geodésicos, que a su criterio pueden aportar información valiosa en la formulación del proyecto.

En esta fase se puede preparar un plan de acción para la verificación de todas las condicionantes que se deberán considerar dentro de la etapa de formulación, tal es el caso, de tener información primaria sobre la cercanía de bancos de materiales que pueden ser utilizados en el proceso de construcción; la ubicación de los servicios necesarios que deben ser introducidos al predio de construcción; percatarse de cómo la actividad diaria del lugar se verá afectada o modificada con la construcción del proyecto y la puesta en funcionamiento (aunque estas circunstancias pueden ser evaluadas en la siguiente etapa, es recomendable tener un criterio adicional).

En resumen, se puede obtener información general y específica que seguramente es útil en el proceso de la formulación del proyecto.

Tabla X. **Boleta de matriz de información sobre componente bioclimático**

MATRIZ DE INFORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PROPIAS Y DEL ENTORNO DEL PREDIO, PARA RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN; COMPONENTE BIOCLIMATICO

No.	DESCRIPCIÓN	ES AMENAZA	ES VULNERABILIDAD	CUAL ES EL RIESGO	OBSERVACIONES
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN					
1	Coordenadas del sitio X: Y:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
ELEVACIÓN DEL SITIO METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR					
2	Altura mínima (elevación topografica) (msnm)				
	Altura media (elevación topografica) (msnm)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Altura máxima (elevación topografica) (msnm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CONDICIONES DE VIENTO (MEDIDA EN EL SITIO Y EN PLANOS DE ISOYETAS)					
3	Orientación de la dirección promedio del viento				
	Velocidad mínima promedio del viento (m/s)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Velocidad media promedio del viento (m/s)				
	Velocidad máxima promedio del viento (m/s)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido vientos más fuertes que los usuales, cuándo, con que frecuencia? Ocasiono daños?				
CONDICIONES DE TEMPERATURA (MEDIDA EN SITIO Y EN PLANO DE ISOYETAS)					
4	Temperatura mínima promedio (°C)				
	Temperatura media promedio (°C)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Temperatura máxima promedio (°C)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido ola de calor extremo, cuándo, cuál fue la temperatura, ocasiono muertos?				
CONDICIONES DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MEDIDO EN PLANO DE ISOYETAS Y REGISTROS)					
5	Precipitación mínima promedio (mm/hra)				
	Precipitación media promedio (mm/hra)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Precipitación máxima promedio (mm/hra)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido precipitación anormal, cuando, ocasiono daños, hubo inundación, existen registros?				
CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN AUDITIVA					
6	Ruido (db) Qué o quienes producen el ruido?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
CONDICIONES DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA					
7	Caudales o escorrentias superficiales				
	Existe río o riachuelo cercano al predio?				
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Cuál es la distancia (m)?				
	Elevación de orilla del afluente (msnm)				
	Dirección del flujo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Caudal estimado máximo (m ³)				
	Es posible que exista flujo subterráneo?				
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Será necesario exploración?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Profundidad de napa freática explotable para suministro propio?				

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X se observa la matriz para la recopilación de información correspondiente al componente bioclimático que es útil para la evaluación del sitio de construcción.

En este componente es de utilidad la información obtenida en gabinete, con el auxilio de mapas o planos, de las situaciones meteorológicas, inclusive el apartado para vulcanismo (aunque en la figura no se muestra, se recomienda su inclusión), la importancia de la información que se obtiene en gabinete radica en que, es un parámetro aproximado a las condiciones propias del sitio de construcción; es decir, es información que puede ser corroborada en campo.

En el caso que exista una variación en la información de campo respecto de la obtenida en gabinete; se recomienda dar aviso por escrito de esa situación al ente encargado de llevar el registro estadístico; y también, es prudente verificar la metodología utilizada en campo para obtener las mediciones, y compararla con la metodología o protocolo institucional del ente que lleva los registros históricos de estas características de la región. Con esta acción, al transcurrir el tiempo, se obtendrá una base de datos histórica sobre las condiciones evaluadas, serán de gran utilidad para el desarrollo de software aplicable al análisis de riesgos en la ingeniería civil; con esto se pondrá al país a un nivel de información confiable; y el beneficio será para la actividad de planeación de proyectos de desarrollo regional; y los pronósticos en la formulación de proyectos tendrán una aceptación razonable.

Es prudente realizar una evaluación posterior a la puesta en funcionamiento del proyecto, para comparar y verificar si existe algún cambio en cualquier componente bioclimático.

Tabla XI. **Boleta de matriz de información sobre componente estructural**

MATRIZ DE INFORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PROPIAS Y DEL ENTORNO DEL PREDIO, PARA RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN; COMPONENTE ESTRUCTURAL

No.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	ASPECTOS SÍSMICOS (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y NIVELES DE PROTECCIÓN)	
	A que macrozona de sismicidad pertenece el sitio, según el mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala, basado en RESIS II	
	Cual es el rango de la ordenada espectral del sismo en período corto (S_{cr})	
	Cual es el rango de la ordenada espectral del sismo con período de 1 segundo (S_{1r})	
	Que tipo de proyecto es, según tabla 4.1 nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño	
	Cuál es el Índice de sismicidad que le corresponde según el tipo de proyecto (I_0)	
	Por el municipio a que pertenece, cuales son su I_0 , S_{cr} , y S_{1r} (usar anexo A de la NSE 2 -10)	
	Por las características del sitio y de la obra, que definición de sismo se recomienda utilizar (básico, severo, extremo, mínimo)	
	Que clase de sitio es (AB, C, D, F) según AGIES (usar tabla 4 - 4 guía para clasificación de sitio)	
	Por las características del sitio, que ensayos o estudios geotécnicos se recomienda ejecutar?	
2	FUERZAS DE VIENTO (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y NIVELES DE PROTECCIÓN)	
	Que tipo de exposición se recomienda asignar al sitio (B, C, D)	
	Cuás es la velocidad básica del viento (kph)	
3	VULCANISMO (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y NIVELES DE PROTECCIÓN)	
	El sitio es afectado por caída de ceniza o lava	
	A que distancia se encuentra del o de los volcanes, cuales?	
4	OTRAS CONDICIONES IMPORTANTES DE ACUERDO AL CRITERIO DEL EQUIPO MULTIDISCIPLINARIO	

Fuente: elaboración propia.

En la matriz de información de carácter estructural para el reconocimiento del terreno o sitio de construcción, como se muestra en la figura anterior, se deberá incluir toda la información que se pide según las Normas de AGIES NSE 2 – 10, dado que son los mínimos a cumplir para el cálculo y diseño estructural de una obra de cualquier tipo; inclusive, dentro de esas normas están las clasificaciones de las obras según los criterios de AGIES; la importancia de esta herramienta estriba en que, las normas son las que hay que cumplir en la República de Guatemala, en ese sentido, se gana tiempo y se aplican los criterios correctos en el momento de efectuar el reconocimiento del sitio.

Es importante indicar, que toda la herramienta propuesta, debe ser utilizada cuando el interés de las entidades es modificar, ampliar o reparar una obra en funcionamiento; en este caso, a toda la información del sitio de construcción hay que agregar forzosamente la que corresponda al medio construido; es decir, evaluar las condiciones estructurales, no estructurales, sociales, de servicio, conservación y mantenimiento de la obra en estudio; con el objeto de corregir las deficiencias que se puedan detectar al momento de realizar la evaluación técnica.

También es importante indicar que, a la planeación en su ingeniería de detalle (cálculos, diseños, planos constructivos y detalles), es prudente aplicar los mismos criterios de evaluación, con el propósito de obtener el mejor resultado posible.

Es oportuno crear un libro diario de acontecimientos o bitácora, donde se dejen las anotaciones correspondientes de mayor importancia; esto puede proporcionar información adicional a la vertida en los informes ejecutivos y pormenorizados que se presenten; como por ejemplo, se puede dejar la anotación si el criterio aplicado es conservador o un tanto liberal.

3.2. Costo en la implementación de las medidas de mitigación en la reducción de vulnerabilidades

La determinación de los costos y/o presupuestos para la implementación de medidas de mitigación en la reducción de las vulnerabilidades en proyectos de infraestructura crítica o esencial, en términos generales resulta ser poco cuantificable; es decir, estos costos son inciertos y a futuro; debido a que, solo se pueden determinar con un porcentaje alto de confiabilidad al momento de diseñar el proyecto tomando en cuenta las informaciones obtenidas en el reconocimiento del sitio de construcción.

A pesar que estos costos son inciertos al momento de concebir un proyecto, sí son objeto de análisis, cuantificación y determinación dentro del proceso de formulación del proyecto. Se deben considerar las obras de protección o de mitigación, que son parte integral del proyecto; es decir, promover que esas obras accesorias son importantes para su correcto funcionamiento.

Cuando se cuenta con un diseño arquitectónico aprobado, se identifican las obras de protección y de mitigación necesarias, aún cuando el proyectista del conjunto no las considere dentro. Las medidas de mitigación deben aplicarse a obras accesorias y también a componentes del proyecto que en su funcionamiento pueden crear amenazas y volver vulnerable una obra hacia cierto tópico específico; por lo tanto, es importante e imprescindible determinar los costos y presupuestos.

Para financiar los presupuestos y los costos de seguros en las medidas de mitigación se han identificado tres grandes rubros que son:

- Financiamiento externo, que pueden ser préstamos internacionales o donaciones.
- Financiamiento de gobierno, fondos provenientes del presupuesto de gobierno asignados a medidas de mitigación.
- Financiamiento propio, recursos financieros propios de las comunidades y/o mano de obra no calificada.

Cuando la fuente de financiamiento es externa las medidas de mitigación para la reducción de vulnerabilidades, se traduce en obras de protección de los proyectos próximos a funcionar o en funcionamiento; la decisión de financiar de este modo se basa en la relación del costo-beneficio y de la tasa de interés del préstamo.

Cuando el financiamiento es propio se debe asegurar que la permanencia y durabilidad de las obras de protección para mitigar las vulnerabilidades debe ser más allá de un período mínimo de 20 años; diseñando un programa de mantenimiento preventivo y rutinario por lo menos una vez al año, asegurando que existirá el financiamiento propio para esa acción. Este criterio también es aplicable cuando los recursos financieros provienen del Gobierno.

En ambos casos, se debe corroborar que la construcción de las obras de protección y de mitigación, proveen un eficaz manejo de recurso financieros en la conservación, mantenimiento y operación del proyecto.

La más alta rentabilidad de la inversión realizada en la construcción de obras de protección y mitigación se obtiene cuando ocurre un siniestro o desastre; dado que es el momento donde se corrobora que la obra funciona

durante e inmediatamente después del siniestro prestando al máximo los servicios para los que fue concebido.

Por ejemplo, en un hospital privado o público; ocurre un siniestro sísmico (terremoto); la obra funciona con regularidad durante el siniestro; inmediatamente después de ocurrido, sus vías de acceso están libres y pueden ingresar los vehículos que trasladan heridos; sus sistemas de ventilación, iluminación y fuerza funcionan con normalidad y a capacidad llena; las instalaciones no necesitan intervención inmediata para poder funcionar; es decir, la inversión para la operación física es nula, aunque la inversión en operación de atención aumente; en ese momento, los servicios que preste el hospital, se traduce en evitar la muerte de ciudadanos, y puede devolver a los menos afectados en una condición aceptable para integrarse nuevamente a sus actividades productivas.

3.3. Costo financiero y social de la no aplicación de ingeniería civil en la planeación de infraestructura crítica

Los costos de reconstrucción son mayores a los costos preventivos.

El costo financiero y social que resulta por la no aplicación apropiada de ingeniería civil y otras disciplinas en la formulación y planeamiento de infraestructura crítica, son medibles; aunque su cuantificación consume un tiempo considerable.

En el caso de la República de Guatemala, luego de haber experimentado las catástrofes del huracán Mitch, la tormenta tropical Stan, por mencionar solo esos dos fenómenos meteorológicos, la pérdida de vidas y materiales resultaron ser cuantiosas.

En el sentido social, se cuantifica los daños a personas; la medida se realiza actualmente como el número de personas afectadas por el siniestro; pero lamentablemente no se ha efectuado el cálculo financiero de cada persona afectada; es decir, tiempo perdido por falta de trabajo y los emolumentos dejados de percibir durante el tiempo que no es productivo.

En la cuantificación de afectación social, se mostrará el cuadro con información recabada por el INSIVUMEH a partir de levantamientos ejecutados por la CONRED.

El costo social, al final resulta ser una carga financiera para el Estado, dado que, se deben implementar programas emergentes orientados a la recuperación de los bienes más ingentes de las personas afectadas.

En el tabla VI se muestran las personas afectadas por los siniestros registrados del 2008 hasta agosto de 2010.

Tabla XII. **Número de personas afectadas por los eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010**

Mes	Total	Personas							
		En riesgo	Afectadas	Damnificadas	Evacuadas	Albergadas	Desaparecidas	Heridas	Fallecidas
2008									
Total	430,986	93,543	241,552	30,250	42,478	22,323	52	541	247
Enero	5,329	3,127	1,161	964	12	59	0	6	0
Febrero	170	0	32	0	23	0	0	58	57
Marzo	108	0	3	0	60	0	0	28	17
Abril	365	0	0	248	95	0	0	22	0
Mayo	2,120	431	511	734	118	300	0	17	9
Junio	24,516	2,624	11,177	5,543	3,013	2,080	8	37	34
Julio	68,610	10,202	47,092	1,178	8,493	1,516	28	47	54
Agosto	73,525	7,378	64,411	467	822	366	1	66	14
Septiembre	109,111	43,519	57,125	846	6,338	1,189	4	71	19
Octubre	140,724	26,064	56,768	19,472	23,139	15,197	6	61	17
Noviembre	6,098	198	3,272	733	300	1,502	3	67	23
Diciembre	310	0	0	65	65	114	2	61	3
2009									
Total	322,625	104,639	206,507	3,511	7,976	2,841	21	149	108
Enero	3,127	0	30	0	1,532	1,490	20	18	37
Febrero	3,299	1,968	992	310	0	0	1	14	14
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	391	0	283	20	0	0	0	82	6
Mayo	18,689	4,826	7,794	2,219	3,719	91	0	21	19
Junio	18,884	5,351	11,565	813	688	457	0	4	6
Julio	4,511	1,619	1,655	72	902	260	0	3	0
Agosto	69,389	50,850	18,478	2	45	0	0	0	14
Septiembre	187,902	36,420	151,361	14	87	17	0	0	3
Octubre	1,447	678	586	10	173	0	0	0	0
Noviembre	18,047	2,927	13,741	29	830	504	0	7	9
Diciembre	66	0	22	22	0	22	0	0	0
2010									
Total	1,259,338	279,737	521,846	127,870	199,757	129,481	133	301	213
Enero	92,224	86,800	3,380	822	822	400	0	0	0
Febrero	2,488	66	1,903	12	439	12	0	55	1
Marzo	200	0	27	0	25	0	81	59	8
Abril	12,057	1,970	7,691	992	1,343	35	0	20	6
Mayo	728,993	113,383	304,565	61,391	156,461	92,876	47	135	135
Junio	323,277	41,068	147,396	63,396	37,047	34,312	5	9	44
Julio	21,089	7,635	9,982	1,028	1,741	672	0	21	10
Agosto	79,010	28,815	46,902	229	1,879	1,174	0	2	9

Fuente: CONRED, agosto del 2010.

En el 2010 se registró la mayor cantidad de personas afectadas y hubo más personas desaparecidas.

Tabla XIII. **Número de viviendas e infraestructura afectada por los eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010**

Mes	Viviendas					Infraestructura								
	Total	En riesgo	Con daño leve	Con daño moderado	Con daño severo	Carreteras			Puentes			Escuelas		
						Total	Dañadas	Destruídas	Total	Dañados	Destruídos	Total	Dañadas	Destruídas
2008														
Total	37,518	12,225	6,075	18,059	1,159	504	487	17	59	40	19	0	0	0
Enero	2,239	64	354	1,101	720	8	7	1	1	1	0	0	0	0
Febrero	11	0	3	2	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Marzo	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Abril	54	0	1	43	10	7	6	1	0	0	0	0	0	0
Mayo	537	203	165	122	47	14	14	0	1	1	0	0	0	0
Junio	1,935	165	298	1,359	113	34	31	3	2	0	2	0	0	0
Julio	3,771	829	1,870	1,027	45	74	68	6	14	8	6	0	0	0
Agosto	2,447	1,096	1,090	229	32	42	40	2	1	1	0	0	0	0
Septiembre	11,900	5,345	1,187	5,312	56	106	104	2	8	7	1	0	0	0
Octubre	13,937	4,447	869	8,513	108	196	194	2	28	18	10	0	0	0
Noviembre	665	76	238	350	1	17	17	0	3	3	0	0	0	0
Diciembre	20	0	0	0	20	5	5	0	0	0	0	0	0	0
2009														
Total	5,853	2,898	1,121	1,140	392	53	48	5	17	10	7	81	80	1
Enero	62	35	0	5	0	10	10	0	0	0	0	1	1	0
Febrero	585	272	168	88	49	3	3	0	1	1	0	0	0	0
Marzo	8	0	0	0	0	3	3	0	1	1	0	0	0	0
Abril	283	66	31	23	9	2	2	0	1	0	1	74	74	0
Mayo	1,695	712	108	628	199	17	14	3	4	3	1	3	3	0
Junio	1,683	1,070	284	203	102	5	5	0	5	3	2	2	2	0
Julio	635	326	125	156	20	3	3	0	0	0	0	1	0	1
Agosto	159	60	70	20	1	3	2	1	1	0	1	0	0	0
Septiembre	36	7	5	12	2	2	1	1	3	1	2	0	0	0
Octubre	229	113	105	5	2	1	1	0	1	1	0	0	0	0
Noviembre	416	177	225	0	6	4	4	0	0	0	0	0	0	0
Diciembre	62	60	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010^a														
Total	83,378	31,874	25,806	15,550	10,148	793	770	23	196	143	53	1,159	1,146	13
Enero	269	6	125	137	1	2	2	0	1	0	1	0	0	0
Febrero	275	11	17	244	3	1	1	0	1	1	0	12	12	0
Marzo	11	0	2	4	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Abril	1,597	324	492	703	78	10	10	0	1	1	0	21	20	1
Mayo	46,661	16,054	14,053	8,519	8,035	527	510	17	116	89	27	679	673	6
Junio	25,017	10,480	8,149	4,469	1,919	210	204	6	61	41	20	441	435	6
Julio	1,964	1,167	386	336	75	22	22	0	8	6	2	3	3	0
Agosto	7,584	3,832	2,582	1,138	32	21	21	0	7	5	2	3	3	0

Fuente: CONRED, agosto 2010.

En el 2010 se registró el mayor de viviendas, carreteras y escuelas afectadas debido a siniestros.

Tabla XIV. **Número de personas afectadas por eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010**

Tipo de evento	Personas							
	En riesgo	Afectadas	Dañificadas	Evacuadas	Albergadas	Desaparecidas	Heridas	Fallecidas
2008								
Totales	93,643	241,652	30,260	42,478	22,323	62	641	247
Accidente aéreo	0	81	0	0	0	0	9	19
Accidente marítimo	0	0	0	0	0	3	10	4
Accidente vial	0	30	0	0	0	6	311	91
Actividad volcánica	0	20,000	0	0	0	0	0	0
Colapso estructural	746	22,820	87	58	46	1	1	7
Derumbe	90	8,093	0	544	655	9	16	15
Deslizamiento	6,187	4,064	355	6,110	595	14	34	39
Hundimiento	89	80	24	8	0	0	0	0
Incendio estructural	0	5	87	148	65	0	20	18
Incendio forestal	0	0	0	0	75	0	1	0
Inundación	80,988	145,322	27,667	34,606	20,376	1	19	9
Materiales peligrosos	1,200	1,200	0	60	0	0	0	0
No categorizado	701	36,867	236	726	115	18	115	46
Sismo	0	0	3	0	0	0	0	0
Temperatura baja	0	0	0	0	337	0	0	0
Vientos	3,542	2,990	1,791	218	59	0	5	0
2009								
Totales	106,392	206,639	3,632	8,097	2,883	21	160	114
Accidente aéreo	0	0	0	3	0	0	0	6
Accidente vial	0	0	0	0	0	0	9	14
Colapso estructural	47	166,098	181	52	39	0	2	0
Derumbe	7	30	0	1,546	1,317	20	17	37
Deslizamiento	3,506	64	42	242	84	0	2	12
Epidemia	0	3,098	0	0	0	0	0	17
Hundimiento	36	26	4	18	17	0	0	0
Incendio forestal	0	22	42	8	30	0	2	2
Inseguridad alimentaria	86,742	0	0	0	0	0	0	0
Inundación	9,162	17,390	865	1,949	862	0	0	1
Materiales peligrosos	0	16	0	0	0	0	0	0
No categorizado	0	48	0	0	0	0	83	5
Pandemia	0	751	0	0	0	0	0	13
Sismo	2,583	2,760	1,914	1,743	42	0	7	1
Socio organizativo	0	10,006	0	2,173	0	0	17	5
Temperatura baja	0	0	0	0	464	0	0	0
Vientos	4,309	6,230	484	363	28	1	11	1
2010								
Totales	279,787	621,838	127,862	199,749	129,481	133	301	213
Geológico	2,487	6,738	296	5,011	3,744	3	77	29
Movimiento de masa	2,487	3,088	296	2,454	651	0	18	27
Sismo	0	36	0	427	0	0	0	0
Vulcanismo	0	3,614	0	2,130	3,093	3	59	2
Hidro meteorológico	277,260	614,861	127,666	194,714	126,726	37	96	168
Depresión tropical	11,980	12,221	5	154	109	0	0	0
Frente frío	0	0	0	0	325	0	0	0
Fuentes viento	10	1,873	45	29	0	0	1	0
Lluvias	12,520	79,159	14,804	17,038	5,741	0	13	5
Sequía	86,742	0	0	0	0	0	0	0
Tormenta tropical	165,998	421,598	112,701	177,493	119,580	37	81	163
Químico	0	249	12	24	12	0	1	0
Incendio	0	29	12	24	12	0	1	0
Materiales peligrosos	0	220	0	0	0	0	0	0
Socio organizativo	0	0	0	0	0	95	128	10
Accidente	0	0	0	0	0	0	80	6
Concentraciones masivas	0	0	0	0	0	81	33	7
Terrorismo	0	0	0	0	0	0	15	3
No categorizado	0	0	0	0	0	12	0	0

Fuente: CONRED, agosto 2010.

Se puede cuantificar el número de personas afectadas por diversos siniestros.

Tabla XV. **Número viviendas e infraestructura afectada por eventos registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2008-2010**

Tipo de evento	Viviendas				Infraestructura					
	En riesgo	Con daño leve	Con daño moderado	Con daño severo	Carreteras		Puentes		Escuelas	
					Dañadas	Destruídas	Dañados	Destruídos	Dañadas	Destruídas
2008										
Total	12,225	6,075	18,060	1,187	482	17	40	19	0	0
Accidente aéreo	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Accidente vial	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0
Actividad volcánica	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Colapso estructural	128	4	13	18	4	3	5	9	0	0
Derrumbe	904	2	25	6	121	3	1	0	0	0
Deslizamiento	832	65	206	102	31	2	0	0	0	0
Hundimiento	10	2	6	0	5	4	0	0	0	0
Incendio estructural	20	0	1	35	1	0	0	0	0	0
Incendio forestal	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0
Inundación	9,690	5,423	16,503	240	268	4	23	10	0	0
Materiales peligrosos	400	0	0	0	1	0	0	0	0	0
No categorizado	172	54	27	45	27	0	10	0	0	0
Sismo	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Tormenta	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0
Vientos	69	519	1,223	736	10	1	1	0	0	0
2009										
Total	2,898	1,121	1,140	392	48	5	9	7	80	1
Accidente aéreo	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Accidente vial	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0
Colapso estructural	9	0	1	6	1	2	2	5	0	0
Derrumbe	4	3	2	3	12	0	0	0	0	0
Deslizamiento	312	2	1	4	0	0	0	0	0	0
No categorizado	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Hundimiento	9	6	2	2	3	1	0	0	0	0
Incendio estructural	60	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Inundación	1,457	835	210	100	11	0	3	2	1	1
Sismo	262	70	58	33	3	2	2	0	49	0
Socioorganizativo	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Vientos	785	205	866	238	6	0	0	0	30	0
2010										
Total	31,874	25,806	15,550	10,148	770	23	143	53	1,146	13
Geológico	477	495	34	428	35	0	4	0	9	1
Movimiento de masa	477	89	34	48	34	0	3	0	3	1
Sismo	0	6	0	1	0	0	1	0	5	0
Vulcanismo	0	400	0	379	1	0	0	0	1	0
Hidrometeorológico	31,397	25,309	15,513	9,716	734	23	139	52	1,137	12
Depresión tropical	1,566	1,106	1,008	1	1	0	0	1	0	0
Fuertes vientos	2	39	264	1	0	0	0	0	8	0
Lluvias	1,836	2,011	2,043	199	37	0	17	7	24	0
Seqüía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tormenta tropical	27,991	22,153	12,198	9,515	696	23	122	44	1,105	12
Químico	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0
Incendio	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0
Socioorganizativo	0	0	3	1	1	0	0	1	0	0
Accidente	0	0	3	1	1	0	0	1	0	0

Fuente: CONRED, agosto 2010.

Se puede cuantificar el número de personas afectadas por diversos siniestros.

Tabla XVI. Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y la erupción del volcán de Pacaya julio 2010, (millones de quetzales y dólares USD)

Sector	Total	Daños	Pérdidas	Público	Privado
SOCIAL	Q. 1 567,90	Q. 1 333,70	Q. 234,20	Q. 765,90	Q. 779,40
Vivienda	Q. 773,40	Q. 646,30	Q. 127,10	Q. 0,00	Q. 773,40
Salud	Q. 116,70	Q. 27,90	Q. 88,80	Q. 110,70	Q. 6,00
Educación	Q. 655,30	Q. 640,40	Q. 14,90	Q. 655,20	Q. 0,00
Patrimonio cultura y deportes	Q. 22,50	Q. 19,10	Q. 3,40	Q. 22,50	Q. 0,00
PRODUCTIVOS	Q. 1 033,40	Q. 230,40	Q. 803,00	Q. 25,60	Q. 1 007,80
Agricultura/ganadería/pesca	Q. 646,80	Q. 84,20	Q. 562,60	Q. 25,60	Q. 621,10
Industria	Q. 317,60	Q. 123,30	Q. 194,30	Q. 0,00	Q. 317,60
Comercio	Q. 33,60	Q. 9,80	Q. 23,80	Q. 0,00	Q. 33,70
Turismo	Q. 35,40	Q. 13,10	Q. 22,30	Q. 0,00	Q. 35,40
INFRAESTRUCTURA	Q. 2 836,70	Q. 2 615,60	Q. 211,10	Q. 2 620,00	Q. 171,80
Transporte	Q. 2 624,80	Q. 2 456,40	Q. 168,40	Q. 2 456,40	Q. 168,40
Energía	Q. 94,70	Q. 78,10	Q. 16,60	Q. 49,70	Q. 0,00
Agua y saneamiento	Q. 117,20	Q. 81,10	Q. 36,10	Q. 113,80	Q. 3,40
TRANVERSALES	Q. 2 283,30	Q. 486,10	Q. 1 797,20	Q. 756,60	Q. 373,70
Medio ambiente	Q. 2 092,20	Q. 335,60	Q. 1 756,60	Q. 605,90	Q. 198,70
Impacto sobre la mujer	Q. 191,10	Q. 150,50	Q. 40,60	Q. 16,00	Q. 175,00
Gestión de riesgo	Q. 134,70	Q. 134,70	Q. 0,00	Q. 134,70	Q. 0,00
Total millones (quetzales)	Q. 7 856,00	Q. 4 800,50	Q. 3 055,50	Q. 4 168,10	Q. 2 332,70
Total millones (dólares USD)	\$. 982,04	\$. 600,10	\$. 381,94	\$. 521,01	\$. 291,59

Fuente: SEGEPLAN, *evaluación* Ministerio de Finanzas Públicas, CEPAL, BID, PNUD, GFDRR.

p. 12.

Tabla XVII. Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y erupción del volcán de Pacaya en el sector vivienda julio 2010, (número de viviendas, millones de quetzales y dólares USD)

Componentes	cantidad	Costos		
		Total	Daños	Pérdidas
Viviendas destruida	3.934	Q. 203,46	Q. 203,46	Q. 0,00
Viviendas dañadas parcialmente	4.455	Q. 230,41	Q. 230,41	Q. 0,00
Viviendas con daños leves (15% de su valor)	7.690	Q. 59,66	Q. 59,66	Q. 0,00
Menaje de casa	16.079	Q. 152,75	Q. 152,75	Q. 0,00
Demolición de escombros	8.389	Q. 23,49	Q. 0,00	Q. 23,49
a. Mano de obra	0	Q. 0,00	Q. 0,00	Q. 0,00
b. Maquinaria	0	Q. 0,00	Q. 0,00	Q. 0,00
c. Transporte	0	Q. 0,00	Q. 0,00	
Inversión en usos alternativos áreas liberadas	0	Q. 43,39	Q. 0,00	Q. 43,39
Vivienda temporal (techo mínimo)	8.389	Q. 57,51	Q. 0,00	Q. 57,51
Renta perdida	1.005	Q. 2,71	Q. 0,00	Q. 2,71
a. Por ingreso mensual viviendas arrendadas (10% del total)(Q. 400,00 x 6 meses)	838	Q. 2,01	Q. 0,00	Q. 2,01
b. Por ingreso mensual viviendas en crédito (2% del total)(Q. 700,00 x 6 meses)	167	Q. 0,70	Q. 0,00	Q. 0,70
Total millones (quetzales)		Q. 773,38	Q. 646,28	Q. 127,10
Total millones (dólares USD)		\$. 96,67	\$. 80,79	\$. 15,89

Fuente SEGEPLAN, CONRED. *Evaluación* Ministerio de Finanzas Públicas, CEPAL, BID, PNUD, GFDRR. p. 13.

Tabla XVIII. **Estimación de daños y pérdidas por la tormenta tropical Aghata y erupción de volcán de Pacaya en la salud julio 2010, (millones de quetzales y dólares USD)**

Sector	Total	Pérdida	Público	Privado
INFRAESTRUCTURA	Q. 27,91	Q. 0,00	Q. 27,91	Q. 0,00
Establecimientos de salud del país MSPAS	Q. 26,77	Q. 0,00	Q. 26,77	Q. 0,00
IGSS, privados y otros	Q. 0,00	Q. 0,00	Q. 0,00	Q. 0,00
Mobiliario, equipamiento y medicamentos	Q. 1,14	Q. 0,00	Q. 1,14	Q. 0,00
GASTOS DE EMERGENCIA	Q. 88,880	Q. 88,80	Q. 82,80	Q. 6,00
Mayores medicamentos, equipamiento de materiales y suministros en establecimientos de salud	Q. 16,82	Q. 16,82	Q. 10,82	Q. 6,00
Mayores medicamentos, equipamiento de materiales y suministros en hospitales	Q. 32,61	Q. 32,61	Q. 32,61	Q. 0,00
Mediamentos para atención de albergues	Q. 3,74	Q. 3,74	Q. 3,74	Q. 0,00
Acciones de control vectorial y de vigilancia epidemiológica	Q. 34,95	Q. 34,95	Q. 34,95	Q. 0,00
acciones preventivas y de promoción de la salud	Q. 3,33	Q. 3,33	Q. 3,33	Q. 0,00
Salun mental y ayuda psicosocial	Q. 2,00	Q. 2,00	Q. 2,00	Q. 0,00
Asignación de fondos CERF	Q. 4,65	Q. 4,65	Q. 4,65	Q. 0,00
Total millones (quetzales)	Q. 116,71	Q. 88,80	Q. 110,71	Q. 6,00
Total millones (dólares USD)	\$. 14,59	\$. 11,10	\$. 13,84	\$. 0,75

Fuente: Evaluación SEGEPLAN, CONRED, Ministerio de Finanzas Públicas, CEPAL, BID, PNUD, GFDRR. p. 14.

En el caso de la obra pública afectada, se puede indicar que, el costo económico-financiero ha sido alto; mayor al que en su momento representó la opción de construcción de obras de protección o de implementar las medidas para la mitigación y reducción de desastres; las cuantificaciones son producto de estudios y análisis con la intervención de entidades internacionales, y que han servido para mostrar que si se actúa de forma preventiva, los daños a la economía y bienes del Estado serán menores que los enfrentados en los últimos 5 años.

4. ESTUDIO DE UN CASO

Con el estudio de un caso en particular se aplicará la metodología recomendada a utilizar en ingeniería civil en el planeamiento de obras de infraestructura, con el propósito de mitigar las consecuencias provocadas por los eventos catastróficos en este tipo de obra, mostrando que su utilización es factible.

En este trabajo de graduación, se cuenta con la participación de la iniciativa privada, y el caso se refiere a un proyecto planeado y ejecutado con capital privado, pero que su servicio tiene connotaciones sociales, el proyecto es catalogado como infraestructura crítica de telecomunicaciones; y básicamente, es un proyecto que debe permanecer funcionando durante un desastre, y funcionar a su máxima capacidad luego del desastre.

4.1. Descripción del caso

El proyecto consiste en la planeación y ejecución de una estación base de transmisión de telefonía celular de empresa privada, con base de cimentación cuadrada; construcción sobre suelos aluviales en la población de San Diego, municipio de La Gomera, del departamento de Escuintla; la torre constituida por elementos estructurales de acero con una altura especificada de 42 metros sobre el nivel de columnas de apoyo, con protección especial para descargas eléctricas producidas por rayos.

El sitio de construcción será de propiedad privada concedida en arrendamiento, por lo tanto, debe contar con protección hacia el interior de la

estación base de transmisión, que evite el vandalismo, robo e ingreso de personas no autorizadas.

El proyecto debe proporcionar al cliente la certeza de contar con el servicio de transmisión de llamadas desde y hacia teléfonos celulares, durante la ocurrencia de un desastre y posterior a su finalización, sin interrupciones; de esa cuenta, contará con generador de energía eléctrica como sistema de emergencia, como respaldo al momento de sufrir interrupciones en el sistema eléctrico proporcionado en el municipio.

4.2. Análisis del caso

Como inicio del análisis, la empresa de telecomunicaciones privada interesada en la formulación y ejecución del proyecto, recopiló la información correspondiente en cuanto a la localización y ubicación del terreno, incluyendo sus aspectos legales; esta información está catalogada como confidencial; por lo tanto, no fue posible tener acceso a ella. Además, preparó y presentó las especificaciones técnicas y disposiciones especiales para la puesta en funcionamiento de la estación base de transmisión de telecomunicaciones.

Con la información correspondiente, se efectuó la visita técnica de inspección ocular al sitio de construcción para determinar los pormenores necesarios que técnicamente son imprescindibles para la formulación (diseño) del proyecto y su posterior ejecución. Es decir, se procedió a ejecutar el reconocimiento del sitio, a continuación se presenta los resultados obtenidos en esta actividad.

4.2.1. Reconocimiento del sitio de construcción.

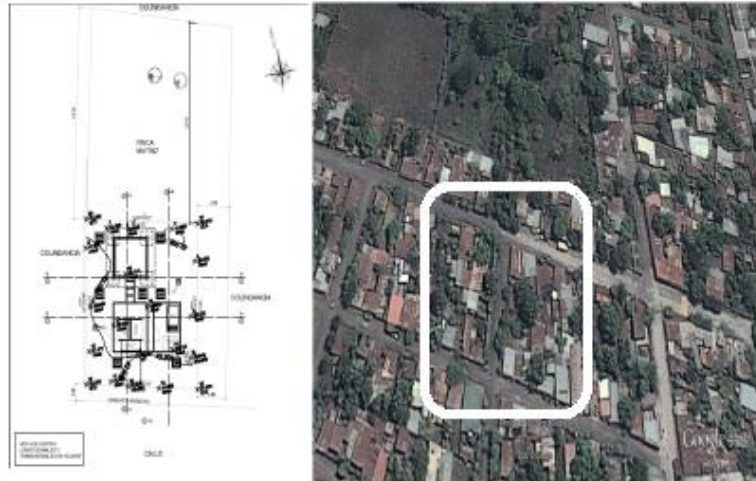
En la actividad de reconocimiento del sitio de construcción, con la información se procedió a efectuar la visita técnica de inspección ocular; para llegar al sitio, desde la ciudad de Guatemala transitando por la ruta denominada CA-2 (centroamericana – 2) hasta llegar a la población de Siquinalá, se cruza hacia el sur sobre la ruta nacional 2 (RN – 2) en busca de la cabecera municipal de La Gomera, del departamento de Escuintla; pasando por la cabecera municipal de La Democracia del mismo departamento. La ruta es pavimentada en buenas condiciones, el sitio se ubica en el casco urbano en la localidad denominada San Diego.

Los proveedores que suministran los materiales a precios razonables se encuentran en la cabecera municipal de Escuintla.

Con la observación de campo, se obtuvieron los datos para llenar la boleta correspondiente, que a continuación se muestra.

Tabla XIX. **Boleta de matriz de información sobre las características propias para reconocimiento en campo del sitio de construcción**

MATRIZ DE INFORMACIÓN PARA FORMA Y TAMAÑO DEL PREDIO PARA EL RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	La forma y dimensiones del predio en planos corresponde a la situación en campo?	El plano de localización y ubicación del predio corresponde a la realidad del sitio de construcción
	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Que diferencias existen?	
2	Existen dentro del predio fuentes de agua (nacimientos, riachuelos, pozos, otros)?	El servicio de agua potable entubada es del servicio municipal
	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Que tipo de fuente, ubicación dentro del predio	
3	Existe dentro del predio alguna construcción, provisional o permanente?	En las colindancias existe muros divisorios propiedad de los colindantes, el ingreso es por la calle municipal
	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Que tipo de construcción?	
4	El acceso al predio permite el ingreso de transporte pesado con materiales?	El acceso al predio permite llegar con camión del tipo T3 - S2 hasta el frente del sitio de construcción
	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Que características tiene, haymas de un acceso?	
5	Esquemas generales e información adicional	El sitio de construcción tiene forma regular con orientaciones bien definidas, su deflexión respecto del norte verdadero es de 3° 04' 00" (tres grados, cuatro minutos, cero segundos) el ingreso es por el lindero sur que es por la calle municipal
		

FUENTE: elaboración propia.

Tabla XX. Boleta de matriz de información sobre las características propias y del entorno para reconocimiento en campo del sitio de construcción

MATRIZ DE INFORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PROPIAS Y DEL ENTORNO DEL PREDIO, PARA RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN; COMPONENTE BIOCLIMÁTICO

No.	DESCRIPCIÓN	ES AMENAZA	ES VULNERABILIDAD	CUALES EL RIESGO	OBSERVACIONES
1	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN				
	Coordenadas del sitio	X: N 14° 05' 28.05"	Y: W 81° 03' 13.00"	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
2	ELEVACIÓN DEL SITIO METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR				
	Altura mínima (elevación topográfica) (msnm)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Inundación por la topografía del terreno, plano semi ondulado
	Altura media (elevación topográfica) (msnm)	42 msnm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Altura máxima (elevación topográfica) (msnm)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
3	CONDICIONES DE VIENTO (MEDIDA EN EL SITIO Y EN PLANO DE ISOYETAS)				
	Orientación de la dirección promedio del viento		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Vientos huracanados por la posición geográfica, al momento de ocurrir tormenta tropical o huracán en el océano pacífico
	Velocidad mínima promedio del viento (kmh)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Velocidad media promedio del viento (kmh)	110 kph	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Velocidad máxima promedio del viento (kmh)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido vientos más fuertes que los usuales, cuándo, con que frecuencia? Ocasión o daños?				
4	CONDICIONES DE TEMPERATURA (MEDIDA EN SITIO Y EN PLANO DE ISOYETAS)				
	Temperatura mínima promedio (°C)	18.1 a 22	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Sequía
	Temperatura media promedio (°C)	27	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Temperatura máxima promedio (°C)	30.1 a 34	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido ola de calor extremo, cuándo, cuál fue la temperatura, o casion muertos?				
5	CONDICIONES DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MEDIDO EN PLANO DE ISOYETAS Y REGISTROS)				
	Precipitación mínima promedio (mm)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Precipitaciones de tormenta repentina que puede ocasionar eventualmente inundación por incapacidad de evacuación
	Precipitación media promedio (mm)	101 a 160	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Precipitación máxima promedio (mm)		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Ha ocurrido precipitación anormal, cuándo, ocasiono daños, hubo inundación, existen registros?				
6	CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN AUDITIVA				
	Ruido (db)	Qué o quienes producen el ruido?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	No se evalúa
7	CONDICIONES DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA				
	Caudales o escorrentías superficiales				
	Existen río o riachuelo cercano al predio?				
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Cuál es la distancia (m)?			
	Elevación de orilla del afluente (msnm)				
	Dirección del flujo				
	Caudal estimado máximo (m ³)				
	Es posible que exista flujo subterráneo?				
	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Será necesario exploración?			
	Profundidad de napa freática explotable para suministro propio?				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Boleta de matriz de información sobre las características propias y del entorno para reconocimiento en campo del sitio de construcción para componente estructural**

MATRIZ DE INFORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PROPIAS Y DEL ENTORNO DEL PREDIO, PARA RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN; COMPONENTE ESTRUCTURAL

No.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	ASPECTOS SÍSMICOS (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y NIVELES DE PROTECCIÓN)	
	A que macrozona de sismicidad pertenece el sitio, según el mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala, basado en RESIS II	4
	Cual es el rango de la ordenada espectral del sismo en periodo corto (S_{cr})	1.65 g
	Cual es el rango de la ordenada espectral del sismo con periodo de 1 segundo (S_{1r})	0.60 g
	Que tipo de proyecto es, según tabla 4.1 nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño	Categoría IV, crítica o esencial
	Cuál es el Índice de sismicidad que le corresponde según el tipo de proyecto (b)	5
	Por el municipio a que pertenece, cuales son su b , S_{cr} , y S_{1r} (usar anexo A de la NSE 2 -10)	5, 1.65 g, 0.60 g
	Por las características del sitio y de la obra, que definición de sismo se recomienda utilizar (básico, severo, extremo, mínimo)	extremo
	Que clase de sitio es (AB, C, D, F) según AGES (usar tabla 4 - 4 guía para clasificación de sitio)	C
Por las características del sitio, que ensayos o estudios geotécnicos se recomienda ejecutar?		Por el tipo de proyecto puede ser hasta 40 pies
Por la naturaleza de la obra, se recomienda el ensayo de penetración estandar (SPT)		
2	FUERZAS DE VIENTO (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y NIVELES DE PROTECCIÓN)	
	Que tipo de exposición se recomienda asignar al sitio (B, C, D)	B
	Cuás es la velocidad básica del viento (kph)	110 kph
3	VULCANISMO (SEGÚN AGIES NSE 2 -10 DEMANDAS ESTRUCTURALES, CONDICIONES DEL SITIO Y	
	El sitio es afectado por caída de ceniza o lava	
	A que distancia se encuentra del o de los volcanes, cuales?	
4	OTRAS CONDICIONES IMPORTANTES DE ACUERDO AL CRITERIO DEL EQUIPO MULTIDISCIPLINARIO	

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Observaciones generales sobre el sitio de la construcción

El sitio de construcción se encuentra dentro de un área urbana, por lo que, la evaluación fue relativamente fácil, observando el entorno del mismo, se pudo obtener un criterio fundado en las características de las construcciones aledañas, se dio cumplimiento al reconocimiento del predio por exposición.

El predio de acuerdo a las conclusiones primarias obtenidas en la visita de campo de inspección ocular, sí es apropiado para la formulación y la ejecución de la estación base para comunicaciones celulares.

4.2.3. Resultado del análisis

Los resultados que se obtuvieron del análisis realizado, se muestran en las tablas siguientes, donde se incluye la información que se trasladó al especialista en geotecnia y de ingeniería estructural para la formulación técnica del proyecto; el detalle es como sigue:

En la fase de reconocimiento del sitio de construcción, se recomendó efectuar el ensayo de penetración estándar (SPT); el geotécnico decidió con base a las características físicas y morfológicas del sitio de construcción, realizar el ensayo hasta una profundidad de 12 pies (3.66 m); y obtuvo 6 muestras; los resultados fueron remitidos al especialista en ingeniería estructural; además se obtuvo la estratigrafía del suelo; con esas muestras se determinó la granulometría para la clasificación correspondiente; y, como condición especial, se obtuvo la resistividad eléctrica del suelo, dato importante para calcular y diseñar el sistema de tierras físicas como protección a descargas electroatmosféricas

Tabla XXII. **Ensayos y normas observadas, estación base San Diego, La Gomera, Escuintla**

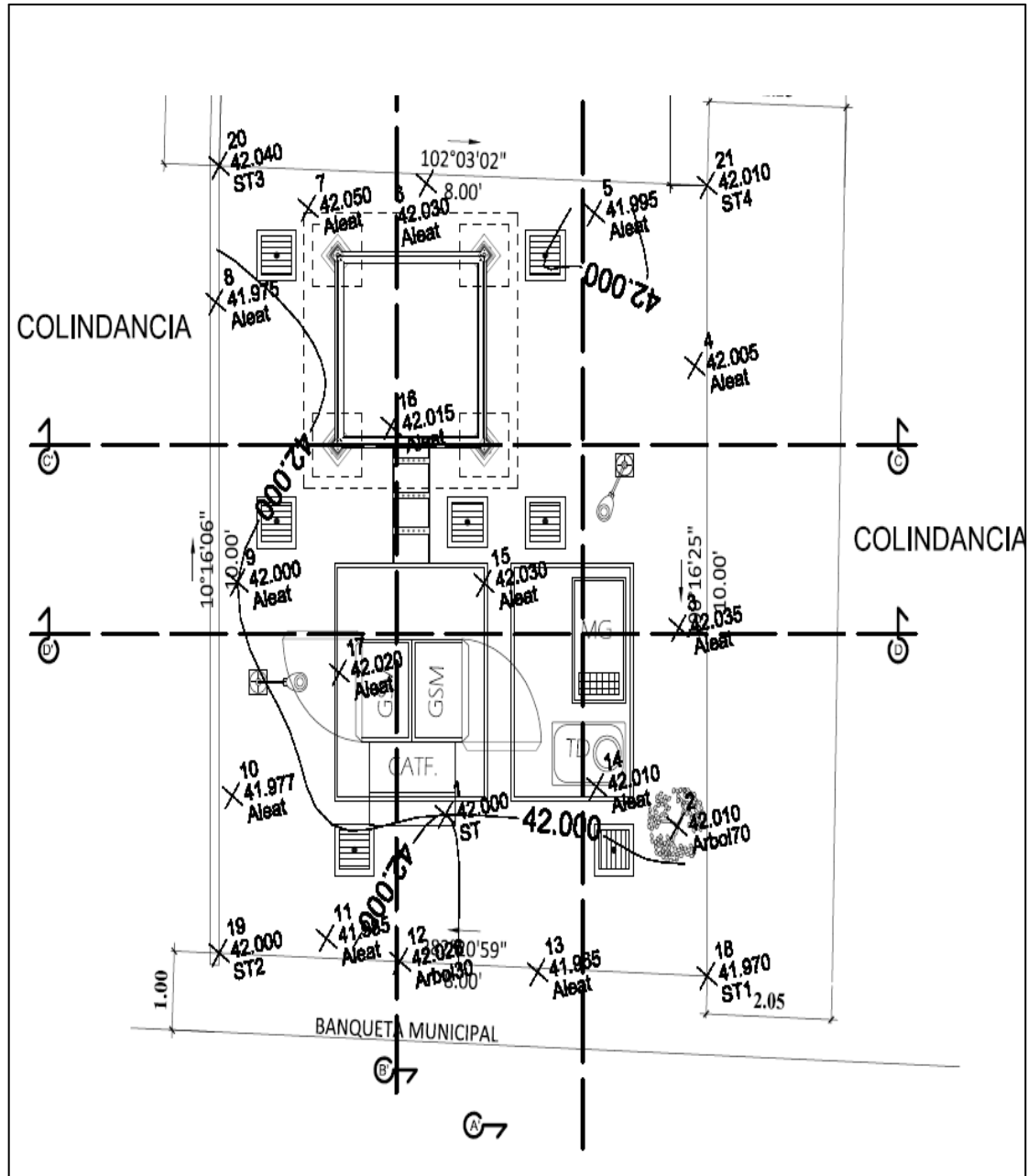
ENSAYO	NORMA
Contenido de humedad natural	ASTM D 2216
Limite líquido (L. L.)	ASTM D 423 - 66
Limite plástico (L. P.)	ASTM D 424 - 59
Ensayo de compresión simple	ASTM 2166 - 66

Fuente: elaboración propia.

Con las muestras del suelo alteradas e inalteradas, se clasificaron de acuerdo a los límites de consistencia y/o gradación, con el material lavado sobre el tamiz número 200.

El lugar seleccionado para efectuar el ensayo de penetración estándar, de acuerdo al criterio del especialista en geotecnia, fue el lindero donde se indicó en planos será colocada la cimentación para la sustentación de la base para la estructura metálica que constituye la torre de transmisión de telefonía. El ensayo fue ejecutado el 15 de mayo de 2,013.

Figura 15. Esquema del lugar donde se efectuó el ensayo de penetración



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Tabla XXIII. **Profundidad de sondeo y nivel freático, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla**

SONDEO No.	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD (pies)	NIVEL FREATICO (m)
1	Ensayo de penetración estándar (SPT)	12	Seco

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al criterio del especialista en geotecnia, se efectuó solo un sondeo; con las muestras obtenidas, se procedió a efectuar el resto de ensayos para determinar las propiedades del suelo de fundación.

Tabla XXIV. **Ensayo de campo**

ESTRATO EN PIES	PROFUNDIDAD EN PIES		GOLPES A CADA 6 PIES					TIPO DE SUELO
	INICIO	FINAL	1	2	3	4	N	
0,00	0,00	2,00	2	4	6	6	10	ARENA
2,00	2,00	4,00	6	7	7	6	14	
4,00	4,00	6,00	6	7	19	8	26	
6,00	6,00	8,00	10	14	12	11	26	
8,00	8,00	10,00	13	12	11	10	23	
10,00	10,00	12,00	16	21	26	27	47	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Descripción de Estratigrafía

DESCRIPCIÓN	ESTRATO
Suelo	Arena (S)
Color	Oscuro
Espesor promedio	02-12 pies
Clasificación sistema unificado	S
Clasificación sistema AASTHO	A - 1b(0)
Densidad seca	1,76 gr/cm ³
Humedad promedio	28,87%
Gravedad específica	1,78
Relación de vacíos	0,46
Peso específico seco	1,82 gr/cm ³
Límite líquido	NLL
Límite plástico	NLP
Índice de plasticidad	NIP
Cohesión	0,28 Kg/cm ²
Ángulo de fricción interna	24º a 35º
Porcentaje de finos	8,67%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Límites de Atterberg, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla

SONDEO	MUETRA No.	PROFUNDIDAD (m)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	PORCENTAJE DE FINOS	CLASIFICACION DE SISTEMA	
							UNIFICADO	AASHTO
1	1	0,00 - 0,61	NLL	NLP	NIP	8,67	ARENA A-1b(09)	S
	2	0,61 - 1,22	NLL	NLP	NIP	8,67		
	3	1,22 - 1,83	NLL	NLP	NIP	8,67		
	4	1,83 - 2,44	NLL	NLP	NIP	8,67		
	5	2,44 - 3,05	NLL	NLP	NIP	8,67		
	6	3,05 - 3,66	NLL	NLP	NIP	8,67		

Fuente: estudio de suelos San Diego, La Gomera, Escuintla.

Tabla XXVII. Granulometría, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla

MALLA No.	% QUE PASA
4	96,56
10	85,65
40	79,23
200	8,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Resistividad eléctrica del suelo, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla

PROFUDIDAD (m)	RESISTIVIDAD DEL SUELO(Ω -m)
0,25	0,00
0,40	36,05

Fuente: elaboración propia.

El factor de seguridad para la cimentación de la estructura de la torre de transmisión telefónica, F_s es la razón entre la máxima capacidad de carga del suelo q_0 ; y la presión real en el cimiento q . La capacidad de carga admisible q_s , es la máxima capacidad de carga dividida entre el factor de seguridad mínimo permisible, F_{smin} que para este caso de estudio de acuerdo al criterio del diseñador su valor es de 2.00; considerando que el estrato donde se cimentará está constituido por arena, este suelo soportará los esfuerzos de tensión y compresión; su compacidad media y profundidad alcanzada en el ensayo dinámico no representativa; derivado de esto, entonces se tiene:

$$F_s = 2,00 \quad (\text{ecuación 1}) \quad F_s: \text{factor de seguridad}$$

$$q_s = \frac{q_0}{F_{smin}} \quad (\text{ecuación 2}) \quad q = \text{capacidad de carga}$$

$$q_a < q_s \quad (\text{ecuación 3})$$

$$q_a = 6,14 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ecuación 4})$$

Sustituyendo la ecuación (1) y la ecuación (4) en la ecuación (2), obtenemos:

$q_s = (6,14/2,00)$; que resulta en $q_s = 3,07 \text{ kg/cm}^2$; que su equivalente en toneladas es de $30,70 \text{ ton/m}^2$; que para este caso es la capacidad soporte a una profundidad de 10 pies (aproximadamente 3,28 m). Los resultados obtenidos para este caso se muestran en la tabla XXVIII.

Tabla XXIX. **Valor soporte, sitio San Diego, La Gomera, Escuintla**

PROFUNDIDAD (m)	Nc	C (gr/cm ²)	Nq	PESO SECO (gr/cm ³)	Ny	B, m	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	qa 2,50 m (kg/cm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00	0,00
0,61	0,80	0,28	0,80	1,82	1,50	2,50	24,00	1,71
1,22	0,90	0,28	0,90	1,82	2,20	2,50	26,00	2,81
1,83	1,00	0,28	1,00	1,82	0,40	2,50	30,00	2,15
2,44	1,00	0,28	1,00	1,82	0,40	2,50	30,00	2,70
3,05	0,95	0,28	0,95	1,82	0,35	2,50	29,00	3,07
3,66	1,40	0,28	1,40	1,82	0,80	2,50	35,00	5,52
4,27	1,40	0,28	1,40	1,82	0,80	2,50	35,00	6,29
4,88	1,40	0,28	1,40	1,82	0,80	2,50	35,00	7,07
5,49	1,40	0,28	1,40	1,82	0,80	2,50	35,00	7,84
6,10	1,40	0,28	1,40	1,82	0,80	2,50	35,00	8,63

Fuente: elaboración propia.

Con los valores obtenidos de la capacidad soporte del suelo a distintas profundidades, el especialista geotécnico, procedió a evaluar los asentamientos

diferenciales que pueden suceder en la cimentación de la estructura metálica de la torre de transmisión; el valor obtenido fue de 0,43 mm a una profundidad de 2.50 m. El especialista arribó a este valor a través del siguiente procedimiento matemático:

$$S_i = (f_1)(f_s)(q')(B^{0.70})(I_c) \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

S_i : asentamiento medio al final de la construcción, en mm

q' : tensión efectiva bruta aplicada en la base de la cimentación, en kg/m^2

B : ancho de la cimentación, en este caso zapata o losa de cimentación, en m

I_c : índice de compresibilidad, definido en función del valor medio del ensayo SPT en una zona determinada de influencia bajo la zapata o losa, Z_1

Los factores f_1 , f_s , y B ; fueron obtenidos dentro del proceso en las siguientes cantidades

f_1 : 0,99

f_s : 1,06

q' : 30,70 ton

B : 1,58

Del cálculo matemático resulta entonces que el asentamiento diferencial es:

$$S_{2.50} = 0,43 \text{ mm}$$

Valor que resulta aceptable para el tipo de suelo y de estructura a construir.

Figura 16. **Ensayo de penetración estándar (STP)**



Fuente: San Diego, la Gomera, Escuintla.

CONCLUSIONES

1. Existe una política nacional sobre la reducción de las vulnerabilidades y desastres en obras de ingeniería civil, adoptada por la Secretaría General de Planificación (SEGEPLAN) , obligatorio para la obra pública; no se ha efectuado jornadas académicas de instrucción o capacitación para los ingenieros que dentro de su ejercicio profesional ejecutan consultorías de diagnóstico, formulación, evaluación y supervisión de proyectos; esta política ha sido designada como Análisis de Gestión de Riesgo en Proyectos de Inversión Pública (AGRIP-2013); su estructura es similar a las presentadas en algunos simposios o talleres de trabajo, por entidades internacionales dedicadas al estudio de la gestión de riesgo.
2. La política de gestión de riesgo es incipiente y con carácter obligatorio dentro del ámbito nacional.
3. En el ámbito de ingeniería estructural, están creadas las normas para cálculo y diseño estructural emitidas por la Asociación de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), conocidas como Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala, denominadas NSE.

4. El compendio de las normas para las estructuras críticas o esenciales en su difusión no ha tenido el impacto deseado, debido a que algunas obras proyectadas no han cumplido a cabalidad con su cometido; porque las obras públicas siguen siendo catalogadas como típicas, sin consideraciones topográficas, climáticas entre otras.
5. Se imparten cursos de actualización a nivel profesional sobre evaluación de estructuras ante desastres, lamentablemente, se ha hecho énfasis solo en los hospitales, y no en otro tipo de obras.
6. No existe, dentro del p^éns^um de la carrera de ingeniería civil, un curso específico sobre el análisis de vulnerabilidades y gestión de riesgo.
7. La metodología que se propone en este trabajo debe ser considerada como complementaria a lo normado actualmente; considerando que, los formularios con carácter obligatorio por ser estandarizados no permiten el desarrollo del criterio técnico personalizado para cada tipo de proyecto considerado como crítico o esencial.

RECOMENDACIONES

1. Que la Facultad de Ingeniería, a través de la Escuela de Ingeniería Civil, diseñe un programa de actualización sobre el tema de análisis y gestión de riesgos; con el propósito de instruir a los profesionales y estudiantes sobre este tema; coordinando con la secretaria general de planificación un programa de actualización continua para someter a un análisis técnico académico los formularios que ya existen; comparando con los regionales, con el objetivo de poder efectuar una reingeniería dentro de sus contenidos; y que conforme se avance; las herramientas alcancen su objetivo.
2. Que la política de gestión de riesgos sea obligatoria, sin discriminación, dependiendo del ámbito de uso de la infraestructura crítica; es decir, que se impulse su cumplimiento como una norma general; y como parte de su práctica se dé inicio con la evaluación de la infraestructura crítica que está en funcionamiento para obtener la realidad del estado físico en que presta su servicio; y que durante el transcurso de la evaluación se vaya adquiriendo la experiencia necesaria para poder aplicar la reingeniería pertinente al proceso de completar los criterios que actualmente se utilizan en los formularios para la obra pública.
3. Que la academia a través de su estructura educativa con el apoyo de los colegios de profesionales de la ingeniería y arquitectura, elaboren un documento donde se incluyan las normas de cálculo y diseño estructural ya elaboradas por la AGIES, y se creen las normas para el diseño arquitectónico para la infraestructura crítica en general.

4. Que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tome el rol de ente rector en el impulso de catalogar las obras de acuerdo a la expectativa de su funcionamiento, evitando la estandarización de edificaciones, dado que, sin una regionalización geomorfológica, no puede darse este tratamiento a la infraestructura crítica, y con el apoyo de los cuerpos colegiados involucrados en la formulación y ejecución de proyectos de este tópico se instruya y se coordinen las actividades académicas pertinentes para enriquecer los actuales criterios de ingeniería y arquitectura que se utilizan actualmente, y que se difundan por todos los medios posibles sus resultados para llegar a tener documentos técnicos que se incorporen a las especificaciones de carácter general en el ámbito nacional y agregarlas a las existentes en la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y lograr su aplicación obligatoria.
5. Que los cursos de actualización impartidos hasta la fecha, se logre también a través de los medios electrónicos, impartirlos en línea para que los profesionales que se les dificulta participar en la actualización presencial, tengan la oportunidad de fortalecer sus criterios utilizando esta ventaja tecnológica.
6. Que dentro del pénsum de la carrera de Ingeniería Civil se incorpore un curso o cursos sobre la reducción de vulnerabilidades y gestión de riesgo, con el propósito de enriquecer la formación profesional de los futuros ingenieros civiles egresados de esta casa de estudios.
7. Que desde la academia se impulse y forme el criterio individualista para el análisis de reducción de vulnerabilidades y riesgos en la infraestructura de obra civil en general, con el objeto de que el

profesional esté preparado para aplicar sus criterios de manera individual a cada proyecto donde intervenga.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación de ingeniería estructural y sísmica. *Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES 2010. 468 p.
2. BONOWITZ, David; S. E.; RABINOVICI, Sharyl, Ph. D. *Soft story risk reduction: Lesson from the Berkeley data; A special projects and initiatives report to earthquake; USA: Earthquake Engineering Research Institute; ISBN 978 – 1 – 932884 – 58 – 6. 2013.*
3. CEPAL; GTZ. *Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socio naturales; cuadernos de la CEPAL número 91. ISSN electrónico 1727 – 0413, ISBN 92 – 1 322781 7, Naciones Unidas, 2005.*
4. Earthquake Engineering Research Institute. *Guidelines for developing an earthquake scenario; USA, march 2006.*
5. FERNÁNDEZ, Andrés; MARTÍNEZ, Rodrigo. *Gestión de programas sociales: del diagnóstico a la evaluación de impactos; documento para el curso. Colombia: CONFAMA-CEPAL, 2008. 10 p.*
6. Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología *Boletín sismológico año 2012; Unidad de investigación y servicios geofísicos. Guatemala: INSIVUMEH, 2013. 95 p.*

7. Naciones Unidas. *Estrategia internacional para la reducción de desastres EIRD. Vivir con el riesgo: informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*; Ginebra: 2004.
8. Organización Panamericana de la Salud. *Mitigación de desastres en instalaciones de salud*; Santo Domingo, República Dominicana: OPS, 2005. 21 p.
9. RODRIGUEZ F; HRUSKOVICH, P. *Gestión de riesgos en proyectos de construcción 1er. Congreso iberoamericano de ingeniería de proyectos*. Antofagasta, Chile: Universidad de Sonora, 2010.
10. Secretaría de Gobernación de la República de México. *Programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastres 2001 2006*. México ISBN: 970 – 628 – 594 – 6.
11. Secretaria General de Planificación y Programación de la Presidencia; *Análisis de gestión de riesgo en proyectos de inversión pública*; Guatemala: SEGEPLAN; 2013. 64 p.

APÉNDICES

Apéndice 2. Trazo de cimentación de la estructura



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 3. Excavación finalizada



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 4. **Colocación de armadura, losa de cimentación, pilotes y vigas conectoras**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 5. **Colocación de pernos de anclaje para instalación de torre**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 6. **Colocación de formaleta para pedestales de cimentación**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 7. **Encofrado de cimentación y verificación de pernos de anclaje**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 8. **Estructura fundida**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 9. **Estructura fundida y desencofrada**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 10. **Inicio de relleno estructural de cimentación**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 11. **Compactación de relleno estructural con suelo-cemento**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 12. **Sección base de torre, inicio de montaje**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 13. **Montaje de torre**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

Apéndice 14. **Armadura instalada y finalizada, aplicación de torque en armadura de manera manual**



Fuente: San Diego, La Gomera, Escuintla.

