



**HAL**  
open science

# Vulnerabilidad sísmica de los pasos elevados y puentes que forman parte de la red vial del Distrito Metropolitano de Quito

Galo Atiaga, Florent Demoraes

► **To cite this version:**

Galo Atiaga, Florent Demoraes. Vulnerabilidad sísmica de los pasos elevados y puentes que forman parte de la red vial del Distrito Metropolitano de Quito. [reportType\_6] Escuela Politécnica Nacional de Ecuador - Institut de Recherche pour le Développement - Direcciones de Territorio y Vivienda, y de Transporte y Vialidad del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. 2003, 62 p. hal-01283943

**HAL Id: hal-01283943**

**<https://hal.science/hal-01283943v1>**

Submitted on 7 Mar 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Vulnerabilidad sísmica de pasos elevados  
y puentes que forman parte de la red vial del  
Distrito Metropolitano de Quito**  
*Adaptación y aplicación de la metodología HAZUS®99*

Ampliación del proyecto:

“Vulnerabilidad estructural de los puentes del distrito metropolitano de quito frente al peligro  
sísmico – aplicación y adaptación de la metodología hazus®99 al contexto ecuatoriano”  
diciembre 2002

**GALO ATIAGA**

Ingeniero Civil – EPN

**FLORENT DEMORAES**

Doctorante, Laboratorio EDYTEM - UMR 5204 – Université de Savoie / IRD

En colaboración con: Dr. Fabricio Yépez Ph.D. (Profesor Postgrado EPN), I. Municipio de Quito,  
Direcciones Metropolitanas de Territorio y Vivienda, y Transporte y Vialidad

**Quito, diciembre 2003**



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2. ALCANCE .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	4
2. ADAPTACION Y APLICACIÓN DE HAZUS®99 A PASOS ELEVADOS Y PUENTES DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE QUITO.....	5
2.1. ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZUS®99 AL MEDIO ECUATORIANO .....	5
2.1.1. EN LO REFERENTE AL DISEÑO CONVENCIONAL O SÍSMICO ...	5
2.1.2. EN LO REFERENTE A LOS SUELOS DE ASENTAMIENTO DE LAS OBRAS	5
2.1.3. EN LO REFERENTE A LA ACELERACIÓN ESPECTRAL.....	7
2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y VARIABLES RECOPIADAS SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES BAJO ESTUDIO DEL ÁREA METROPOLITANA DE QUITO.....	9
2.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZUS®99 MODIFICADA A LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES BAJO ESTUDIO DE QUITO .....	31
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL .....	39
3.2. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS INDUCIDOS POR LOS DAÑOS EN LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES ESTUDIADAS EN LO REFERENTE A MOVILIDAD .....	47
3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE OBRAS ESENCIALES Y VULNERABLES..	48
3.2.2. REPERCUSIONES POSIBLES EN CUANTO A MOVILIDAD .....	49
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
4.1. CONCLUSIONES .....	53
4.2. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES.....	56
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

En el mes de diciembre de 2002, los autores del presente documento presentaron al I. Municipio de Quito un informe titulado “Vulnerabilidad estructural de los puentes del Distrito Metropolitano de Quito frente al peligro sísmico – Aplicación y adaptación de la metodología HAZUS®99 al contexto ecuatoriano”. El mencionado documento constituye un informe preliminar de la vulnerabilidad de 76 obras viales del Distrito Metropolitano de Quito.

La presente investigación pretende realizar una primera evaluación de la vulnerabilidad estructural de pasos elevados y puentes que forman parte de la infraestructura vial del Distrito Metropolitano de Quito frente a la amenaza sísmica, ampliando el análisis sobre 90 estructuras viales, abarcando de esta manera prácticamente la totalidad de las obras existentes en el distrito. Además, se ha realizado ajustes en la adaptación de la metodología HAZUS®99<sup>1</sup> en relación al primer informe, los mismos que se detallarán en secciones posteriores.

El presente documento incluye los parámetros de las estructuras viales bajo análisis, que son necesarios para la aplicación de la metodología HAZUS®99 adaptada al medio ecuatoriano; se presenta también la aplicación de dicha metodología sobre las obras viales consideradas y el análisis de los resultados obtenidos referentes a la vulnerabilidad de estas estructuras ante la acción sísmica; adicionalmente, el documento incluye un análisis de las posibles afectaciones de la movilidad del distrito debidas a la ocurrencia de un evento sísmico muy severo; finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones generadas por la presente investigación.

---

<sup>1</sup> Proveniente de “Hazards U.S.”, desarrollada por: Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C. en cooperación con National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.

## **1.2. ALCANCE**

El presente estudio pretende formular un primer intento para establecer la vulnerabilidad de pasos elevados y puentes que son parte de la infraestructura vial de Quito ante sismos, aplicando la adaptación de la metodología HAZUS®99 al medio ecuatoriano, con el fin de mejorar el nivel de conocimiento de los riesgos asociados al advenimiento de un terremoto, en especial sobre estas obras esenciales para sustentar la movilidad urbana y el funcionamiento socioeconómico de la capital.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la amenaza sísmica latente en la ciudad de Quito, es necesario llegar a un mejor conocimiento sobre la vulnerabilidad de las infraestructuras viales, de tal manera que constituya un punto de partida para establecer criterios de toma de decisiones emergentes ante un sismo en lo que se refiere a movilización o a medidas de mitigación del riesgo, y dictar políticas de planificación que tomen en cuenta el peligro sísmico, todo esto con el fin de evitar desgracias que afecten gravemente a la población capitalina y sus bienes.

Además, es necesario considerar las medidas de prevención contra los efectos de los desastres sísmicos como parte fundamental de los procesos de desarrollo integral en el ámbito regional y urbano, con el fin de reducir el nivel de riesgo existente.

## **2. ADAPTACION Y APLICACIÓN DE HAZUS®99 A PASOS ELEVADOS Y PUENTES DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE QUITO**

### **2.1. ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZUS®99 AL MEDIO ECUATORIANO**

#### **2.1.1. EN LO REFERENTE AL DISEÑO CONVENCIONAL O SÍSMICO**

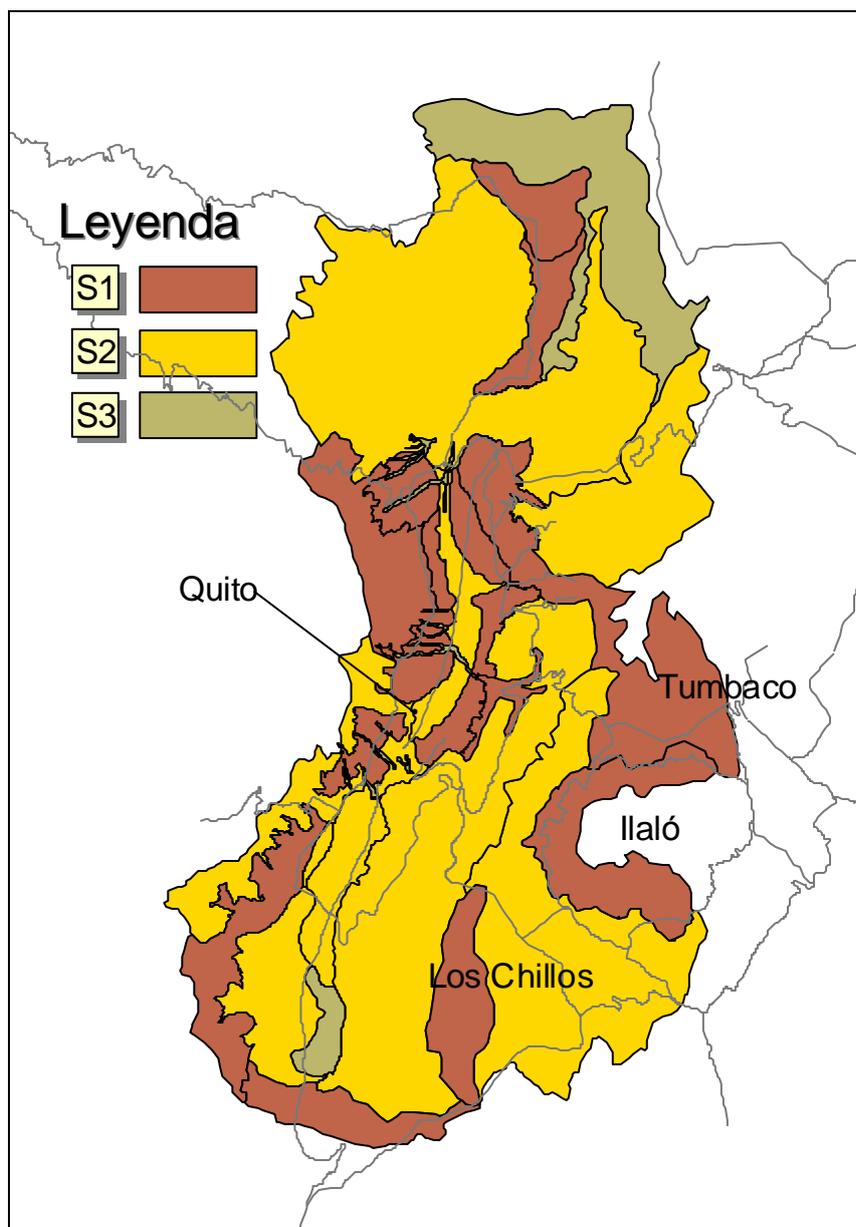
Dentro de la clasificación de las estructuras en la metodología HAZUS®99 se establecen los años que se refieren al inicio de la implementación de normas antisísmicas en el diseño y construcción de las infraestructuras viales.

En el caso de Quito, se ha asumido que a partir del año de 1996 se ha implementado una normativa de diseño sismorresistente en las infraestructuras viales, en base a información otorgada por varios ingenieros conocedores del desarrollo vial de la ciudad (Yépez – Barahona, 2003).

#### **2.1.2. EN LO REFERENTE A LOS SUELOS DE ASENTAMIENTO DE LAS OBRAS**

Para obtener las curvas de fragilidad descritas en la metodología HAZUS®99 es necesario cuantificar un determinado grado de movimiento del suelo, en función de aceleraciones espectrales influenciadas por el efecto dinámico de amplificación según el tipo de suelo.

En base a los mapas del “Proyecto de microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito, 2001”, realizado en convenio con la Escuela Politécnica Nacional y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, es posible ubicar las estructuras analizadas en este estudio dentro de los cuatro tipos de suelo caracterizados por el Código Ecuatoriano de la Construcción. El siguiente mapa muestra el mapa de microzonificación del Distrito Metropolitano de Quito:



Mapa de microzonificación de suelos del DMQ – EPN 2001

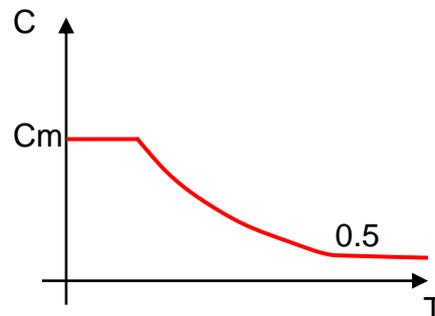
Una breve caracterización de estos tipos de suelo se presenta a continuación: el perfil tipo S1 se refiere a rocas o suelos firmes, el perfil tipo S3 se refiere a suelos blandos o estratos profundos, el perfil tipo S2 corresponde a suelos con características intermedias entre los suelos S1 y S3. El S4 corresponde a suelos altamente compresibles y donde las condiciones geológicas y topográficas son especialmente desfavorables (CEC, 2000).

Existen cuatro estructuras (Intercambiador de Tambillo, puente en la Vía Interoceánica sobre el río Chiche, puente en la Panamericana Norte sobre el río Guayllabamba, puente en la Vía a Tabacundo sobre el río Pisque) que no se ubican dentro de las zonas establecidas en la microzonificación de suelos del Distrito Metropolitano de Quito. Para estos casos, se ha caracterizado el tipo de suelo en forma cualitativa en base a estudios particulares realizados en estos sectores, y de la experiencia de profesionales expertos en el tema. Esta caracterización cualitativa ha determinado que los suelos ubicados en estas zonas corresponden al tipo de suelo S2 del CEC-2000 (Valverde, 2003). Cabe destacar también que el tipo de suelo S4 no aparece dentro del Distrito Metropolitano de Quito según el proyecto de microzonificación.

### **2.1.3. EN LO REFERENTE A LA ACELERACIÓN ESPECTRAL**

Para la determinación de los valores de aceleración espectral  $S_a$  para períodos de vibración de 0.3 y 1.0 segundos necesarios para la aplicación de la metodología HAZUS®99, se tomó como fundamento el espectro sísmico elástico de diseño publicado en el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC, 2000), que considera el efecto dinámico de amplificación del suelo.

El siguiente gráfico muestra el espectro sísmico elástico de diseño del CEC-2000:



Espectro sísmico elástico de diseño CEC-2000

El valor adimensional  $C$  representa el espectro elástico de diseño normalizado, que no necesita exceder del valor  $C_m$  que depende del tipo de suelo, y no debe ser menor que 0.5. La siguiente ecuación permite determinar los valores del espectro ubicados entre 0.5 y  $C_m$  (CEC, 2000):

$$C = \frac{1.25 S^s}{T}$$

donde,

- S factor de suelo según el tipo S1, S2, S3, S4 (CEC-2000)
- T período de vibración en segundos

A pesar de que, como se dijo anteriormente, el espectro sísmico elástico tiene un valor máximo  $C_m$ , en el presente estudio no se ha considerado este límite superior debido a que el espectro publicado en el CEC-2000 se aplica a propósitos de diseño, mientras que esta investigación se refiere a un análisis de vulnerabilidad que requiere considerar condiciones más críticas que en el trabajo de diseño.

La siguiente tabla muestra los valores de S y Cm para los cuatro tipos de suelo definidos en el CEC-2000:

tipo de suelo	Cm	S
S1	2.5	1.0
S2	3.0	1.2
S3	2.8	1.5
S4	2.5	2.0

Valores de Cm y S según el tipo de suelo (CEC, 2000)

Para determinar los valores de la aceleración espectral en función del espectro anterior es necesario considerar la aceleración máxima esperada, que en el caso del presente estudio será el valor PGA. La siguiente ecuación permite calcular la aceleración espectral en función del espectro sísmico y el valor de PGA adoptado:

$$S_a = \text{PGA} \cdot C$$

El valor de PGA representa el pico de aceleración de un diagrama aceleración versus tiempo. Tanto el valor de la aceleración máxima (PGA) como el de la aceleración espectral ( $S_a$ ) se expresan como fracción de la gravedad.

## **2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y VARIABLES RECOPIADAS SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES BAJO ESTUDIO DEL ÁREA METROPOLITANA DE QUITO**

Se recopiló la información de 90 obras ubicadas dentro del Distrito Metropolitano de Quito, abarcando casi la totalidad de estructuras existentes. Para la ubicación exacta de las obras se utilizaron mapas viales e hidrográficos, y luego se verificó dicha información durante el recorrido de campo.

La siguiente tabla presenta la ubicación de las estructuras analizadas en este estudio ordenadas de sur a norte:

clave	ubicación	latitud (sur)	longitud (oeste)
1	Intercambiador de Tambillo	0° 24' 29"	78° 32' 45"
2	Vía a Pintag - Río Pita	0° 19' 33"	78° 25' 4"
3	Calle Venezuela - Río San Pedro (Sangolquí)	0° 19' 12"	78° 27' 23"
4	Calle Aurelio Naranjo (San Rafael)	0° 18' 36"	78° 27' 1"
5	Calle Avelina Lasso - Río San Pedro (Capelo)	0° 18' 23"	78° 27' 6"
6	Av. San Luis - Río Sta Clara (San Rafael)	0° 18' 21"	78° 26' 58"
7	Calle I. Isabela - Río Pita (San Rafael)	0° 18' 4"	78° 26' 56"
8	Calle Piedad del Castillo - Río San Pedro (Capelo)	0° 18' 4"	78° 27' 23"
9	Calle Mariana de Jesús (Capelo)	0° 17' 59"	78° 27' 37"
10	Vía a Conocoto - Río San Pedro (El triángulo)	0° 17' 53"	78° 27' 38"
11	Vía a El Tingo - Río San Pedro	0° 17' 43"	78° 27' 18"
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	0° 17' 28"	78° 27' 38"
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	0° 17' 10"	78° 32' 12"
14	Vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	0° 17' 2"	78° 26' 20"
15	Transversal a la vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	0° 17' 0"	78° 26' 20"
16	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	0° 16' 50"	78° 28' 3"
17	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	0° 16' 50"	78° 28' 3"
18	Autopista Rumiñahui - Puente 3 (Guangopolo)	0° 15' 37"	78° 29' 9"
19	Av. Maldonado y Rafael Arteta (San Bartolo)	0° 15' 30"	78° 31' 17"
20	Av. Maldonado y Alonso de Angulo (Villa Flora)	0° 14' 33"	78° 31' 2"
21	Av. Maldonado (Redondel Villa Flora)	0° 14' 28"	78° 31' 1"
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	0° 14' 12"	78° 28' 59"
23	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	0° 14' 11"	78° 28' 60"
24	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	0° 14' 2"	78° 28' 56"
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	0° 13' 50"	78° 30' 23"

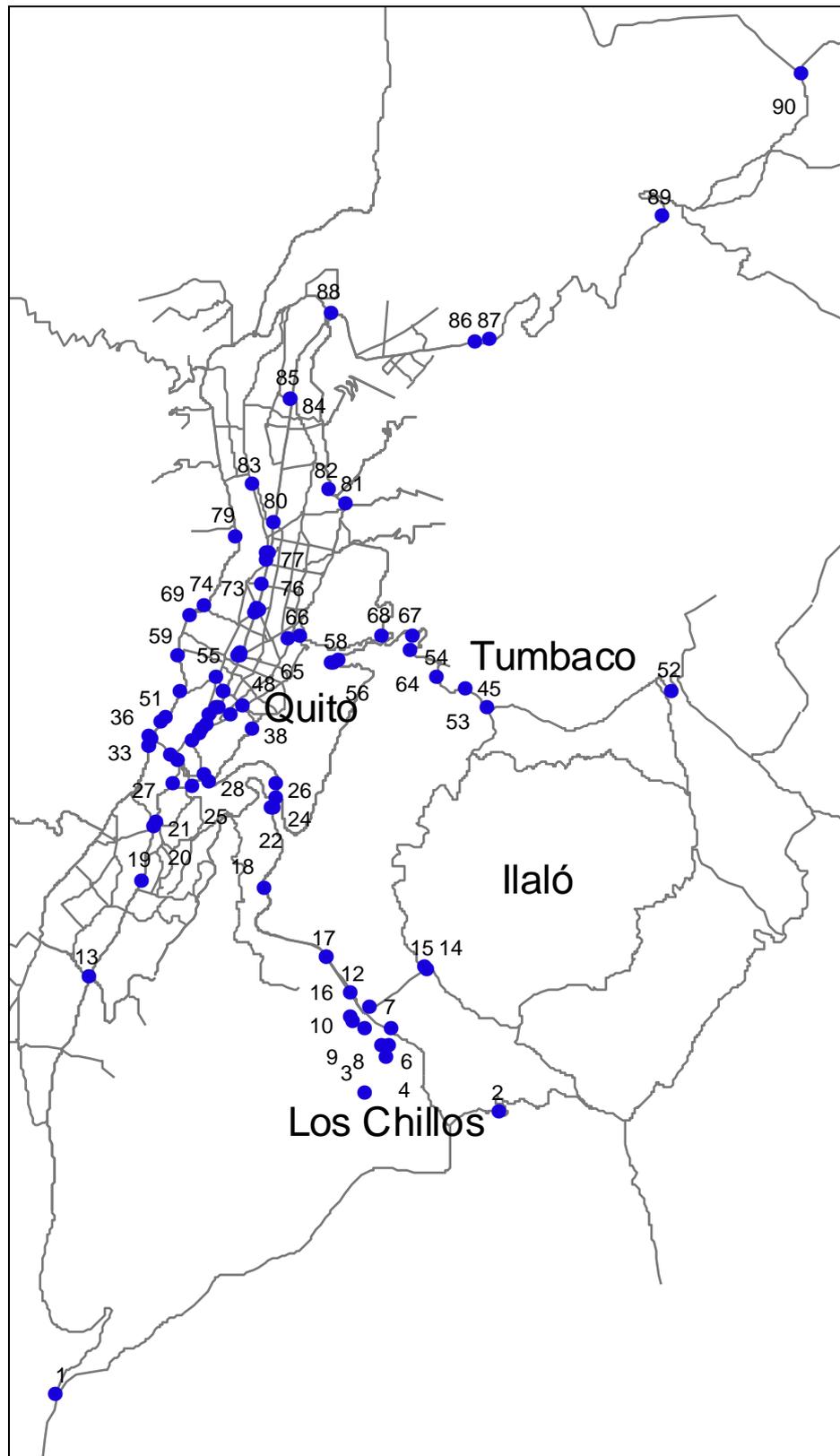
<b>clave</b>	<b>ubicación</b>	<b>latitud (sur)</b>	<b>longitud (oeste)</b>
26	Autopista Rumiñahui (Monjas)	0° 13' 49"	78° 28' 56"
27	Av. Maldonado y El Sena - Río Machángara	0° 13' 48"	78° 30' 42"
28	El Trébol	0° 13' 45"	78° 30' 6"
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	0° 13' 37"	78° 30' 11"
30	Av. Maldonado y 24 de Mayo (Terminal Terrestre)	0° 13' 23"	78° 30' 39"
31	Av. 24 de Mayo (a la salida oriental del túnel)	0° 13' 18"	78° 30' 44"
32	Paso elevado Abdón Calderón	0° 13' 8"	78° 31' 8"
33	Av. Occidental y Abdón Calderón	0° 13' 7"	78° 31' 9"
34	Avenida Pichincha (La Marín)	0° 13' 4"	78° 30' 22"
35	Av. Occidental (bajo el centro popular de San Roque)	0° 13' 1"	78° 31' 6"
36	Av. Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	0° 12' 58"	78° 31' 6"
37	Av. Pichincha y Oriente (San Blas)	0° 12' 55"	78° 30' 15"
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	0° 12' 52"	78° 29' 21"
39	Avenida Pichincha (San Blas)	0° 12' 51"	78° 30' 13"
40	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (San Blas)	0° 12' 46"	78° 30' 7"
41	Av. Occidental y Hno. Miguel	0° 12' 43"	78° 30' 55"
42	Av. Occidental (El Tejar)	0° 12' 39"	78° 30' 52"
43	Antonio Ante y Manuel Larrea	0° 12' 37"	78° 30' 5"
44	Gran Colombia y Yaguachi (Congreso)	0° 12' 35"	78° 29' 44"
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	0° 12' 29"	78° 25' 16"
46	Av. 10 de Agosto y Ríofrío	0° 12' 29"	78° 29' 57"
47	Av. 10 de Agosto y Tarqui	0° 12' 27"	78° 29' 55"
48	Av. Patria y 12 de Octubre	0° 12' 25"	78° 29' 30"
49	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	0° 12' 12"	78° 29' 50"
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	0° 12' 12"	78° 29' 50"

<b>clave</b>	<b>ubicación</b>	<b>latitud (sur)</b>	<b>longitud (oeste)</b>
51	Av. Occidental y Universitaria (Miraflores)	0° 12' 11"	78° 30' 36"
52	Interoceánica - Río Chiche	0° 12' 11"	78° 22' 6"
53	Interoceánica - Quebrada Auqui Chico (antes de la Primavera)	0° 12' 8"	78° 25' 39"
54	Circunvalación Cumbayá (Entrada a San Juan Bautista)	0° 11' 56"	78° 26' 9"
55	Av. América (Universidad Central)	0° 11' 55"	78° 29' 58"
56	Av. de Los Conquistadores - Río Machángara	0° 11' 41"	78° 27' 57"
57	Av. de Los Conquistadores - Quebrada de El Batán	0° 11' 40"	78° 27' 58"
58	Nueva Oriental - Río Machángara	0° 11' 37"	78° 27' 52"
59	Av. Occidental y La Gasca	0° 11' 35"	78° 30' 38"
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	0° 11' 34"	78° 29' 33"
61	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Orellana	0° 11' 33"	78° 29' 35"
62	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	0° 11' 32"	78° 29' 33"
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	0° 11' 31"	78° 29' 33"
64	Interoceánica - Río Machángara	0° 11' 29"	78° 26' 37"
65	Av. 6 de Diciembre e Interoceánica (Plaza Argentina)	0° 11' 16"	78° 28' 44"
66	González Suárez (sobre la Av. Interoceánica)	0° 11' 14"	78° 28' 32"
67	Miravalle (sobre la vía a Cumbayá)	0° 11' 13"	78° 26' 34"
68	Interoceánica y Nueva Oriental (Cumbayá)	0° 11' 13"	78° 27' 8"
69	Av. Occidental y Díaz de Madrid	0° 10' 50"	78° 30' 26"
70	Av. 10 de Agosto y Atahualpa	0° 10' 49"	78° 29' 18"
71	Paso deprimido Av. República y Atahualpa	0° 10' 47"	78° 29' 15"
72	Paso elevado Av. República y Atahualpa	0° 10' 47"	78° 29' 15"
73	Av. 10 de Agosto y República	0° 10' 44"	78° 29' 16"
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	0° 10' 41"	78° 30' 10"
75	Av. 10 de Agosto y Naciones Unidas	0° 10' 19"	78° 29' 10"

<b>clave</b>	<b>ubicación</b>	<b>latitud (sur)</b>	<b>longitud (oeste)</b>
76	Av. 10 de Agosto (al sur de la Y)	0° 9' 54"	78° 29' 5"
77	Av. 10 de Agosto (al nivel de la Y)	0° 9' 47"	78° 29' 4"
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	0° 9' 46"	78° 29' 5"
79	Av. Occidental y Carvajal (El Bosque)	0° 9' 28"	78° 29' 36"
80	El Labrador	0° 9' 13"	78° 28' 58"
81	Av. Eloy Alfaro y Las Palmeras (Zámbiza)	0° 8' 55"	78° 27' 44"
82	Av. Eloy Alfaro y Los Nogales	0° 8' 46"	78° 27' 55"
83	Av. de La Prensa y Amazonas (Aeropuerto)	0° 8' 33"	78° 29' 21"
84	Paso deprimido Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	0° 7' 5"	78° 28' 41"
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	0° 7' 4"	78° 28' 40"
86	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	0° 6' 4"	78° 25' 30"
87	Panamericana Norte (junto a la tenencia política)	0° 6' 3"	78° 25' 13"
88	Carcelén	0° 5' 34"	78° 28' 0"
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	0° 3' 55"	78° 22' 13"
90	Vía a Tabacundo - Río Pisque	0° 1' 23"	78° 19' 50"

### Ubicación de las estructuras analizadas

El siguiente mapa muestra la ubicación de las obras analizadas en el Distrito Metropolitano de Quito:



Ubicación de las obras analizadas en el Distrito Metropolitano de Quito

La descripción de los datos recopilados necesarios, tanto para la aplicación de la metodología HAZUS®99, como para el análisis de obras esenciales por movilidad que se presenta en capítulos posteriores, se muestra a continuación:

1) Tipo de estructura según su función vial (6 tipos)

- Puente: estructura que permite salvar un obstáculo topográfico, siendo éste generalmente un río o una quebrada. También se incluyen en esta categoría las estructuras que únicamente permiten cruzar sobre otra vía. Ejemplos de este tipo de estructura se presentan en las siguientes fotografías:



Ejemplo de puente (Panamericana Norte sobre el río Guayllabamba)



Ejemplo de puente (Miravalle, sobre la vía a Cumbayá)

- Paso elevado: paso a desnivel con dos niveles en el que predomina el tramo elevado. Un ejemplo de este tipo de estructura se presenta en la siguiente fotografía:



Ejemplo de paso elevado (Av. 10 de Agosto y República)

- Puente sobre paso deprimido: paso a desnivel con dos niveles en el que predomina el tramo excavado. Un ejemplo se presenta en la siguiente fotografía:



Ejemplo de puente sobre paso deprimido (Av. de La Prensa y Amazonas)

- Paso tres niveles: se compone de un paso deprimido, una vía al nivel de la calzada, y un paso elevado. Un ejemplo se presenta en la siguiente fotografía:



Ejemplo de paso tres niveles (Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro)

- Intercambiador: obras que permiten vincular varias vías entre sí y repartir el tráfico en todas, o casi todas las direcciones. Un ejemplo se presenta en la siguiente fotografía:

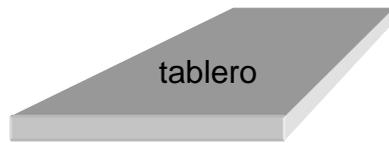


Ejemplo de intercambiador (El Trébol)

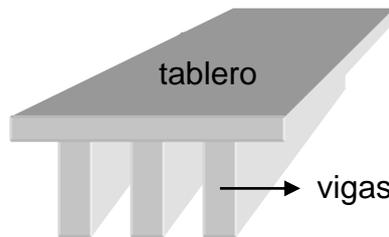
- Puente tren: estructura para uso de ferrocarril. Un ejemplo de este tipo de estructura se presenta en la siguiente fotografía:



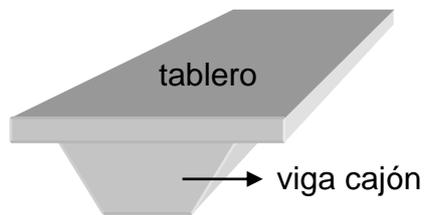
Ejemplo de puente tren (Autopista Rumiñahui)

2) Tipología estructural (5 tipos)

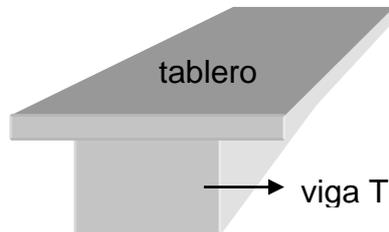
Losa



Losa sobre vigas



Viga cajón



Viga T

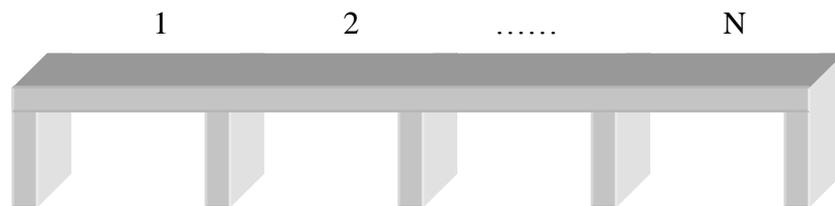


Arco

### 3) Material (7 tipos)

- hormigón armado
- hormigón presforzado
- acero
- mixto (acero y hormigón)
- hormigón armado y hormigón presforzado
- mampostería de piedra
- mampostería de ladrillo

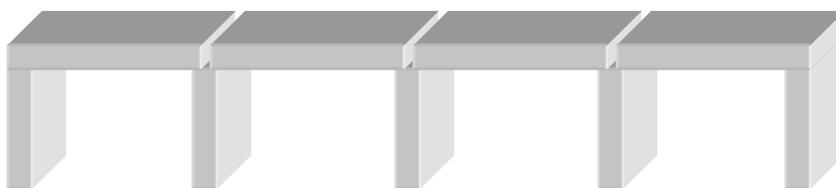
### 4) Número de vanos (N)



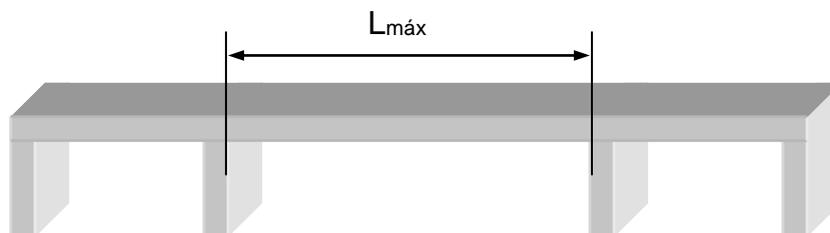
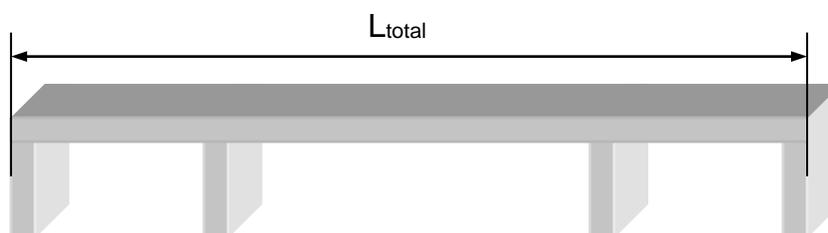
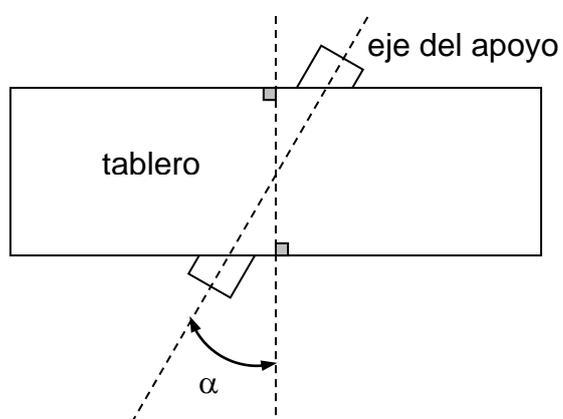
### 5) Condición de apoyo (2 tipos)



Estructura continua



Estructura simplemente apoyada

6) Luz libre máxima entre apoyos ( $L_{\text{máx}}$ )7) Longitud total de la estructura ( $L_{\text{total}}$ )8) Ángulo de esviajamiento (skew angle  $\alpha$ )

La siguiente tabla presenta la recopilación de los datos necesarios para la aplicación de la metodología HAZUS®99, para las 90 estructuras del Distrito Metropolitano de Quito consideradas en el presente estudio:

clave	ubicación	tipo de obra vial	tipología estructural	material	número de vanos	condición de apoyo	luz libre máxima entre apoyos [m]	longitud total de la estructura [m]	ángulo de esviaje [ ° ]
1	Intercambiador de Tambillo	intercambiador	losa	hormigón armado	4	continuo	10	36	30
2	Vía a Pintag - Río Pita	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	19	19	25
3	Calle Venezuela - Río San Pedro (Sangolquí)	puente	arco	mampostería de piedra	1	simplemente apoyado	13	13	0
4	Calle Aurelio Naranjo (San Rafael)	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	8	8	0
5	Calle Avelina Lasso - Río San Pedro (Capelo)	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	14	14	15
6	Av. San Luis - Río Sta Clara (San Rafael)	puente	arco	mampostería de piedra	1	simplemente apoyado	23	23	0
7	Calle I. Isabela - Río Pita (San Rafael)	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	14	14	0
8	Calle Piedad del Castillo - Río San Pedro (Capelo)	puente	arco	mampostería de piedra	1	simplemente apoyado	14	14	0
9	Calle Mariana de Jesús (Capelo)	puente	arco	mampostería de piedra	1	simplemente apoyado	10	10	0
10	Vía a Conocoto - Río San Pedro (El triángulo)	puente	viga T	hormigón armado	1	simplemente apoyado	34	34	0
11	Vía a El Tingo - Río San Pedro	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	20	20	25
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	puente	losa	hormigón armado	6	simplemente apoyado	40	122	0
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	paso elevado	viga T	hormigón armado	7	simplemente apoyado	30	210	0
14	Vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	10	10	15
15	Transversal a la vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	puente	losa sobre vigas	mixto (acero y hormigón)	1	simplemente apoyado	12	12	0
16	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	intercambiador	losa	hormigón armado	3	continuo	17	33	0
17	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	intercambiador	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	11	11	0
18	Autopista Rumiñahui - Puente 3 (Guangopolo)	intercambiador	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	11	11	0
19	Av. Maldonado y Rafael Arteta (San Bartolo)	puente tren	losa sobre vigas	hormigón armado	2	simplemente apoyado	12	33	5
20	Av. Maldonado y Alonso de Angulo (Villa Flora)	paso elevado	losa sobre vigas	hormigón presforzado	8	simplemente apoyado	28	224	15

clave	ubicación	tipo de obra vial	tipología estructural	materiales	número de vanos	condición de apoyo	luz libre máxima entre apoyos [m]	longitud total de la estructura [m]	ángulo de esviaje [°]
21	Av. Maldonado (Redondel Villa Flora)	punto sobre paso deprimido	losa	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	8	8	0
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	punto tren	viga cajón	hormigón armado	5	simplemente apoyado	11	39	0
23	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	punto tren	viga T	hormigón armado	1	simplemente apoyado	20	20	0
24	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	intercambiador	losa sobre vigas	hormigón armado	2	continuo	29	58	0
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	punto	losa	hormigón armado	2	simplemente apoyado	16	32	40
26	Autopista Rumiñahui (Monjas)	punto	viga T	hormigón armado	2	continuo	19	38	25
27	Av. Maldonado y El Sena - Río Machángara	punto	arco	mampostería de ladrillo	1	simplemente apoyado	16	16	0
28	El Trébol	intercambiador	losa sobre vigas	hormigón armado	2	continuo	15	30	0
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	punto	losa sobre vigas	hormigón armado	6	simplemente apoyado	20	120	0
30	Av. Maldonado y 24 de Mayo (Terminal Terrestre)	punto	losa sobre vigas	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	21	21	40
31	Av. 24 de Mayo (a la salida oriental del túnel)	punto	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	25	25	0
32	Paso elevado Abdón Calderón	paso elevado	losa sobre vigas	hormigón presforzado	2	simplemente apoyado	9	19	0
33	Av. Occidental y Abdón Calderón	punto	losa sobre vigas	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	15	15	0
34	Avenida Pichincha (La Marín)	paso elevado	viga cajón	hormigón armado	11	simplemente apoyado	15	85	0
35	Av. Occidental (bajo el centro popular de San Roque)	punto	losa sobre vigas	mixto (acero y hormigón)	1	simplemente apoyado	10	10	30
36	Av. Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	punto	losa	hormigón armado	2	continuo	9	18	45
37	Av. Pichincha y Oriente (San Blas)	punto	losa	hormigón armado	2	continuo	8	10	0
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	paso elevado	losa	hormigón armado	3	simplemente apoyado	18	37	0
39	Avenida Pichincha (San Blas)	punto sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	12	12	25
40	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (San Blas)	punto sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	10	10	0

clave	ubicación	tipo de obra vial	tipología estructural	material	número de vanos	condición de apoyo	luz libre máxima entre apoyos [m]	longitud total de la estructura [m]	ángulo de esviaje [ ° ]
41	Av. Occidental y Hno. Miguel	puente	losa sobre vigas	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	25	25	10
42	Av. Occidental (El Tejar)	intercambiador	losa	hormigón armado	2	continuo	9	18	30
43	Antonio Ante y Manuel Larrea	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	13	13	0
44	Gran Colombia y Yaguachi (Congreso)	puente	losa sobre vigas	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	31	31	30
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	3	simplemente apoyado	25	50	0
46	Av. 10 de Agosto y Ríofrío	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	9	9	0
47	Av. 10 de Agosto y Tarqui	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	8	8	25
48	Av. Patria y 12 de Octubre	intercambiador	losa	hormigón armado	3	continuo	7	17	0
49	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	6	6	0
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	paso 3 niveles	losa	hormigón armado	4	simplemente apoyado	22	72	0
51	Av. Occidental y Universitaria (Miraflores)	intercambiador	losa	hormigón armado	2	continuo	9	18	30
52	Interoceánica - Río Chiche	puente	losa sobre vigas	acero	3	simplemente apoyado	72	135	0
53	Interoceánica - Quebrada Auqui Chico (antes de la Primavera)	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	25	25	0
54	Circunvalación Cumbayá (Entrada a San Juan Bautista)	intercambiador	losa	hormigón presforzado	2	continuo	12	24	15
55	Av. América (Universidad Central)	intercambiador	losa sobre vigas	h. armado y h. presforzado	1	simplemente apoyado	10	10	0
56	Av. de Los Conquistadores - Río Machángara	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	20	20	0
57	Av. de Los Conquistadores - Quebrada de El Batán	puente	arco	mampostería de ladrillo	1	simplemente apoyado	19	19	0
58	Nueva Oriental - Río Machángara	puente	losa sobre vigas	mixto (acero y hormigón)	3	simplemente apoyado	62	130	0
59	Av. Occidental y La Gasca	puente	losa	hormigón armado	2	continuo	10	20	0

clave	ubicación	tipo de obra vial	tipología estructural	material	número de vanos	condición de apoyo	luz libre máxima entre apoyos [m]	longitud total de la estructura [m]	ángulo de esviaje [ ° ]
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	paso 3 niveles	losa	hormigón armado	5	simplemente apoyado	15	75	0
61	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Orellana	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	2	continuo	10	20	20
62	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	10	10	45
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	paso 3 niveles	losa	hormigón armado	10	simplemente apoyado	15	150	0
64	Interoceánica - Río Machángara	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	3	simplemente apoyado	30	91	0
65	Av. 6 de Diciembre e Interocéánica (Plaza Argentina)	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	10	10	25
66	González Suárez (sobre la Av. Interocéánica)	puente	losa sobre vigas	mixto (acero y hormigón)	3	continuo	45	125	0
67	Miravalle (sobre la vía a Cumbayá)	puente	losa sobre vigas	hormigón presforzado	1	simplemente apoyado	18	18	0
68	Interocéánica y Nueva Oriental (Cumbayá)	intercambiador	losa sobre vigas	hormigón presforzado	2	continuo	30	60	35
69	Av. Occidental y Díaz de Madrid	puente	losa	hormigón armado	2	simplemente apoyado	10	20	0
70	Av. 10 de Agosto y Atahualpa	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	2	continuo	11	19	45
71	Paso deprimido Av. República y Atahualpa	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	11	11	0
72	Paso elevado Av. República y Atahualpa	paso elevado	losa	hormigón armado	11	simplemente apoyado	15	131	0
73	Av. 10 de Agosto y República	paso elevado	viga cajón	hormigón armado	12	simplemente apoyado	25	293	0
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	intercambiador	losa	hormigón armado	3	simplemente apoyado	13	22	0
75	Av. 10 de Agosto y Naciones Unidas	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	17	17	0
76	Av. 10 de Agosto (al sur de la Y)	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	16	16	0
77	Av. 10 de Agosto (al nivel de la Y)	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	16	16	0
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	paso elevado	viga cajón	hormigón armado	4	simplemente apoyado	24	74	0
79	Av. Occidental y Carvajal (El Bosque)	intercambiador	losa	hormigón armado	4	continuo	12	38	0

clave	ubicación	tipo de obra vial	tipología estructural	material	número de vanos	condición de apoyo	luz libre máxima entre apoyos [m]	longitud total de la estructura [m]	ángulo de esviaje [ ° ]
80	El Labrador	intercambiador	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	13	13	45
81	Av. Eloy Alfaro y Las Palmeras (Zámbiza)	intercambiador	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	30	30	15
82	Av. Eloy Alfaro y Los Nogales	puente	losa sobre vigas	hormigón armado	1	simplemente apoyado	12	12	5
83	Av. de La Prensa y Amazonas (Aeropuerto)	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	15	15	40
84	Paso deprimido Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	puente sobre paso deprimido	losa	hormigón armado	1	simplemente apoyado	11	11	0
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	paso 3 niveles	viga T	hormigón armado	3	simplemente apoyado	23	65	0
86	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	puente	losa sobre vigas	hormigón presforzado	2	simplemente apoyado	24	48	0
87	Panamericana Norte (junto a la tenencia política)	puente	losa sobre vigas	hormigón presforzado	2	simplemente apoyado	23	35	25
88	Carcelén	intercambiador	losa	hormigón armado	4	continuo	14	52	0
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	puente	losa	hormigón presforzado	3	simplemente apoyado	60	100	0
90	Vía a Tabacundo - Río Pisque	puente	viga T	hormigón armado	1	simplemente apoyado	30	30	0

Datos para la aplicación de la metodología HAZUS®99 de las estructuras del Distrito Metropolitano de Quito consideradas en el presente estudio

Además, para establecer si las estructuras responden a un diseño convencional o sísmico, se realizó un trabajo de oficina determinando si la fecha de construcción de los puentes es anterior o posterior a 1996 (año desde cuando se ha asumido se aplican normas antisísmicas); para esto, se utilizó fotografías aéreas de 1989 y 1996, y una imagen satelital SPOT de 1994 (Base de datos de la Unidad de Estudios e Información de la Dirección de Territorio y Vivienda del Municipio).

La siguiente tabla muestra la información de cada estructura referente a si fue construida antes o después de 1996:

<b>clave</b>	<b>ubicación</b>	<b>año de construcción</b>
1	Intercambiador de Tambillo	antes de 1996
2	Vía a Pintag - Río Pita	antes de 1996
3	Calle Venezuela - Río San Pedro (Sangolquí)	antes de 1996
4	Calle Aurelio Naranjo (San Rafael)	antes de 1996
5	Calle Avelina Lasso - Río San Pedro (Capelo)	antes de 1996
6	Av. San Luis - Río Sta Clara (San Rafael)	antes de 1996
7	Calle I. Isabela - Río Pita (San Rafael)	antes de 1996
8	Calle Piedad del Castillo - Río San Pedro (Capelo)	antes de 1996
9	Calle Mariana de Jesús (Capelo)	antes de 1996
10	Vía a Conocoto - Río San Pedro (El triángulo)	antes de 1996
11	Vía a El Tingo - Río San Pedro	antes de 1996
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	antes de 1996
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	antes de 1996
14	Vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	antes de 1996
15	Transversal a la vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	antes de 1996
16	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	antes de 1996
17	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	antes de 1996
18	Autopista Rumiñahui - Puente 3 (Guangopolo)	antes de 1996
19	Av. Maldonado y Rafael Arteta (San Bartolo)	antes de 1996
20	Av. Maldonado y Alonso de Angulo (Villa Flora)	después de 1996
21	Av. Maldonado (Redondel Villa Flora)	después de 1996
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	antes de 1996
23	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	antes de 1996
24	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	antes de 1996
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	antes de 1996
26	Autopista Rumiñahui (Monjas)	antes de 1996
27	Av. Maldonado y El Sena - Río Machángara	antes de 1996
28	El Trébol	antes de 1996
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	antes de 1996
30	Av. Maldonado y 24 de Mayo (Terminal Terrestre)	antes de 1996
31	Av. 24 de Mayo (a la salida oriental del túnel)	antes de 1996
32	Paso elevado Abdón Calderón	antes de 1996
33	Av. Occidental y Abdón Calderón	antes de 1996
34	Avenida Pichincha (La Marín)	antes de 1996
35	Av. Occidental (bajo el centro popular de San Roque)	antes de 1996
36	Av. Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	antes de 1996
37	Av. Pichincha y Oriente (San Blas)	antes de 1996
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	antes de 1996
39	Avenida Pichincha (San Blas)	antes de 1996
40	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (San Blas)	antes de 1996
41	Av. Occidental y Hno. Miguel	antes de 1996
42	Av. Occidental (El Tejar)	antes de 1996
43	Antonio Ante y Manuel Larrea	antes de 1996
44	Gran Colombia y Yaguachi (Congreso)	antes de 1996

<b>clave</b>	<b>ubicación</b>	<b>año de construcción</b>
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	antes de 1996
46	Av. 10 de Agosto y Ríofrío	antes de 1996
47	Av. 10 de Agosto y Tarqui	antes de 1996
48	Av. Patria y 12 de Octubre	antes de 1996
49	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	antes de 1996
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	antes de 1996
51	Av. Occidental y Universitaria (Miraflores)	antes de 1996
52	Interoceánica - Río Chiche	antes de 1996
53	Interoceánica - Quebrada Auqui Chico (antes de la Primavera)	antes de 1996
54	Circunvalación Cumbayá (Entrada a San Juan Bautista)	antes de 1996
55	Av. América (Universidad Central)	después de 1996
56	Av. de Los Conquistadores - Río Machángara	antes de 1996
57	Av. de Los Conquistadores - Quebrada de El Batán	antes de 1996
58	Nueva Oriental - Río Machángara	antes de 1996
59	Av. Occidental y La Gasca	antes de 1996
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	antes de 1996
61	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Orellana	antes de 1996
62	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	antes de 1996
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	antes de 1996
64	Interoceánica - Río Machángara	antes de 1996
65	Av. 6 de Diciembre e Interoceánica (Plaza Argentina)	antes de 1996
66	González Suárez (sobre la Av. Interoceánica)	antes de 1996
67	Miravalle (sobre la vía a Cumbayá)	antes de 1996
68	Interoceánica y Nueva Oriental (Cumbayá)	antes de 1996
69	Av. Occidental y Díaz de Madrid	antes de 1996
70	Av. 10 de Agosto y Atahualpa	antes de 1996
71	Paso deprimido Av. República y Atahualpa	antes de 1996
72	Paso elevado Av. República y Atahualpa	antes de 1996
73	Av. 10 de Agosto y República	antes de 1996
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	antes de 1996
75	Av. 10 de Agosto y Naciones Unidas	antes de 1996
76	Av. 10 de Agosto (al sur de la Y)	antes de 1996
77	Av. 10 de Agosto (al nivel de la Y)	antes de 1996
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	antes de 1996
79	Av. Occidental y Carvajal (El Bosque)	antes de 1996
80	El Labrador	antes de 1996
81	Av. Eloy Alfaro y Las Palmeras (Zámbiza)	antes de 1996
82	Av. Eloy Alfaro y Los Nogales	antes de 1996
83	Av. de La Prensa y Amazonas (Aeropuerto)	antes de 1996
84	Paso deprimido Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	antes de 1996
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	antes de 1996
86	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	antes de 1996
87	Panamericana Norte (junto a la tenencia política)	antes de 1996
88	Carcelén	antes de 1996
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	antes de 1996
90	Vía a Tabacundo – Río Pisque	antes de 1996

Año de construcción de los puentes

Según la ubicación de las estructuras y en base a la microzonificación de suelos del Distrito Metropolitano de Quito, es posible establecer el tipo de suelo del CEC-2000 sobre el que se encuentra cada obra. La siguiente tabla presenta el tipo de suelo de emplazamiento de cada estructura:

Clave	Ubicación	Tipo de suelo CEC-2000
1	Intercambiador de Tambillo	S2
2	Vía a Pintag - Río Pita	S2
3	Calle Venezuela - Río San Pedro (Sangolquí)	S2
4	Calle Aurelio Naranjo (San Rafael)	S2
5	Calle Avelina Lasso - Río San Pedro (Capelo)	S2
6	Av. San Luis - Río Sta Clara (San Rafael)	S2
7	Calle I. Isabela - Río Pita (San Rafael)	S2
8	Calle Piedad del Castillo - Río San Pedro (Capelo)	S2
9	Calle Mariana de Jesús (Capelo)	S2
10	Vía a Conocoto - Río San Pedro (El triángulo)	S2
11	Vía a El Tingo - Río San Pedro	S2
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	S2
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	S2
14	Vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	S2
15	Transversal a la vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	S2
16	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	S2
17	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	S2
18	Autopista Rumiñahui - Puente 3 (Guangopolo)	S2
19	Av. Maldonado y Rafael Arteta (San Bartolo)	S2
20	Av. Maldonado y Alonso de Angulo (Villa Flora)	S2
21	Av. Maldonado (Redondel Villa Flora)	S2
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	S2
23	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	S2
24	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	S2
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	S2
26	Autopista Rumiñahui (Monjas)	S2
27	Av. Maldonado y El Sena - Río Machángara	S2
28	El Trébol	S2
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	S3
30	Av. Maldonado y 24 de Mayo (Terminal Terrestre)	S3
31	Av. 24 de Mayo (a la salida oriental del túnel)	S3
32	Paso elevado Abdón Calderón	S1
33	Av. Occidental y Abdón Calderón	S1
34	Avenida Pichincha (La Marín)	S2
35	Av. Occidental (bajo el centro popular de San Roque)	S3
36	Av. Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	S3
37	Av. Pichincha y Oriente (San Blas)	S2
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	S1
39	Avenida Pichincha (San Blas)	S2

<b>Clave</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tipo de suelo CEC-2000</b>
40	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (San Blas)	S2
41	Av. Occidental y Hno. Miguel	S1
42	Av. Occidental (El Tejar)	S1
43	Antonio Ante y Manuel Larrea	S2
44	Gran Colombia y Yaguachi (Congreso)	S2
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	S1
46	Av. 10 de Agosto y Ríofrío	S2
47	Av. 10 de Agosto y Tarqui	S2
48	Av. Patria y 12 de Octubre	S2
49	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	S2
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	S2
51	Av. Occidental y Universitaria (Miraflores)	S2
52	Interoceánica - Río Chiche	S2
53	Interoceánica - Quebrada Auqui Chico (antes de la Primavera)	S2
54	Circunvalación Cumbayá (Entrada a San Juan Bautista)	S2
55	Av. América (Universidad Central)	S2
56	Av. de Los Conquistadores - Río Machángara	S1
57	Av. de Los Conquistadores - Quebrada de El Batán	S1
58	Nueva Oriental - Río Machángara	S1
59	Av. Occidental y La Gasca	S1
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	S2
61	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Orellana	S2
62	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	S2
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	S2
64	Interoceánica - Río Machángara	S2
65	Av. 6 de Diciembre e Interoceánica (Plaza Argentina)	S2
66	González Suárez (sobre la Av. Interoceánica)	S3
67	Miravalle (sobre la vía a Cumbayá)	S2
68	Interoceánica y Nueva Oriental (Cumbayá)	S1
69	Av. Occidental y Díaz de Madrid	S1
70	Av. 10 de Agosto y Atahualpa	S1
71	Paso deprimido Av. República y Atahualpa	S1
72	Paso elevado Av. República y Atahualpa	S1
73	Av. 10 de Agosto y República	S1
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	S3
75	Av. 10 de Agosto y Naciones Unidas	S2
76	Av. 10 de Agosto (al sur de la Y)	S2
77	Av. 10 de Agosto (al nivel de la Y)	S2
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	S2
79	Av. Occidental y Carvajal (El Bosque)	S1
80	El Labrador	S2
81	Av. Eloy Alfaro y Las Palmeras (Zámbiza)	S1
82	Av. Eloy Alfaro y Los Nogales	S1
83	Av. de La Prensa y Amazonas (Aeropuerto)	S1
84	Paso deprimido Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	S1
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	S1
86	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	S2
87	Panamericana Norte (junto a la tenencia política)	S2

Clave	Ubicación	Tipo de suelo CEC-2000
88	Carcelén	S1
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	S2
90	Vía a Tabacundo - Río Pisque	S2

Tipos de suelo definidos en el CEC-2000 para las obras analizadas

### **2.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HAZUS®99 MODIFICADA A LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES BAJO ESTUDIO DE QUITO**

Para la aplicación de la metodología adaptada al Distrito Metropolitano de Quito, se consideraron cuatro niveles de sismo: ligero, moderado, severo y muy severo. Cada uno de estos sismos está caracterizado por una aceleración máxima del suelo PGA esperada.

La siguiente tabla muestra los valores de PGA expresados como fracción de la gravedad, correspondientes a cada nivel de sismo (Yépez, 2002).

nivel del sismo	PGA [g]
ligero	0.05
moderado	0.10
severo	0.25
muy severo	0.40

Valores de PGA expresados como fracción de la gravedad según el tipo de sismo

Los resultados de la aplicación de la metodología HAZUS®99 presentan las probabilidades de que las obras alcancen distintos niveles de daño. Los niveles de daño de las estructuras están definidos como la relación entre el costo de reparación y el costo de reemplazo del puente considerando una evaluación de las pérdidas económicas directas; estos niveles de daño se catalogan dentro de las siguientes clases (FEMA – NIBS, 1999):

- Daño despreciable o menor

El daño despreciable o menor está caracterizado por: grietas menores debido a una acción de cortante en los estribos, grietas menores en las columnas o en el tablero, donde el daño no requiere más que reparaciones superficiales.

- Daño moderado

El daño moderado está caracterizado por: cualquier columna que experimente grietas o rupturas moderadas debido a acciones de corte, pero que continúe siendo segura estructuralmente, desplazamientos moderados de los estribos (menores que 5 cm), cualquier conexión que presente grietas debidas a corte, falla de los apoyos, o asentamientos moderados en los accesos.

- Daño extenso

El daño extenso está caracterizado por: cualquier columna disminuida en su capacidad estructural debido a fallas por cortante, de tal manera que se vuelva estructuralmente insegura sin llegar al colapso, considerables desplazamientos residuales o asentamientos diferenciales de las conexiones, asentamientos importantes en los accesos, falla por acciones de corte en los estribos.

- Daño completo

El daño completo está caracterizado por: el colapso de cualquier columna y la pérdida de conexión con los apoyos, lo que conduce a un desplome inminente del tablero, o la inclinación de la subestructura debido a fallas en la cimentación.

En la siguiente tabla se presenta las probabilidades para cada nivel de daño, para un sismo ligero y moderado según la metodología HAZUS®99 adaptada al Distrito Metropolitano de Quito.

clave	sismo ligero (PGA = 0.05g)					sismo moderado (PGA = 0.10g)				
	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo
1	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
2	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
3	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
4	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
5	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
6	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
7	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
8	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
9	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
10	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
11	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
12	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
13	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
14	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
15	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
16	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
17	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
18	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
19	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	0%	0%	0%
20	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
21	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
22	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
23	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
24	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
25	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
26	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
27	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
28	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
29	98%	2%	0%	0%	0%	62%	26%	8%	4%	0%
30	100%	0%	0%	0%	0%	99%	1%	0%	0%	0%
31	100%	0%	0%	0%	0%	99%	1%	0%	0%	0%
32	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
33	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
34	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
35	100%	0%	0%	0%	0%	99%	1%	0%	0%	0%
36	100%	0%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%
37	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
38	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
39	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
40	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
41	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
42	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
43	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%

clave	sismo ligero (PGA = 0.05g)					sismo moderado (PGA = 0.10g)				
	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo
44	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
45	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
46	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
47	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
48	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
49	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
50	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
51	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
52	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
53	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
54	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
55	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
56	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
57	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
58	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
59	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
60	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
61	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
62	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
63	100%	0%	0%	0%	0%	90%	8%	1%	0%	0%
64	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
65	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
66	100%	0%	0%	0%	0%	99%	1%	0%	0%	0%
67	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
68	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
69	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
70	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
71	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
72	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
73	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
74	98%	2%	0%	0%	0%	62%	29%	6%	3%	0%
75	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
76	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
77	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
78	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
79	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
80	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
81	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
82	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
83	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
84	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
85	100%	0%	0%	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
86	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	0%	0%	0%
87	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
88	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
89	100%	0%	0%	0%	0%	90%	9%	1%	0%	0%
90	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%

Probabilidades por niveles de daño para sismo ligero y moderado

En la siguiente tabla se presenta las probabilidades para cada nivel de daño, para un sismo severo y muy severo según la metodología HAZUS®99 adaptada al Distrito Metropolitano de Quito.

clave	sismo severo (PGA = 0.25g)					sismo muy severo (PGA = 0.40g)				
	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo
1	64%	32%	3%	1%	0%	21%	52%	18%	7%	2%
2	86%	12%	2%	1%	0%	46%	32%	12%	8%	1%
3	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
4	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
5	86%	12%	1%	1%	0%	46%	35%	11%	7%	1%
6	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
7	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
8	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
9	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
10	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
11	86%	12%	2%	1%	0%	46%	32%	12%	8%	1%
12	16%	29%	22%	25%	8%	1%	8%	13%	36%	41%
13	16%	28%	22%	26%	8%	1%	8%	13%	36%	42%
14	86%	12%	1%	1%	0%	46%	35%	11%	7%	1%
15	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
16	64%	34%	2%	0%	0%	21%	60%	14%	5%	1%
17	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
18	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
19	16%	46%	19%	16%	3%	1%	17%	19%	37%	25%
20	64%	31%	4%	1%	0%	21%	50%	21%	8%	1%
21	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
22	16%	30%	22%	25%	8%	1%	8%	14%	37%	40%
23	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
24	64%	34%	1%	0%	0%	21%	63%	12%	4%	1%
25	16%	33%	22%	23%	7%	1%	10%	15%	37%	37%
26	64%	34%	2%	0%	0%	21%	59%	14%	5%	1%
27	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
28	64%	34%	1%	0%	0%	21%	63%	12%	4%	1%
29	2%	11%	16%	37%	33%	0%	1%	3%	19%	77%
30	54%	24%	12%	9%	1%	14%	21%	20%	31%	15%
31	54%	33%	8%	5%	1%	14%	34%	19%	24%	8%
32	32%	48%	12%	7%	1%	5%	32%	22%	29%	11%
33	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
34	16%	26%	22%	27%	9%	1%	7%	13%	36%	43%
35	54%	28%	10%	7%	1%	14%	27%	20%	28%	11%
36	27%	50%	16%	6%	2%	4%	30%	28%	22%	17%
37	64%	34%	1%	0%	0%	21%	63%	12%	4%	1%
38	32%	40%	16%	11%	2%	5%	22%	21%	34%	17%
39	86%	12%	2%	1%	0%	46%	32%	12%	8%	1%
40	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
41	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
42	82%	18%	1%	0%	0%	40%	51%	7%	2%	0%
43	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%

clave	sismo severo (PGA = 0.25g)					sismo muy severo (PGA = 0.40g)				
	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo	sin daño	ligero	moderado	extenso	completo
44	86%	11%	2%	1%	0%	46%	31%	12%	9%	1%
45	32%	40%	16%	11%	2%	5%	22%	21%	34%	17%
46	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
47	86%	12%	2%	1%	0%	46%	32%	12%	8%	1%
48	64%	34%	2%	0%	0%	21%	60%	14%	5%	1%
49	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
50	16%	32%	22%	24%	7%	1%	9%	14%	37%	38%
51	64%	33%	2%	0%	0%	21%	58%	15%	5%	1%
52	16%	28%	22%	26%	8%	1%	8%	13%	36%	41%
53	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
54	64%	34%	2%	0%	0%	21%	62%	13%	4%	1%
55	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
56	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
57	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
58	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
59	82%	18%	0%	0%	0%	40%	54%	5%	1%	0%
60	16%	30%	22%	25%	8%	1%	8%	14%	37%	40%
61	64%	34%	2%	0%	0%	21%	61%	13%	4%	1%
62	86%	9%	3%	1%	0%	46%	22%	15%	13%	3%
63	16%	27%	22%	26%	9%	1%	7%	13%	36%	43%
64	16%	36%	21%	22%	6%	1%	11%	16%	37%	34%
65	86%	12%	2%	1%	0%	46%	32%	12%	8%	1%
66	54%	33%	8%	5%	1%	14%	34%	19%	24%	8%
67	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
68	82%	17%	1%	0%	0%	40%	50%	8%	2%	0%
69	32%	48%	12%	7%	1%	5%	32%	22%	29%	11%
70	82%	17%	1%	0%	0%	40%	47%	10%	3%	1%
71	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
72	32%	31%	19%	15%	3%	5%	15%	19%	37%	24%
73	32%	31%	19%	15%	3%	5%	15%	19%	37%	24%
74	2%	15%	18%	37%	27%	0%	2%	4%	22%	72%
75	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
76	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
77	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%
78	16%	32%	22%	24%	7%	1%	9%	14%	37%	38%
79	82%	18%	1%	0%	0%	40%	51%	7%	2%	0%
80	86%	9%	3%	1%	0%	46%	22%	15%	13%	3%
81	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
82	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
83	95%	4%	1%	0%	0%	68%	20%	8%	5%	1%
84	95%	5%	0%	0%	0%	68%	25%	5%	2%	0%
85	32%	40%	16%	11%	2%	5%	22%	21%	34%	17%
86	16%	46%	19%	16%	3%	1%	17%	19%	37%	25%
87	16%	41%	20%	19%	4%	1%	14%	18%	37%	29%
88	82%	18%	1%	0%	0%	40%	51%	7%	2%	0%
89	16%	36%	21%	22%	6%	1%	11%	16%	37%	34%
90	86%	12%	1%	0%	0%	46%	36%	10%	7%	1%

Probabilidades por niveles de daño para sismo severo y muy severo

Las probabilidades obtenidas en las tablas anteriores, pueden constituirse en una herramienta para la toma de decisiones emergentes en caso de sismo y para establecer planes de mitigación del riesgo.

En lo que se refiere a la planificación de la mitigación del riesgo sísmico, es posible establecer la modificación de los códigos de diseño y/o construcción utilizados en determinada localidad, si se determina, a partir de las probabilidades obtenidas, que gran parte de las estructuras analizadas presentan un alto grado de vulnerabilidad; en este caso sería urgente un cambio orientado hacia la determinación de normas de diseño y/o construcción más exigentes, que consideren el efecto sísmico.

Asimismo, a partir de las probabilidades obtenidas, es posible establecer la restricción del diseño y construcción de un tipo específico de estructuras en determinada localidad que, por ejemplo, presenten una mayor vulnerabilidad ante la acción sísmica.

Considerando que los puentes y pasos elevados constituyen un elemento primordial dentro del sistema de transportación de una ciudad, es necesario proteger las estructuras que a la vez están sometidas a una alta amenaza sísmica, son esenciales desde el punto de vista de funcionalidad en la movilización, y son vulnerables ante un terremoto. La obtención de las probabilidades para cada nivel de daño, establece la vulnerabilidad de cada estructura; esta información complementada con un análisis de la esencialidad de cada obra, permite determinar las estructuras que requieren ser reforzadas con el fin de disminuir las pérdidas ante la ocurrencia de un evento sísmico.

En lo que concierne a la toma de decisiones emergentes en caso de ocurrencia de un terremoto, una vez que se han obtenido las probabilidades que permiten establecer la vulnerabilidad de cada estructura, es posible desarrollar programas de movilización, rescate y evacuación por rutas seguras, realizando un trabajo coordinado entre autoridades, instituciones encargadas de promover la prevención y atender a la población en caso de desastres, y profesionales

conocedores de la problemática de la movilización en una localidad, así como técnicos en el campo de la ingeniería estructural y sísmica.

Adicionalmente, la interpretación de los resultados obtenidos proporciona a los responsables del manejo del riesgo sísmico, una mejor comprensión de los diversos factores que influyen en el riesgo, lo que es de suma importancia para una toma de decisiones correctamente sustentada.

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL**

Una vez que se ha aplicado la metodología HAZUS®99 en los puentes y pasos elevados ubicados dentro del Distrito Metropolitano de Quito, es necesario recalcar que, evidentemente, las medianas de aceleraciones espectrales propias de la metodología y que constituyen uno de los principales parámetros en la estimación de la vulnerabilidad, corresponden a valores que provienen de la experiencia con terremotos y el comportamiento de los puentes observado en zonas sísmicas de los Estados Unidos. Estas medianas, afectadas por coeficientes que dependen de las características particulares de cada estructura, caracterizan a las curvas de fragilidad que sirven para determinar la probabilidad para los distintos niveles de daño.

Los valores de estas medianas sin lugar a dudas evidencian la alta calidad que presenta la construcción de puentes en los Estados Unidos, incluso para aquellas estructuras de diseño convencional. Este nivel de calidad, implica varios parámetros que no necesariamente cumplen los puentes de la ciudad de Quito. Asimismo, la aplicación de la metodología HAZUS®99 considerada en el presente estudio, asume la inexistencia de problemas de inestabilidad de los puentes debido a fallas en la cimentación, deslizamiento de estribos o socavación de las bases.

Por lo antes mencionado, los valores de probabilidad que se analizarán en este capítulo, deben ser considerados como mínimos, y que muy probablemente se incrementarán cuando se realice un estudio para establecer los valores de aceleración espectral, que correspondan a la realidad de las estructuras del Distrito Metropolitano de Quito.

Además, la consideración de que los valores de probabilidad obtenidos para cada nivel de daño sean adoptados como mínimos, se fortalece debido a que la metodología HAZUS®99 no toma en cuenta la calidad de materiales y procesos empleada en la construcción de las estructuras, ni tampoco el estado de deterioro actual del tablero, vigas, pilas o cimentación de la obra.

Finalmente, la posibilidad de que se presenten deslizamientos en áreas aledañas a la cimentación o estribos como consecuencia de las aceleraciones sísmicas consideradas, hace que necesariamente los valores determinados en el presente estudio, puedan ser fácilmente superados en el caso de los puentes y pasos elevados del Distrito Metropolitano de Quito.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se presenta a continuación el análisis realizado sobre los resultados obtenidos.

En la siguiente tabla se muestra los niveles de daño que presentan una probabilidad mayor al 50% para cada estructura analizada y para cada escenario sísmico.

clave	ubicación	nivel de daño con una probabilidad mayor al 50%			
		sismo ligero	sismo moderado	sismo severo	sismo muy severo
1	Intercambiador de Tambillo	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
2	Vía a Pintag - Río Pita	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
3	Calle Venezuela - Río San Pedro (Sangolquí)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
4	Calle Aurelio Naranjo (San Rafael)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
5	Calle Avelina Lasso - Río San Pedro (Capelo)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
6	Av. San Luis - Río Sta Clara (San Rafael)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
7	Calle I. Isabela - Río Pita (San Rafael)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
8	Calle Piedad del Castillo - Río San Pedro (Capelo)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
9	Calle Mariana de Jesús (Capelo)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor

clave	ubicación	nivel de daño con una probabilidad mayor al 50%			
		sismo ligero	sismo moderado	sismo severo	sismo muy severo
10	Vía a Conocoto - Río San Pedro (El triángulo)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
11	Vía a El Tingo - Río San Pedro	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
14	Vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
15	Transversal a la vía a El Tingo - Quebrada Ushimana	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
16	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
17	Autopista Rumiñahui - Entrada a Conocoto	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
18	Autopista Rumiñahui - Puente 3 (Guangopolo)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
19	Av. Maldonado y Rafael Arteta (San Bartolo)	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
20	Av. Maldonado y Alonso de Angulo (Villa Flora)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
21	Av. Maldonado (Redondel Villa Flora)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
23	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
24	Autopista Rumiñahui y Nueva Oriental	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
26	Autopista Rumiñahui (Monjas)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
27	Av. Maldonado y El Sena - Río Machángara	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
28	El Trébol	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	nulo	nulo	extenso o mayor	completo
30	Av. Maldonado y 24 de Mayo (Terminal Terrestre)	nulo	nulo	nulo	moderado o mayor
31	Av. 24 de Mayo (a la salida oriental del túnel)	nulo	nulo	nulo	moderado o mayor
32	Paso elevado Abdón Calderón	nulo	nulo	ligero o mayor	moderado o mayor
33	Av. Occidental y Abdón Calderón	nulo	nulo	nulo	nulo

clave	ubicación	nivel de daño con una probabilidad mayor al 50%			
		sismo ligero	sismo moderado	sismo severo	sismo muy severo
34	Avenida Pichincha (La Marín)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
35	Av. Occidental (bajo el centro popular de San Roque)	nulo	nulo	nulo	moderado o mayor
36	Av. Occidental y 24 de Mayo (San Roque)	nulo	nulo	ligero o mayor	moderado o mayor
37	Av. Pichincha y Oriente (San Blas)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
39	Avenida Pichincha (San Blas)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
40	Av. 10 de Agosto y Gran Colombia (San Blas)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
41	Av. Occidental y Hno. Miguel	nulo	nulo	nulo	nulo
42	Av. Occidental (El Tejar)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
43	Antonio Ante y Manuel Larrea	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
44	Gran Colombia y Yaguachi (Congreso)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
46	Av. 10 de Agosto y Ríofrío	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
47	Av. 10 de Agosto y Tarqui	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
48	Av. Patria y 12 de Octubre	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
49	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
51	Av. Occidental y Universitaria (Miraflores)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
52	Interoceánica - Río Chiche	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
53	Interoceánica - Quebrada Auqui Chico (antes de la Primavera)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
54	Circunvalación Cumbayá (Entrada a San Juan Bautista)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
55	Av. América (Universidad Central)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
56	Av. de Los Conquistadores - Río Machángara	nulo	nulo	nulo	nulo
57	Av. de Los Conquistadores - Quebrada de El Batán	nulo	nulo	nulo	nulo

clave	ubicación	nivel de daño con una probabilidad mayor al 50%			
		sismo ligero	sismo moderado	sismo severo	sismo muy severo
58	Nueva Oriental - Río Machángara	nulo	nulo	nulo	nulo
59	Av. Occidental y La Gasca	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
61	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Orellana	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
62	Paso deprimido Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
64	Interoceánica - Río Machángara	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
65	Av. 6 de Diciembre e Interoceánica (Plaza Argentina)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
66	González Suárez (sobre la Av. Interoceánica)	nulo	nulo	nulo	moderado o mayor
67	Miravalle (sobre la vía a Cumbayá)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
68	Interoceánica y Nueva Oriental (Cumbayá)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
69	Av. Occidental y Díaz de Madrid	nulo	nulo	ligero o mayor	moderado o mayor
70	Av. 10 de Agosto y Atahualpa	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
71	Paso deprimido Av. República y Atahualpa	nulo	nulo	nulo	nulo
72	Paso elevado Av. República y Atahualpa	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
73	Av. 10 de Agosto y República	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	nulo	nulo	extenso o mayor	completo
75	Av. 10 de Agosto y Naciones Unidas	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
76	Av. 10 de Agosto (al sur de la Y)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
77	Av. 10 de Agosto (al nivel de la Y)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	nulo	nulo	moderado o mayor	extenso o mayor
79	Av. Occidental y Carvajal (El Bosque)	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
80	El Labrador	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
81	Av. Eloy Alfaro y Las Palmeras (Zámbiza)	nulo	nulo	nulo	nulo

clave	ubicación	nivel de daño con una probabilidad mayor al 50%			
		sismo ligero	sismo moderado	sismo severo	sismo muy severo
82	Av. Eloy Alfaro y Los Nogales	nulo	nulo	nulo	nulo
83	Av. de La Prensa y Amazonas (Aeropuerto)	nulo	nulo	nulo	nulo
84	Paso deprimido Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	nulo	nulo	nulo	nulo
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
86	Panamericana Norte al llegar a Calderón (junto al cementerio)	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
87	Panamericana Norte (junto a la tenencia política)	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
88	Carcelén	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	nulo	nulo	ligero o mayor	extenso o mayor
90	Vía a Tabacundo - Río Pisque	nulo	nulo	nulo	ligero o mayor

Niveles de daño que presentan una probabilidad mayor al 50% según el escenario sísmico para cada estructura analizada

Considerando los resultados obtenidos, lo más probable es que en el caso de sismos ligeros ( $PGA = 0.05 \text{ g}$ ) y moderados ( $PGA = 0.10 \text{ g}$ ) no se genere daños en los puentes.

Para un sismo severo ( $PGA = 0.25 \text{ g}$ ), existe más del 50% de probabilidad de que el 72% del total de las estructuras analizadas no presente daños, el 14% sufra al menos daños ligeros, el 11% soporte un nivel de daño por lo menos moderado, y el 2% presente al menos daños extensos. Además, ninguna obra presenta una probabilidad mayor al 50% de sufrir daños completos.

Como es lógico los mayores daños estarían asociados a un sismo muy severo ( $PGA = 0.40 \text{ g}$ ), en el que existe más del 50% de probabilidad de que el 57% del total de las estructuras analizadas presente daños al menos ligeros, el 8% sufra un nivel de daño por lo menos moderado, el 22% soporte daños al menos extensos, y el 2% presente un nivel de daño completo. Además, en este escenario sísmico, solamente el 11% del total de obras examinadas presenta más del 50% de probabilidad de no sufrir daños.

Los resultados mencionados anteriormente se resumen en la siguiente tabla:

NIVEL DE DAÑO	sismo ligero		sismo moderado		sismo severo		sismo muy severo	
	n	%	n	%	n	%	n	%
nulo	90	100%	90	100%	65	72%	10	11%
ligero o mayor	0	0%	0	0%	13	14%	51	57%
moderado o mayor	0	0%	0	0%	10	11%	7	8%
extenso o mayor	0	0%	0	0%	2	2%	20	22%
completo	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%

Número y porcentaje de obras que presentan una probabilidad mayor al 50% de sufrir un determinado nivel de daño<sup>2</sup>

Es claro que existe una alta amenaza sísmica en la ciudad capital. Por esta razón, la ciudad de Quito debería estar preparada para soportar un nivel de sismo severo o muy severo. Debido a esto, se realizará un análisis más profundo referente a los resultados obtenidos para dichos niveles de sismo. Además, con el fin de determinar las estructuras más vulnerables del Distrito Metropolitano de Quito, se analizará las probabilidades de que cada obra presente un nivel de daño extenso o completo.

En el caso de un sismo severo (PGA = 0.25 g), 71 estructuras presentan entre 0% y 18% de probabilidad de soportar daños entre extensos y completos, 15 estructuras tienen entre 18% y 35% de probabilidad de sufrir dichos niveles de daño, 2 estructuras revelan entre 35% y 53% de probabilidad de soportar mencionados niveles de daño, y finalmente 2 estructuras tienen entre 53% y 71% de probabilidad de presentar daños extensos o completos.

<sup>2</sup> En la tabla: "n" representa el número total de estructuras que presentan determinado nivel de daño, y "%" constituye el porcentaje correspondiente sobre el número total de obras analizadas

En el caso de un sismo muy severo (PGA = 0.40 g), 61 estructuras presentan entre 0% y 24% de probabilidad de soportar daños entre extensos y completos, 7 estructuras tienen entre 24% y 48% de probabilidad de sufrir dichos niveles de daño, 8 estructuras revelan entre 48% y 72% de probabilidad de soportar mencionados niveles de daño, y finalmente 14 estructuras tienen entre 72% y 96% de probabilidad de presentar daños extensos o completos. La siguiente tabla muestra estas últimas 14 obras que presentan una mayor probabilidad de sufrir los mayores niveles de daño:

clave	ubicación	probabilidad de sufrir daño entre extenso y completo	
		sismo severo (PGA = 0.25g)	sismo muy severo (PGA = 0.40g)
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	71%	96%
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	64%	94%
34	Avenida Pichincha (La Marín)	36%	79%
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	35%	79%
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	34%	78%
52	Interoceánica - Río Chiche	34%	78%
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	33%	77%
22	Autopista Rumiñahui (justo antes del peaje viajando desde Quito)	32%	76%
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	32%	76%
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	31%	75%
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	31%	75%
25	Alberto Larrea y Napo (Luluncoto)	30%	74%
64	Interoceánica - Río Machángara	27%	72%
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	27%	72%

#### Obras con mayor probabilidad de sufrir los mayores niveles de daño

Realizando un análisis de las causas por las que las obras listadas en la tabla anterior resultan más vulnerables, se concluye lo siguiente:

Las 14 obras listadas corresponden a las clases HWB5, HWB12 o HWB17. Estas son las clases que presentan mayor vulnerabilidad según la metodología HAZUS®99, dentro de las existentes en el Distrito Metropolitano de Quito, debido a que poseen los menores valores de medianas de aceleración espectral para un período de vibración de un segundo.

Las clases HWB5, HWB12 y HWB17 corresponden a estructuras de más de un vano, de diseño convencional, de apoyo simple, de hormigón armado o presforzado, o de acero, siendo la característica de ser obras simplemente apoyadas el principal parámetro que establece la condición de constituirse en las estructuras de mayor vulnerabilidad.

Asimismo, se mencionó que estas medianas de aceleración espectral, constituyen uno de los parámetros que influyen en mayor medida a las probabilidades obtenidas para los distintos niveles de sismo analizados. Tanto es así, que todas las estructuras catalogadas dentro de las clases más vulnerables según HAZUS®99 (HWB5, HWB12, HWB17), se encuentran entre las 25 obras que presentan mayor probabilidad de sufrir daños ante un sismo; cabe enfatizar que 22 de estas 25 obras presentan más del 50% de probabilidad de sufrir daños por lo menos extensos, en caso de un sismo muy severo.

El efecto dinámico de amplificación de la aceleración según el tipo de suelo sobre el que se asientan las estructuras, caracterizado por el factor de suelo  $S$ , constituye otro parámetro muy significativo en la vulnerabilidad de las mismas: las dos obras que presentan mayor vulnerabilidad en el análisis realizado están ubicadas sobre un suelo  $S3$ ; las siguientes doce obras que completan el grupo de estructuras con mayores probabilidades de sufrir daños entre extensos y completos, se asientan sobre un suelo  $S2$ .

### **3.2. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS INDUCIDOS POR LOS DAÑOS EN LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES ESTUDIADAS EN LO REFERENTE A MOVILIDAD**

Una vez que se han obtenido y analizado los resultados desde el punto de vista estructural, con el fin de complementar la investigación se plantea en esta sección un análisis referente a las secuelas que los daños en las estructuras viales provocarían en lo relacionado a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito.

El objetivo del presente análisis es describir los posibles impactos sobre la movilidad urbana debido a los daños en las estructuras viales examinadas ocasionados por un sismo muy severo (PGA = 0.40 g). Es relevante recalcar que esta descripción está concebida para utilizarse únicamente en ejercicios de planificación y de preparación, y para mejorar la concientización sobre el riesgo sísmico de Quito.

Asimismo, es necesario resaltar que existen sesgos e incertidumbres en cada etapa de la evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras, que se maneja probabilidades para medir los daños esperados y que los sismos son fenómenos con características muy singulares cuyas repercusiones no son conocidas con alta precisión en la ciudad de Quito; por lo que, además de ser subjetiva y necesariamente incompleta, la estimación de las consecuencias de la caída o del daño de las infraestructuras sobre las dinámicas urbanas no puede ser más que una aproximación de la realidad.

### **3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE OBRAS ESENCIALES Y VULNERABLES**

Una vez que se han determinado las obras que resultan esenciales en lo referente a la movilidad mediante la metodología descrita en el documento “Vulnerabilidad estructural de los puentes del Distrito Metropolitano de Quito frente al peligro sísmico – Aplicación y adaptación de la metodología HAZUS®99 al contexto ecuatoriano”, es importante combinar estos resultados con los obtenidos desde el punto de vista estructural en relación con las obras que presentan una mayor vulnerabilidad a la acción sísmica. Para determinar las estructuras que se encuentran dentro de este crítico caso, se han elegido aquellas que son a la vez esenciales y susceptibles de sufrir daños entre extenso y completo con una probabilidad superior al 50% en caso de un sismo muy severo. La siguiente tabla muestra las 15 obras que presentan dicha situación.

clave	ubicación	índice de identificación de las obras esenciales	Probabilidad de sufrir daños entre extenso y completo en caso de sismo muy severo (PGA = 0.40 g)
12	Autopista Rumiñahui - Río San Pedro (San Rafael)	4	77%
13	Av. Maldonado y Nueva Oriental (cerca de Plywood)	6	78%
29	Av. Pichincha (entre La Marín y El Trébol)	5	96%
34	Avenida Pichincha (La Marín)	6	79%
38	Velasco Ibarra y Queseras del Medio (La Vicentina)	4	51%
45	Interoceánica - Río San Pedro (cerca del Club El Nacional)	4	51%
50	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Patria (El Guambra)	6	75%
52	Interoceánica - Río Chiche	4	78%
60	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Orellana	6	76%
63	Paso elevado Av. 10 de Agosto y Eloy Alfaro	6	79%
64	Interoceánica - Río Machángara	4	72%
74	Av. Occidental y Mariana de Jesús	5	94%
78	Inicio de la Av. de La Prensa y América (La Y)	5	75%
85	Paso elevado Av. Galo Plaza Lasso y 6 de Diciembre	4	51%
89	Panamericana Norte - Río Guayllabamba	4	72%

Estructuras esenciales susceptibles de sufrir mayores daños  
en caso de sismo muy severo

### 3.2.2. REPERCUSIONES POSIBLES EN CUANTO A MOVILIDAD

Cabe destacar que la ocurrencia de un sismo va a afectar al funcionamiento general de la ciudad; es decir, las principales dinámicas observadas en tiempo habitual ya no serán un referente después de un sismo. Esto implica que, por ejemplo, los ejes más transitados en tiempo normal probablemente ya no lo serán después del terremoto, al verse alteradas las prioridades de la población.

El objetivo de la presente sección es describir algunos de los posibles disfuncionamientos en cuanto a movilidad inducidos por el colapso de las obras esenciales inmediatamente después de un sismo muy severo. Esto constituye únicamente una visión parcial del conflicto, ya que los terremotos tienen otros impactos sobre las vías, tales como daños en la calzada y la posible presencia de deslaves o escombros, que pueden obstaculizar los desplazamientos.

#### Acceso al distrito y a la ciudad de Quito

La zona de estudio de la presente investigación abarca el Distrito Metropolitano de Quito, por lo cual no se consideraron los puentes que se encuentran fuera de esa zona; sin embargo, no se descarta que la ruptura de una estructura ubicada en los cantones vecinos podría afectar gravemente las condiciones de acceso al distrito.

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con cuatro accesos principales; estos itinerarios periféricos quedarían funcionales sin aparente restricción. En cambio, de los cinco ejes que permiten conectar la ciudad de Quito con las parroquias suburbanas, cuatro correrían el peligro de resultar parcial o completamente cerrados en caso de sismo muy severo. El único que quedaría totalmente habilitado sería el acceso norte por Los Bancos y la Mitad del Mundo, que en tiempo normal no es de mayor importancia, pero que podría servir en período de crisis para abastecer a Quito de productos provenientes de la costa.

La posible destrucción del puente ubicado sobre el río Guayllabamba en la Panamericana Norte (clave 89) causaría la ruptura del acceso nororiental. La otra alternativa posible, esto es pasando por El Quinche, Pifo y Tumbaco, también estaría fuera de servicio debido a la probable destrucción del puente sobre el Río Chiche (clave 52).

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, las conexiones con Imbabura, Carchi y Colombia serían posiblemente suspendidas; esto significaría una grave perturbación de la lucrativa comercialización de flores producidas mayoritariamente en los sectores orientales del Distrito Metropolitano de Quito y en el cantón Cayambe, y exportadas vía aérea desde el aeropuerto Mariscal Sucre ubicado en Quito. También bloquearía parcialmente el abastecimiento a la ciudad de Quito de productos alimenticios producidos en el norte del país y en la amazonía.

Las vías de comunicación por el valle de Los Chillos y por el ingreso sur a la capital, parcialmente funcionales con restricción o de capacidad reducida resultarían los únicos accesos posibles a la ciudad para los flujos procedentes del norte, del oriente y del sur, además del acceso norte por Los Bancos y la Mitad del Mundo. Las comunicaciones entre Quito y las áreas geográficas del norte y del oriente, implicarían la circunvalación por el este y por el sur del cerro Ilaló.

Por otra parte, la destrucción de la estructura ubicada en el acceso sur (clave 13) a la entrada de Quito por la Panamericana, afectaría el eje de mayor importancia en tiempo normal para el abastecimiento de la ciudad, dado que el 70% de las variedades de los productos de consumo masivo tales como alimentos y textiles, llega a Quito por la Panamericana Sur (Serrano, 2001). Además, perjudicaría importantemente al transporte interprovincial de personas, considerando que más de 40 000 personas diariamente transitan por este eje en transporte colectivo (EMOP, 2000). Sin embargo, a pesar de no ser asfaltada, existe una alternativa vial que permitiría evitar esa intersección neurálgica afectada, esta es a través de la prolongación sur de la Avenida Mariscal Sucre, cruzando el sector de Guamaní.

### Peligro de aislamiento

Los movimientos con los valles de Cumbayá, Tumbaco y Los Chillos, cuya importancia no es despreciable en tiempo normal, serían interrumpidos por la probable destrucción de los puentes ubicados sobre la vía Interoceánica (claves 52, 64 y 45) con relación a las dos primeras poblaciones mencionadas, y para el caso de Los Chillos debido a la afectación del puente ubicado al final de la Autopista General Rumiñahui (clave 12), precisamente en el ingreso a la zona urbanizada de dicho valle.

Cabe resaltar que Cumbayá resultaría probablemente aislada de Quito y del resto del distrito. En cambio, los moradores de Tumbaco tendrían la posibilidad de comunicarse con el valle de Los Chillos por la Vía Intervalles. Los moradores de Los Chillos tendrían una alternativa para acceder a Quito a través de la antigua vía a Conocoto; sin embargo, la capacidad de dicha vía es limitada y no podría sustituir la autopista Gral. Rumiñahui por la cual transitan habitualmente cerca de 38 000 vehículos diarios en ambos sentidos, según Tribasa – Colisa, empresa a la que se concesionó la autopista.

### Circulación intraurbana

Entre los ejes afectados, estarían la Avenida 10 de Agosto, por la que circulan diariamente más de 30 000 vehículos en los tramos más cargados (DMTV, 2002) y que corresponde al recorrido del trolebús, medio de transporte fundamental utilizado por más de 210 000 pasajeros diarios (UOST, 2001); este trascendental eje se vería perturbado debido a la afectación del paso elevado en la intersección con la Av. Patria (clave 50), la misma que también constituye un importante elemento transversal (este-oeste) de circulación vehicular y que actualmente presenta graves congestionamientos. Sobre el mismo eje vial, el daño de las estructuras ubicadas en las intersecciones con la Av. Eloy Alfaro y con la Av. 6 de Diciembre (claves 60, 63, y 85), afectaría la transportación sobre las mencionadas avenidas dada su importancia dentro de la movilidad urbana.

La Av. de la Prensa en el sector de La Y, también se vería perjudicada por el posible daño producido en el paso elevado allí ubicado (clave 78); asimismo, la Av. Occidental sufriría perturbaciones por la muy probable destrucción del intercambiador ubicado en la intersección con la Av. Mariana de Jesús (clave 74).

Finalmente, la interrupción producida en el paso elevado sobre la Av. Pichincha en La Marín (clave 34), así como en la estructura ubicada entre dicho sector y El Trébol (clave 29), afectaría gravemente el ingreso y salida de buses entre esta zona de concentración del transporte público con el resto de la ciudad, así como con las parroquias suburbanas. Este problema terminaría de agravar la ya caótica situación del sector de La Marín, que habitualmente presenta severos congestionamientos.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

La metodología HAZUS®99 pertenece a los métodos de evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico a gran escala, que permiten realizar evaluaciones rápidas como una primera aproximación al verdadero valor de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la infraestructura bajo análisis.

Es una metodología fruto del aporte del conocimiento de muchos expertos, enriquecido con experiencias vividas con terremotos pasados en los Estados Unidos. Es en este punto donde la experiencia se convierte en una fuente de información altamente valiosa para evaluaciones futuras.

Sin embargo, la metodología utiliza información que ha sido recopilada en los Estados Unidos, representando un sesgo hacia una realidad que no es la misma que se manifiesta en países en desarrollo como el nuestro. A pesar de ello, en este trabajo se ha realizado un intento de adaptar la metodología a la realidad de nuestro país. Es claro que hay todavía mucho por hacer en nuestros países, especialmente en lo que tiene que ver con las funciones que generan las curvas de fragilidad estructural utilizadas por la metodología. Estas funciones deberán ser fruto de nuevas investigaciones nacionales.

Una vez reconocido el limitante de la metodología HAZUS®99, su aplicación adaptada al Distrito Metropolitano de Quito produjo los siguientes resultados globales: existe más del 50% de probabilidad de que el 11% de las estructuras analizadas no presenten daños ante un sismo, aunque éste sea muy severo, lo que muestra un relativo grado de seguridad para dicho porcentaje de obras.

Sin embargo, es necesario reiterar en que las probabilidades alcanzadas por las estructuras para cada nivel de daño deben considerarse como mínimas, dado que la determinación de la vulnerabilidad se fundamenta en las medianas de la aceleración espectral que responden a la realidad de los Estados Unidos, donde la alta calidad en la construcción de puentes predomina, y que difiere importantemente, en algunos casos, con la realidad en el Distrito Metropolitano de Quito.

Además, los parámetros que no son considerados en la evaluación de vulnerabilidad realizada y que fueron referidos al inicio de la sección 3.1, influyen en la conclusión de que los resultados obtenidos en la presente investigación, deben considerarse como el umbral mínimo de daño que podría sobrevenir ante la ocurrencia de un evento sísmico.

En definitiva, los resultados obtenidos mediante la metodología en la presente investigación aplicada, proporcionan una idea de la vulnerabilidad de las estructuras viales analizadas, pero hasta no contar con curvas de fragilidad propias para la realidad del Distrito Metropolitano de Quito, no será posible conocer a ciencia cierta los valores reales para la ciudad capital.

A pesar de lo anterior, según la aplicación de la metodología HAZUS®99 adaptada al Distrito Metropolitano de Quito, se da una alta probabilidad de que ocurran daños en los niveles de sismo severo y muy severo. Recordando que el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra en la zona de mayor amenaza sísmica según el CEC-2000, es realista esperar un sismo de estas características. Tanto es así, que precisamente el valor de aceleración máxima del suelo que norma el diseño de las estructuras ubicadas en esta zona, coincide con el PGA adoptado para caracterizar un sismo muy severo.

Aún considerando que los resultados obtenidos pueden ser optimistas, la ocurrencia de un sismo que responda a la amenaza existente en la zona del Distrito Metropolitano de Quito, tiene como consecuencia que exista más del 50% de probabilidad de que el 89% de las obras analizadas sean afectadas por lo menos con daños ligeros, sino mayores.

Al analizar los efectos que lo anteriormente expuesto tendría sobre la dinámica de Quito, se concluye que la ciudad capital, que habitualmente ya presenta serios problemas relacionados con la movilidad, se vería altamente perjudicada por la posible alteración de ejes viales de suma importancia, no solo a nivel urbano, sino también hacia los sectores periféricos del distrito.

Es posible concluir entonces que la situación del Distrito Metropolitano de Quito es bastante complicada. La amenaza latente y la vulnerabilidad de obras viales esenciales provocan un elevado riesgo sísmico en la capital. Por esto, como se mencionó al iniciar esta investigación, es necesario considerar las medidas de prevención contra las secuelas de los desastres sísmicos como parte fundamental de los procesos de desarrollo integral a nivel regional y urbano, con el fin de reducir el alto nivel de riesgo existente en la ciudad de Quito, y de esta manera contribuir a evitar que consecuencias como las descritas en capítulos previos, afecten gravemente a la población.

Finalmente, se concluye que no toda metodología foránea puede aplicarse directamente a nuestro contexto. Sin embargo, la presente investigación ha servido para dar pautas referentes a los puntos que deben cambiarse y/o mejorarse para establecer una metodología más acorde a nuestra realidad. Estos aspectos se detallan en las recomendaciones planteadas en la siguiente sección.

#### **4.2. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES**

- Realizar estudios de vulnerabilidad de avanzada, que permitan obtener los valores de las medianas para aceleraciones espectrales para diferentes períodos de vibración, que respondan a la realidad del Distrito Metropolitano de Quito. Debido a que no se dispone de información abundante sobre daños en puentes debidos a sismos históricos, será necesario aplicar técnicas de simulación aplicando teoría de probabilidades, con el fin de evaluar el daño que pudieran sufrir las estructuras a través de la evaluación de su comportamiento inelástico, frente a diferentes niveles de acción sísmica esperada para la ciudad. El tratamiento probabilístico de sus resultados arrojaría tanto las medianas de aceleraciones espectrales como las funciones para generar las curvas de fragilidad estructural.

- Analizar la posibilidad de integrar a la metodología la afectación de parámetros tales como tipo de apoyos, estado general de la estructura mediante la utilización de coeficientes de afectación a las medianas para cada tipo de puente. Asimismo, evaluar los daños asociados a la reactivación de las fallas geológicas, deslizamientos de taludes y estribos, y socavación de las bases.
- Analizar las estructuras viales que se encuentran en cantones vecinos y cuya destrucción podría afectar el acceso al distrito.
- Ampliar este tipo de análisis a túneles, puentes peatonales, terminales de transporte y otros equipamientos vitales del Distrito Metropolitano de Quito.
- Sistematizar la adaptación de la metodología HAZUS®99, con las adaptaciones para la ciudad de Quito, mediante el diseño de un paquete informático.
- Integrar la base de datos georeferenciada y la metodología de análisis de vulnerabilidad sísmica de los puentes en el paquete RISMIC, para establecer escenarios para un sismo específico dadas su magnitud, profundidad y ubicación del epicentro.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATIAGA G, 2003. "Vulnerabilidad sísmica de pasos elevados y puentes que forman parte de la infraestructura vial del Distrito Metropolitano de Quito – Adaptación y aplicación de la metodología HAZUS®99", Proyecto de Titulación para la obtención del título de Ingeniero Civil – EPN, Quito.
- DEMORAES F., 2002. Proyecto "Sistema de Información y Riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito", Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda "DMTV", Municipio del Distrito Metropolitano de Quito "MDMQ", Institut de Recherche pour le Développement "IRD", Quito.
- CARDONA O., 1993. "Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo", Red de estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina.  
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- UNDRO, 1979. "Natural Disasters and Vulnerability Analysis", Report of Experts Group Meeting, Geneva.  
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- SPENCE R.J.S., 1990. "Seismic Risk Modelling - A review of Methods", contribution to "Vello il New Planning", University of Naples, Papers of Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge.  
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- FOURNIER, D'ALBE E. M., 1985. "The Quantification of Seismic Hazard for the Purposes of Risk Assessment", International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje.  
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

- FERNÁNDEZ J., 2000. "Código Ecuatoriano de la Construcción CEC, Capítulo 1", Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, Edición especial de la revista SIGMA, novena edición, Quito.
- ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL – GEOHAZARDS INTERNATIONAL – IMDMQ – ORSTOM – OYO CORPORATION, 1995. "Proyecto para manejo del riesgo sísmico de Quito – Síntesis", Quito.
- PONCE F., 1995. "Informe sobre la vulnerabilidad estructural y el pronóstico de daños de los puentes en la ciudad de Quito", Proyecto para manejo del riesgo sísmico de Quito.
- YÉPEZ F., 2001. "Sistema automático de cálculo de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de ciudades RISMIC Vs. 1.0", Memorias del II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, CDisk 1, Madrid.
- IRD – IMDMQ, 2002. "Los lugares esenciales del Distrito Metropolitano de Quito", bajo la dirección de Robert D'Ercole y Pascale Metzger, Quito.
- WITHMAN R. – LAGORIO H., 1999. "The FEMA – NIBS methodology for Earthquake loss estimation", Methodology Overview, Washington D.C.  
[www.app1.fema.gov/hazus/hazus99.htm](http://www.app1.fema.gov/hazus/hazus99.htm)
- ARMSTRONG M., 1999. "Earthquake loss estimation methodology HAZUS®99, Technical Manual", Developed by: Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., through a cooperative agreement with: National Institute of Building Sciences, Washington D.C.  
<http://www.fema.gov/hazus/download.htm>
- NYCEM, 2002. "The New York City Area Consortium for Earthquake Loss Mitigation", New York.  
<http://nycem.org/default.asp>

- FEMA 366, 2000. "HAZUS®99 Estimated Annualized Earthquake Losses for the United States", Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.  
<http://www.seismo.unr.edu/nesc/FEMA366.pdf>
- MAY P., 1999. "Making Building Codes an Effective Tool for Earthquake Hazard Mitigation," Environmental Hazards, Volume 1, Burby, Raymond & Peter May, Washington D.C.  
<http://www.seismo.unr.edu/nesc/FEMA366.pdf>
- SCHNEIDER P. – DRURY C., 1999. "Earthquake loss estimation methodology HAZUS®99, Technical Manual", Developed by: Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., through a cooperative agreement with: National Institute of Building Sciences, Washington D.C.  
<http://www.fema.gov/hazus/download.htm>
- YÉPEZ F., 2003. "Comunicación personal respecto al desempeño no lineal de las estructuras", Quito.
- SCHNEIDER P., 2001. "A guide to using HAZUS® for mitigation", Federal Emergency Management Agency, and National Institute of Building Sciences, Washington D.C.
- FEMA – NIBS, 1999. "Earthquake loss estimation methodology HAZUS®99, Technical Manual", Developed by: Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., through a cooperative agreement with: National Institute of Building Sciences, Washington D.C.  
<http://www.fema.gov/hazus/download.htm>
- EMSAT, 2003. "Plan Maestro de Transporte", Empresa Metropolitana de Servicios y Administración del Transporte, Quito.  
<http://www.emsat.gov.ec/contenidoPlanMaestro.htm>

- MOP, 2003. "Historia del MOP", Ministerio de Obras Públicas.  
<http://www.mop.gov.ec/>
- EMOP-Q, 2003. "Introducción en lo referente a responsabilidades y ámbito de competencia de la EMOP-Q", Empresa Metropolitana de Obras Públicas, Quito.  
<http://www.emopq.gov.ec/webemop/jsp/organizacion/redireccionorg.jsp?tipo=1>
- YÉPEZ F., BARAHONA G., 2003. "Comunicación personal respecto al año de implementación de normas antisísmicas en el diseño y construcción de estructuras viales en el DMQ", Quito.
- ALARCÓN F., VALVERDE J., FERNÁNDEZ J., YÉPEZ F., 2001. "Modelación de la respuesta dinámica de los perfiles representativos de suelo de la zonificación de Quito", XIV Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural, Universidad de Cuenca.
- VALVERDE J., 2003. "Comunicación personal respecto a la caracterización de los suelos de los valles aledaños a la ciudad de Quito, y su correspondencia con los tipos de suelo establecidos en el CEC-2000", Quito.
- BARAHONA G., 2002. "Comunicación personal respecto a la situación de obras ubicadas sobre antiguos rellenos de quebradas", Quito.
- YÉPEZ F., 2002. "Comunicación personal respecto a los valores de PGA correspondientes a los distintos niveles de sismo ", Quito.
- UOST, 2001. Unidad Operadora del Sistema Trolebús, Quito.
- EMSAT, 2001. Empresa Metropolitana de Servicio y Administración del Transporte "EMSAT", Quito

- DMQ – DMT, 2002. “Plan Maestro de Transporte del DMQ”, Dirección Metropolitana de Transporte y Vialidad “DMT”, Quito.
- SERRANO T., 2001. “Sistema de Información y Riesgos en el Distrito Metropolitano de Quito”, Quito.
- EMOP, 2000. Estimación de los volúmenes de pasajeros a partir de los conteos vehiculares de la EMOP, Quito.
- HCPP, 2002. Honorable Consejo Provincial de Pichincha, Quito.
- DMTV, 2002. Dirección Metropolitana de Transporte y Vialidad, Quito.
- ATC-25, 1991. "Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States", Applied Technology Council, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Redwood City, CA.
- CHATELAIN J., 1996. "Projet pilote de scénario sismique à Quito : méthodes et résultats", in Bulletin de l'IFEA, Quito.
- YEPEZ F., 2001. “Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación”, Memorias del seminario “Gestión de riesgos y prevención de desastres”, FLACSO, COOPI, Quito.