

# BOLETÍN TÉCNICO N. 04

## EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LOS PUENTES VEHICULARES Y PEATONALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C - FASE I

INCLUYE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DEL RIESGO



OCTUBRE 2016

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO  
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO URBANO  
DIRECCIÓN TÉCNICA ESTRATÉGICA

## CONTENIDO

1. Presentación
2. Contexto general del proyecto
3. Metodología seleccionada para la realización de la evaluación analítica del riesgo sísmico
4. Trabajos de campo y laboratorio
5. Evaluación del riesgo sísmico de los puentes vehiculares y peatonales de la Ciudad de Bogotá D.C.
6. Resultados riesgo sísmico
7. Conclusiones y recomendaciones

**Yaneth Rocío Mantilla Barón**  
Directora General

**Rafael Abuchaibe López**  
Subdirección General de Desarrollo Urbano

**Sully Magalis Rojas Bayona**  
Dirección Técnica Estratégica

Equipo de la Dirección Técnica Estratégica

**Vicente Edilson Leal Moreno**  
**Juan Pablo Forero Redondo**  
**Martha Jimena Bayona**  
**Yuly Caterín Díaz Jiménez**

Calle 22 # 6-27  
Sede alterna: Calle 20 No. 9-20  
Código postal: 110311  
Teléfono: (571) 338 6660

## 1. PRESENTACIÓN

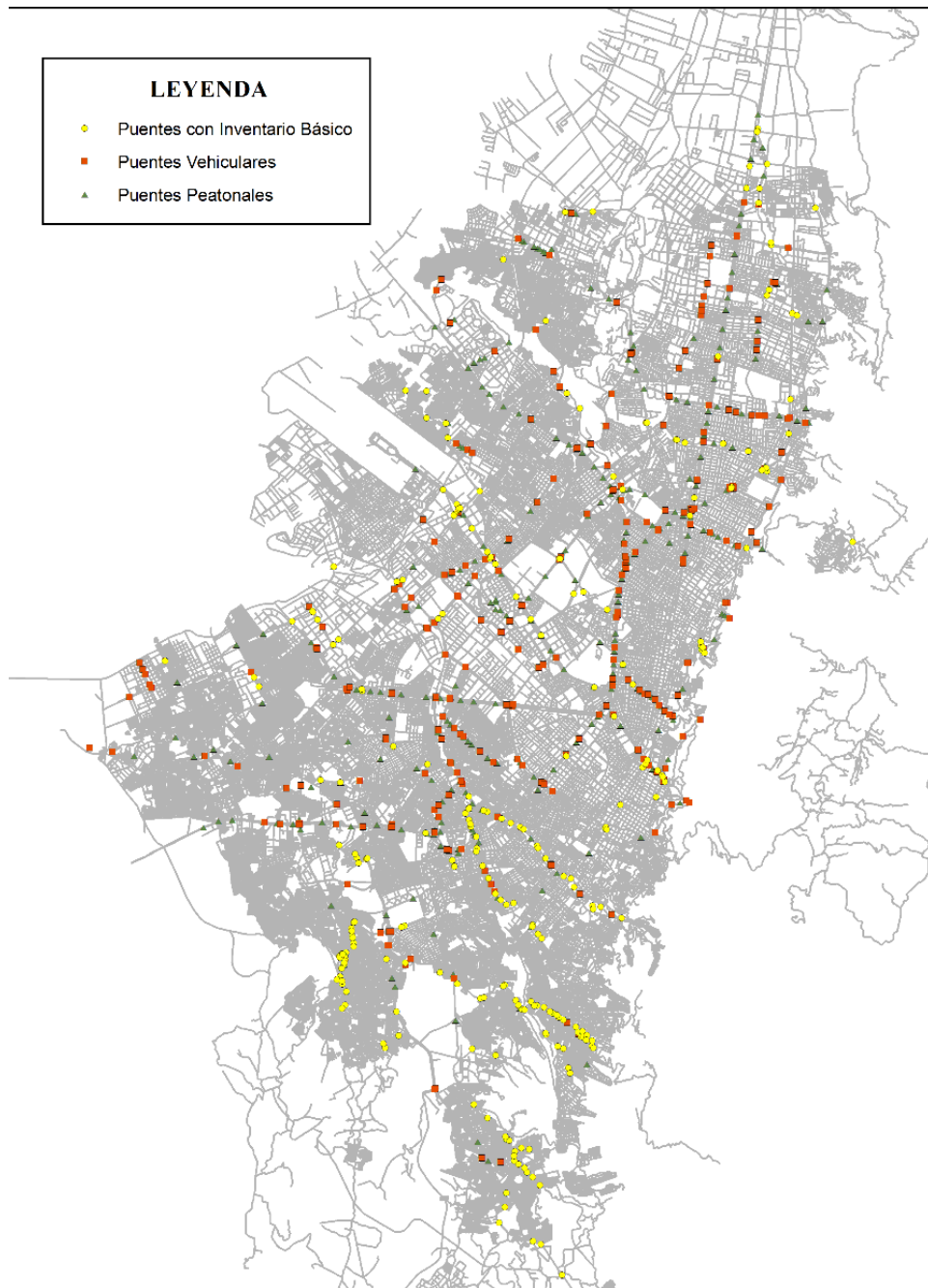
El Instituto de Desarrollo Urbano ha venido adelantado actividades de consultoría asociadas a la ejecución de inventarios y diagnósticos de la infraestructura vial, incluyendo la infraestructura de los puentes.

Dentro de estas actividades, el IDU adelantó los contratos de consultoría IDU-BM-187-2006 e IDU-BM-115-2009 con los cuales se avanzó en la Fase I y Fase II del Inventario Geométrico y de Diagnóstico de Puentes para Bogotá D.C. Como resultado de estas consultorías se inventariaron 583 puentes en total, de los cuales 303 son vehiculares y 280 son peatonales. En esta línea, y con el fin de complementar el inventario, el IDU ha realizado visitas de inventario básico a los puentes que no fueron incluidos en los contratos de consultoría mencionados anteriormente. Este inventario básico se está elaborando desde el año 2014 y hasta el mes de marzo de 2015 se tienen identificadas y georreferenciadas 262 nuevas estructuras, 133 Puentes vehiculares y 129 Puentes peatonales, para un total de 845 de puentes inventariados.

Sumado a los esfuerzos antes mencionados, durante el año 2015 se adelantó la ejecución del contrato – IDU 568 de 2014 con la Universidad de los Andes, cuyo objetivo fue la evaluación del riesgo sísmico de los puentes vehiculares y peatonales de la ciudad de Bogotá y Definición de estrategias de gestión del riesgo Fase I. Los resultados de este proyecto se resumen en el presente boletín, el cual incluye la evaluación del riesgo sísmico de 346 puentes que se encuentran inventariados en la base de datos del IDU y formular las estrategias que permitan mitigar los posibles daños en las estructuras que hacen parte de la infraestructura vial.

## Mapa No. 1

*Puentes inventariados de Bogotá D.C. de septiembre de 2015.*



## 2. CONTEXTO GENERAL DEL PROYECTO

Evaluación del riesgo sísmico de los puentes vehiculares y peatonales de la ciudad de Bogotá y planeación de las posibles estrategias de gestión del riesgo.

### Específicos

- Estudio del estado del arte y revisión de la información contenida en el inventario de puentes.
- Definición y análisis de la acción sísmica (escenarios sísmicos)
- Evaluación del comportamiento estructural de las tipologías estructurales
- Estimación de pérdidas esperadas para escenarios específicos
- Definición de programas de mitigación de riesgos y de alternativas de protección financiera.

### Revisión y análisis de la información disponible

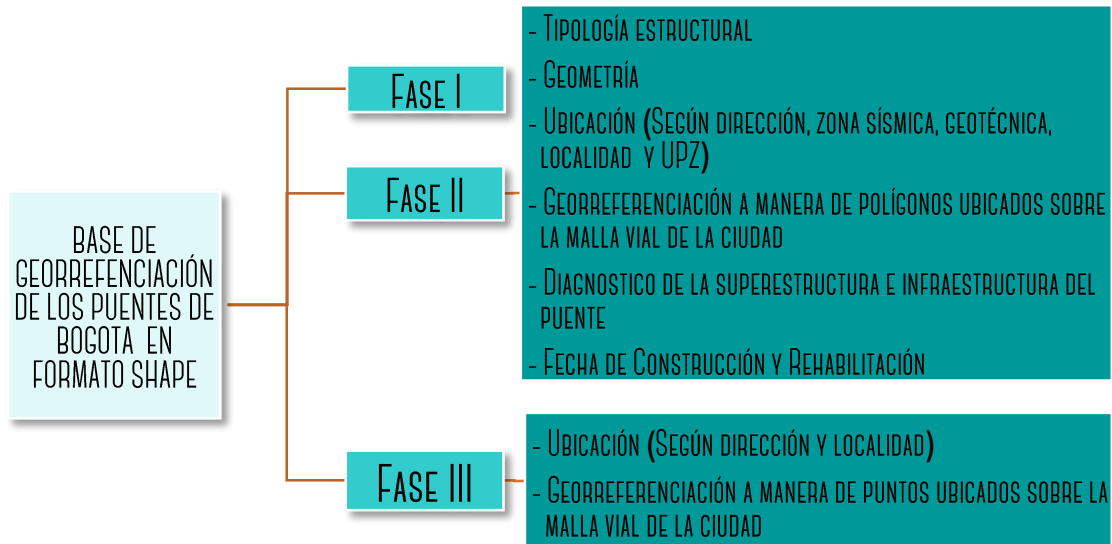
**Figura 1**

*Inventario geométrico y diagnóstico de puentes de Bogotá D.C. a corte de septiembre de 2015*



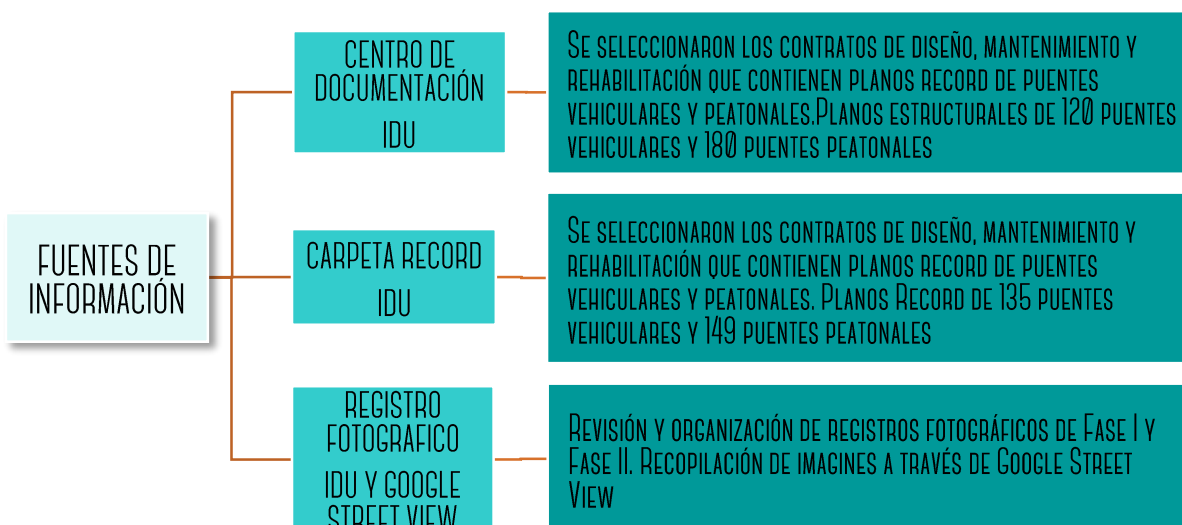
Puentes Fase I y Fase II **69%** - Inventario Básico **31%**. Total de Puentes **845**

**Figura 2**  
**Base de datos georrefenciada de los puentes de Bogotá en formato (shape)**



**Nota:** Todos los puentes de la base de datos tienen un atributo adicional denominado “RED VITAL”, el cual especifica si el puente hace parte o no de la Red Vital de Emergencia de la Ciudad de Bogotá. Esta red fue definida por el Consorcio Red vial Bogotá, mediante contrato de consultoría 20121746 celebrado entre el consorcio Red Vial Bogotá y la Secretaría Distrital de Movilidad

**Figura 3**  
**Fuentes de información para revisión de propiedades de los materiales y características estructurales**

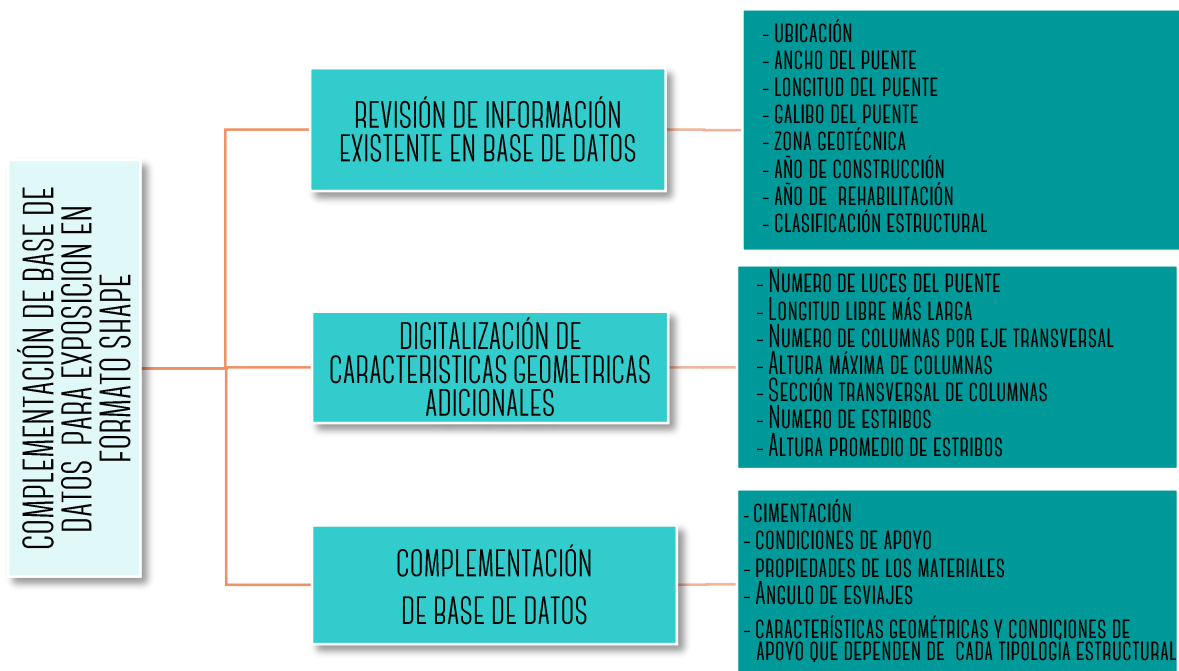


## Diagnóstico de información disponible

- La Fase I y Fase II del inventario y diagnóstico de puentes de Bogotá D.C. cuenta con información geométrica que permite definir tipologías estructurales.
- El Instituto de Desarrollo Urbano solo cuenta con información geométrica detallada del 65% de los puentes inventariados.
- Se requiere complementar la base de datos suministrada por el IDU, ya que este documento no contiene toda la información relacionada en las fichas técnicas que se consideran relevante para el análisis.
- El inventario y diagnóstico de puentes de Bogotá D.C. proporciona datos importantes para detallar las características geométricas más importantes. Sin embargo no cuenta con información que permita caracterizar de forma detallada el comportamiento sísmico de los puentes vehiculares y peatonales.

**Figura 4**

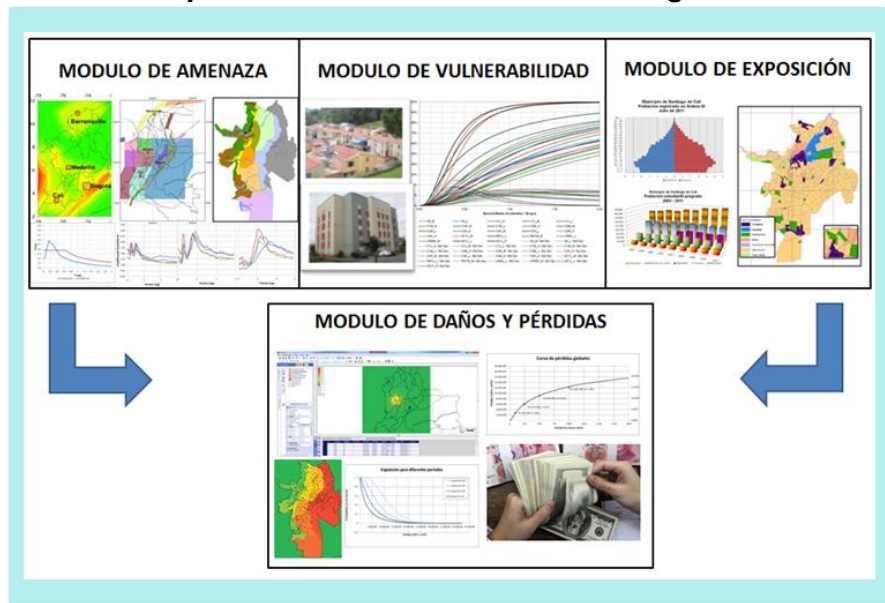
**Complemento base de datos para exposición en formato shape**



### 3. METODOLOGÍA SELECCIONADA PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN ANALÍTICA DEL RIESGO SÍSMICO

El análisis de riesgo catastrófico se lleva a cabo utilizando modelos analíticos probabilistas que permitan emplear la información disponible de eventos históricos para predecir posibles escenarios catastróficos futuros en los cuales se considere la alta incertidumbre involucrada en el análisis. En el caso que nos concierne, para realizar una evaluación consistente y rigurosa del riesgo sísmico de los puentes de la ciudad de Bogotá D. C, es necesario evaluar los siguientes componentes principales: la amenaza en términos probabilistas, la exposición que corresponde a los diferentes componentes expuestos susceptibles de sufrir daño y la vulnerabilidad de los diferentes tipos de componentes expuestos ante las amenazas que se desean evaluar. La Figura 5 presenta el esquema general del modelo probabilista de evaluación del riesgo sísmico utilizada en el presente proyecto.

**Figura 5**  
**Esquema general del modelo probabilista de evaluación del riesgo sísmico**



En general, la evaluación de riesgo requiere de tres pasos de análisis, independientemente del tipo de amenaza que se considere, los cuales se describen a continuación:

1. Evaluación de la amenaza: para cada uno de los peligros considerados, se define un conjunto de eventos, con sus respectivas frecuencias de ocurrencia, que representan de manera integral la amenaza correspondiente. Cada escenario contiene la distribución espacial de parámetros que permiten construir la distribución de probabilidad de las intensidades producidas por su ocurrencia.
2. Definición del inventario de elementos expuestos: debe definirse el inventario de elementos expuestos, el cual debe especificar la localización geográfica del bien, el valor de reposición, su ocupación en términos de número de personas y su caracterización de vulnerabilidad.

3. Vulnerabilidad de las construcciones: debe asignarse a cada una de las clases o tipologías estructurales una función de vulnerabilidad para cada tipo de amenaza. Esta función caracteriza el comportamiento de la construcción durante la ocurrencia de fenómenos amenazantes. Las funciones de vulnerabilidad definen la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico. Se definen mediante curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno.

Por iniciativa del Banco Mundial y del Banco Interamericano de Desarrollo – BID, en el año 2008 se publica la metodología CAPRA- Central American Probabilistic Risk Assessment (ERN-AL, 2011; Yamin et al., 2013) la cual se trata de una plataforma multi-amenaza para la estimación del riesgo probabilista.

Para la ejecución del objeto contractual y considerando la versatilidad y disponibilidad de la herramienta y la experiencia en proyectos recientes por parte de la Universidad de los Andes, se seleccionó la plataforma CAPRA para efectos de llevar a cabo los análisis de riesgos de los puentes de la ciudad.

## 4. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

*Como complemento al desarrollo del objeto contractual se llevó a cabo trabajo de campo y laboratorio, ejercicio que se inicia con conocer el estado en el que se encuentran los puentes de Bogotá, para lo cual se hizo la selección de treinta puentes a los que por medio de ensayos de campo y laboratorio se les determinó las principales características de sus materiales y de las condiciones actuales. A continuación se presentan la descripción de los ensayos realizados a los puentes en sus condiciones actuales.*

- **Extracción de núcleos de concreto – NTC 3658.** Establece la obtención, la preparación y el ensayo de núcleos extraídos para determinar su resistencia a la compresión.





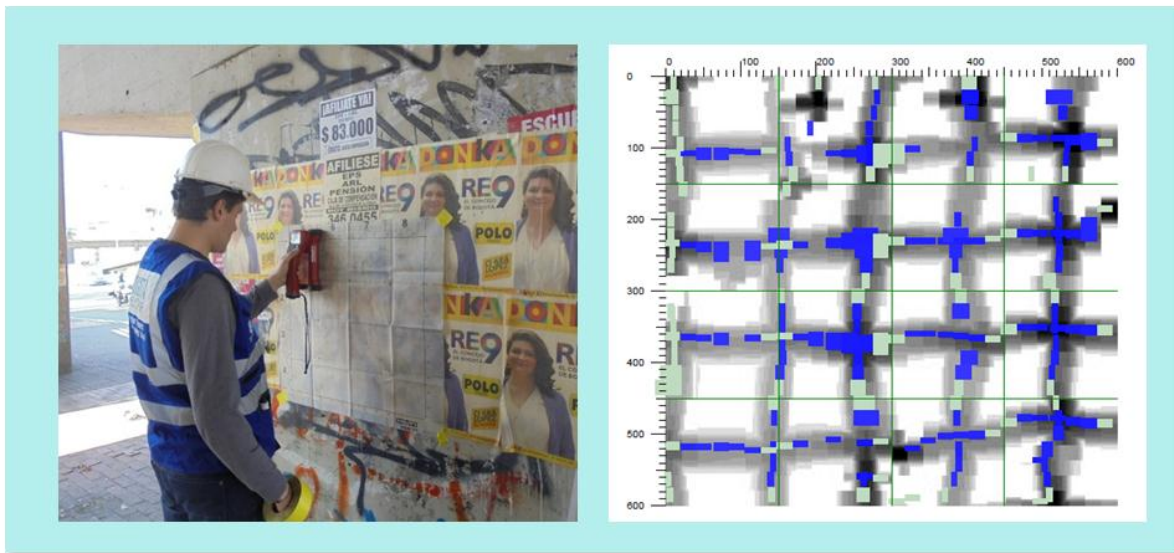
- **Ensayo de penetración frente de carbonatación UNE 112 - 011.** Este ensayo se realiza con el fin de conocer el estado del concreto al estar expuesto al medio ambiente en cuanto a la protección de agentes corrosivos que tiene el concreto sobre el acero de refuerzo.



- **Ensayo de resistencia a la compresión – NTC 673.** Este ensayo se realiza con el fin de hacer un control de calidad del concreto en cuanto a las especificaciones de resistencia a la compresión establecidas.



- **Detección del refuerzo utilizando FERROSCAN.** Este ensayo se realiza para corroborar de manera aproximada la disposición y dimensión del acero de refuerzo de un elemento frente al especificado en planos.



Para la definición de la selección de puentes a realizar los ensayos de campo y laboratorio se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

**Figura 6**  
**Selección de puentes para ensayos de campo y laboratorio**



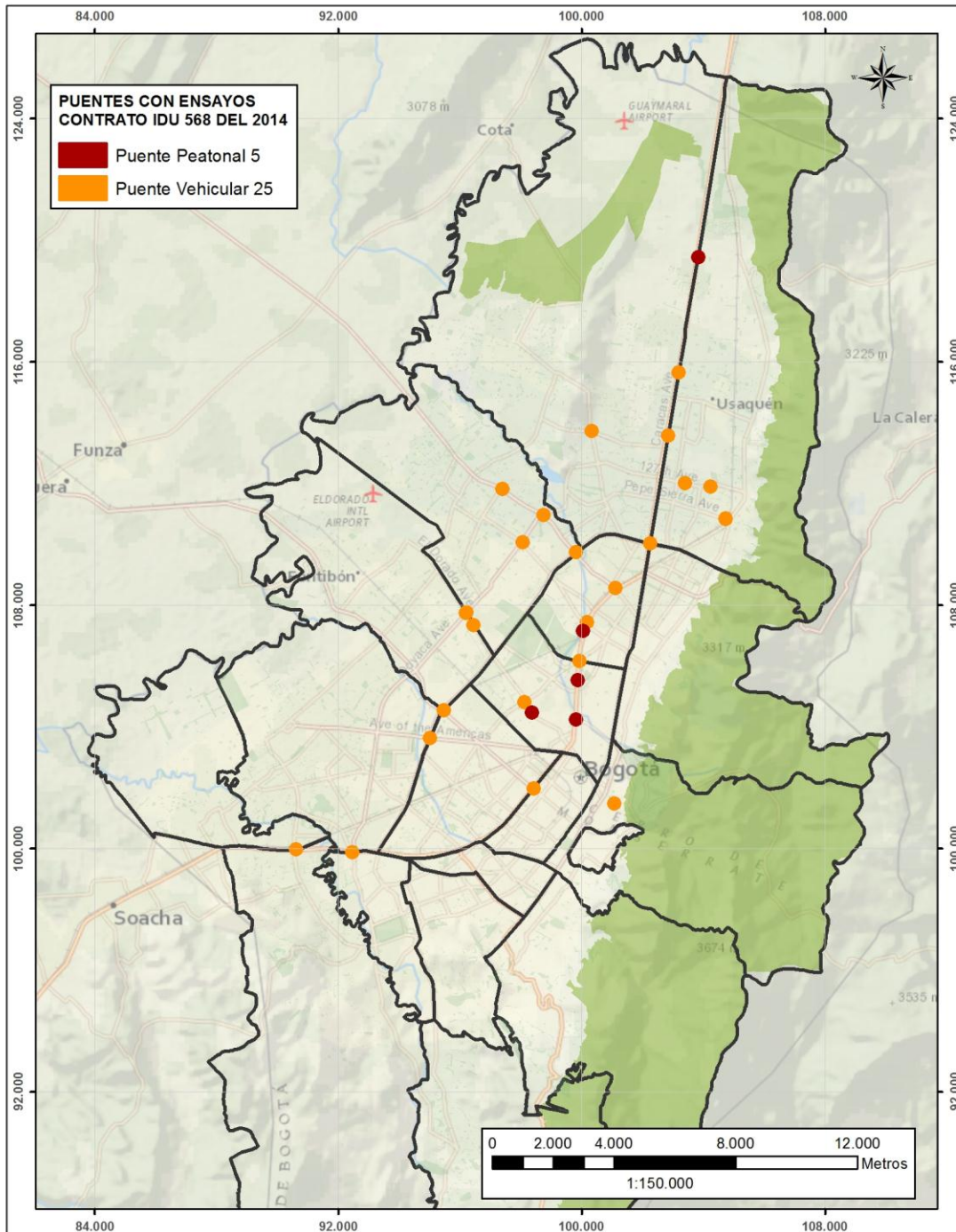
A continuación se presentan los 30 puentes seleccionados para la realización de los ensayos de campo y laboratorio. Estos puentes fueron seleccionados para poder abarcar la mayor cantidad de tipologías estructurales predominantes, cubrir la mayor extensión de la ciudad y considerar los puentes que sean parte de la red vial vital de la ciudad.

**Tabla 1**  
**Puentes seleccionados para ensayos de campo y laboratorio**

ID	Código del Elemento	Tipo	Ubicación	Tipología
P01	22150132	Peatonal	Carrera 45 calle 26	17
P02	22155944	Vehicular	Carrera 50 con Calle 26	6
P03	22152155	Vehicular	Avenida Américas con Kr 68 (Costado Norte)	2
P04	22143095	Vehicular	Autopista Sur por Carrera 68 (costado sur)	1
P05	22154117	Vehicular	Avenida Boyacá con Calle 26 (Externo Sur)	2
P06	22154050	Vehicular	Avenida Boyacá con Calle 26 (Central Sur)	1
P07	22151521	Vehicular	Avenida Boyacá con Calle 72	8
P08	22156363	Vehicular	Avenida Rojas (Carrera 70) con Calle 26	3
P09	22147758	Vehicular	Avenida Boyacá Calle 80 (Costado Norte)	9
P10	22148543	Vehicular	Avenida 68 Calle 80 (Costado Norte)	9
P11	22144465	Vehicular	Calle 63 con NQS	6
P12	22142182	Peatonal	Calle 65 con NQS	16
P13	22146492	Vehicular	Calle 68 con NQS (Costado Norte)	9
P14	22148403	Vehicular	NQS con Calle 80 (Costado Sur)	7
P15	22157924	Vehicular	Calle 116 con Carrera 9 (Costado Sur)	13
P16	22157841	Vehicular	Calle 116 con Carrera 9 (Costado Norte)	10
P17	22158121	Vehicular	Calle 127 con Kr 13	15
P18	24119282	Vehicular	Calle 127 con Kr 18A	15
P19	22149629	Vehicular	Auto Norte con Calle 153	8
P20	22153290	Vehicular	Auto Norte con Calle 134 (Costado Sur)	6
P21	22149933	Peatonal	Auto Norte con Calle 193	24
P22	22157733	Vehicular	Calle 127 con Carrera 9 (Costado Norte)	2
P23	22143635	Vehicular	NQS con Calle 13	6
P24	22153944	Vehicular	Avenida 68 Calle 13	2
P25	22147682	Vehicular	Avenida Boyacá con Calle Av Suba (Costado Norte)	4
P26	22142138	Peatonal	NQS con Calle 56 Campin	18
P27	22147412	Peatonal	NQS con Calle 45	21
P28	22151230	Vehicular	Avenida Ciudad de Cali con Calle 80	12
P29	22143026	Vehicular	Autopista Sur por Avenida Boyacá (Costado Occidental)	6
P30	22145303	Vehicular	Carrera 5 con Calle 26	6

## Mapa 1

Ubicación geográfica de los 30 puentes que fueron sometidos a ensayos de detección de refuerzo y ensayo de carbonatación en el marco del contrato IDU 568 del 2014



## Propiedades de los núcleos de concreto extraídos

Las muestras recuperadas se ensayaron siguiendo la norma NTC 673 como se mencionó previamente. Los resultados de los ensayos de núcleos se resumen en la Tabla No. 2:

**Tabla 2**

**Resumen del análisis de los ensayos de resistencia a la Compresión**

Id Punte	Cantidad de Ensayos	f'c lab (Promedio) (MPa)	f'c (MPa)	0.75 f'c (MPa)	Profundidad Carbonatación promedio (mm)
P01	5	38.6	-	-	11.98
P02	5	31.0	-	-	12.84
P03	5	30.4	28	21	12.92
P04	5	31.6	-	-	18.7
P05	5	28.8	28	21	14.18
P06	5	36.0	35	26.25	14.3
P07	5	36.8	21	15.75	3.22
P08	5	42.2	28	21	7.76
P09	5	36.0	24.5	18.375	10.76
P10	5	26.6	21	15.75	11.66
P11	5	21.2	24.5	18.375	3.02
P12	5	28.8	-	-	2.46
P13	5	27.0	-	-	17.26
P14	5	24.4	21	15.75	12.2
P15	5	34.0	28	21	10.78
P16	5	31.2	28	21	9.46
P17	5	28.4	21	15.75	6.06
P18	5	20.2	21	15.75	24.94
P19	5	29.2	21	15.75	13.12
P20	5	32.0	21	15.75	4.7
P21	5	28.0	21	15.75	13.8
P22	5	31.0	35	26.25	0
P23	5	23.6	21	15.75	10.18
P24	5	32.4	-	-	6.58
P25	5	35.0	-	-	4.14
P26	5	25.2	21	15.75	14.32
P27	5	24.2	21	15.75	10.2
P28	5	31.8	21	15.75	1.86
P29	5	29.2	21	15.75	8.52
P30	5	29.2	28	21	4.24

A partir de esta información se puede observar que la resistencia a la compresión promedio de los núcleos ensayados para la mayoría de los puentes es mayor a la resistencia especificada en la información disponible para cada puente. Sin embargo, la resistencia promedio es mayor al 75% de la resistencia especificada para cada puente, por lo tanto los resultados obtenidos en el laboratorio se consideran satisfactorios. Este análisis no se realizó para todos los puentes ya que no se encontró información en planos record o memorias de cálculo que especifique la resistencia del concreto.

Por otra parte, tras realizar los ensayos de carbonatación en los núcleos, se encontró que la profundidad de carbonatación promedio de cada puente se encuentra siempre en valores pequeños. A partir de esto se considera que los puentes no presentan problemas de carbonatación en términos generales. Sin embargo, el puente P18 presenta una carbonatación relativamente grande debido a las condiciones específicas de este puente, ya que al ser un box culvert siempre está sometido a condiciones ambientales agresivas.

## 5. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LOS PUENTES VEHICULARES Y PEATONALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C

Con base a la metodología del estudio, se tuvo en cuenta la siguiente información:

### 5.1 INFORMACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA PARA EL ANÁLISIS

Como parte del estudio de la amenaza sísmica en la ciudad de Bogotá, se contempló la amenaza en roca proveniente de un análisis de las fuentes sismogénicas circundantes a la zona. Adicionalmente se realizó un análisis del efecto del suelo en la amplificación de la respuesta espectral en superficie de un evento sísmico.

#### AMENAZA SÍSMICA EN ROCA

En base al Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia de 2009, se establecieron los diferentes parámetros de amenaza que definen la actividad sísmica en todo el territorio nacional. Para tal fin, se implementó una metodología en la cual a partir de la información actualizada con respecto a la actividad sísmica y a las formaciones tectónicas del país, se asignaron eventos sísmicos a cada una de las fuentes sismogénicas. Lo anterior con el fin de establecer unos parámetros estadísticos que se ajusten a la probabilidad de ocurrencia de terremotos de diferentes magnitudes en cada una de estas fuentes. Adicionalmente, en el estudio se formularon diferentes leyes de atenuación, las cuales contemplan la disminución de la intensidad de la energía a medida que la distancia entre el punto de análisis y el punto de liberación de energía aumenta.

## EFFECTOS DE SITIO

Por otra parte, debido a que la ciudad de Bogotá presenta depósitos de suelos arcillosos de gran profundidad, se realizó un análisis del comportamiento del mismo y el efecto que tienen estos suelos en la amplificación de los espectros de respuesta en superficie ante un evento sísmico.

Inicialmente se definieron las diferentes zonas de respuesta sísmica con base en la información disponible. Se seleccionaron sondeos representativos para cada uno de estas zonas, con el fin de establecer su respuesta dinámica mediante modelos unidimensionales (tipo SHAKE). La información correspondiente a los mapas de amenaza en roca y los resultados del efecto de sitio pueden ser consultados en los informes del contrato IDU-568-2014.

## 5.2 BASE DE DATOS DE EXPOSICIÓN

A partir de las fichas técnicas de las consultorías IDU-BM-187 del 2006, IDU-BM-115 de 2009 y los planos estructurales consultados en el centro de documentación y la carpeta de planos record del IDU, se adelantó un trabajo de revisión y complemento de la base de datos del inventario geométrico y de diagnóstico de los puentes de la ciudad de Bogotá.

Con la base de datos actualizada y revisada hasta donde la información disponible lo permitió, se realizó nuevamente un análisis estadístico para establecer las características geométricas y estructurales más representativas de cada uno de los puentes inventariados de tal forma que se facilitará la integración de la base de datos con el modelo del riesgo.

Luego de revisar la información actualizada, se estableció que no se cuenta con muestras representativas que permitan agrupar los puentes de acuerdo a sus componentes estructurales tales como el ancho de silla, llaves de cortante, calidad de materiales, cuantía de refuerzo, entre otros.

Debido a estas limitaciones fue necesario establecer la asignación de curvas de vulnerabilidad a partir de la tipología estructural, número de luces y el año de construcción del puente, ya que de cierta forma estas variables brindan un panorama de la calidad del diseño y construcción del puente, así como de su comportamiento estructural.

Inicialmente se descartó del modelo de riesgo los datos irrelevantes bien sea porque la información no está relacionada en todos los puentes o porque los valores reportados no son confiables. Aunque la base de datos entregada por el IDU está conformada por quinientos ochenta y tres (583) puentes, por las razones indicadas anteriormente, para el análisis de riesgo se seleccionaron ciento setenta y cinco (175) puentes vehiculares y ciento setenta y uno (171) puentes peatonales para un total de trescientos cuarenta y seis (346) puentes.

De los puentes descartados, treinta y seis (36) no cuentan con ningún tipo de información relevante para el estudio, por otro lado, doscientos uno (201) puentes, específicamente los puentes de la tipología 15 y 26 se descartan por sus condiciones geométricas y estructurales, las cuales indican que no es necesario tenerlos en cuenta para realizar un análisis sísmico detallado.

Los puentes del Inventario Básico del IDU no se relacionan en el portafolio de exposición, debido a que la información disponible de cada puente no es suficiente para establecer su comportamiento estructural.

## TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

Para el análisis del riesgo es necesario caracterizar el comportamiento de las estructuras a través de las funciones de vulnerabilidad. Estas dependen de la tipología estructural asignada al puente dadas sus características geométricas y comportamiento estructural. En la base de datos del IDU se cuenta con esta información, la cual fue revisada a partir de la información disponible de cada puente. Las tipologías estructurales para el portafolio de exposición se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4.

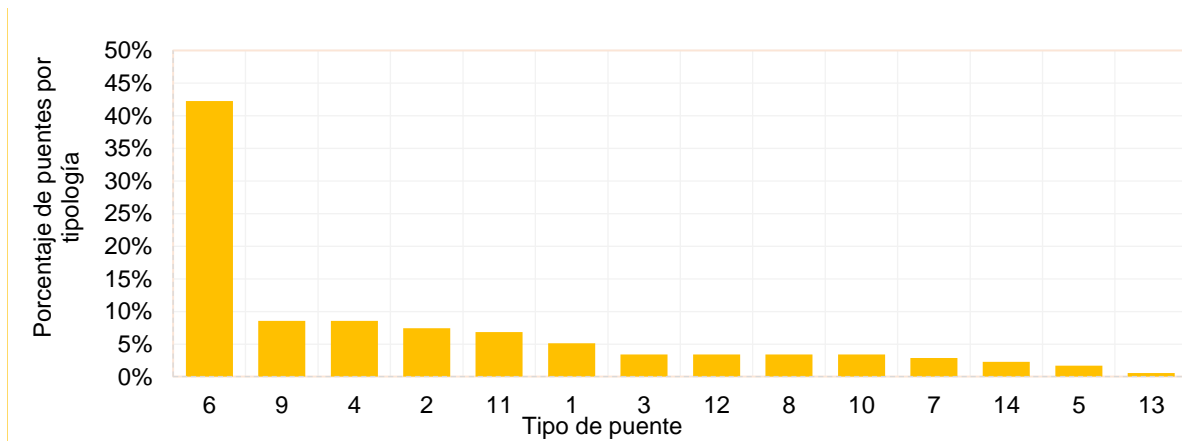
**Tabla 3**  
**Clasificación de puentes vehiculares**

Tipo	Clasificación estructural
1	Puentes monolíticos de infraestructura tipo péndulo
2	Puentes monolítico de infraestructura tipo pórtico
3	Puentes monolítico de infraestructura tipo pantalla
4	Puente no monolítico, infraestructura tipo péndulo con superestructura isostática en viga cajón
5	Puente no monolítico, infraestructura tipo péndulo con superestructura isostática con viga más placa
6	Puente no monolítico, infraestructura tipo pórtico con superestructura isostática con viga más placa
7	Puente no monolítico, infraestructura tipo pórtico con superestructura isostática con viga cajón
8	Puente no monolítico, infraestructura tipo pantalla con superestructura isostática con viga cajón
9	Puente no monolítico, infraestructura tipo pantalla con superestructura isostática con viga más losa
10	Puente no monolítico, infraestructura tipo péndulo con superestructura hiperestática con viga cajón
11	Puente no monolítico, infraestructura tipo pórtico con superestructura hiperestática con viga cajón
12	Puente no monolítico, infraestructura tipo pórtico con superestructura hiperestática con otros sistemas diferentes a la viga cajón
13	Puente no monolítico, infraestructura tipo pantalla con superestructura hiperestática con viga cajón
14	Puente no monolítico, infraestructura tipo pantalla con superestructura hiperestática con otros sistemas diferentes a la viga cajón



**Figura 7**

**Distribución de puentes vehiculares según su tipología estructural**



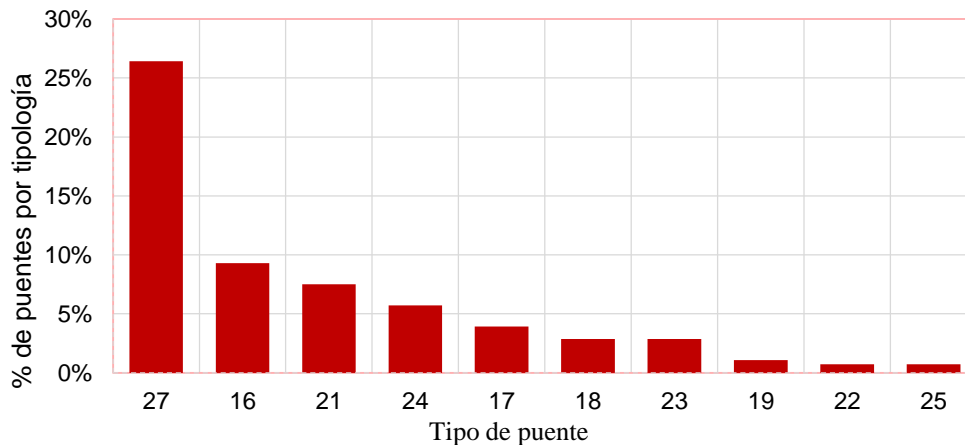
**Tabla 4**

**Clasificación de puentes peatonales.**

Tipo	Clasificación estructural
16	Puente peatonal tipo 1
17	Puente peatonal tipo 2
18	Puente peatonal tipo 3
19	Puente peatonal tipo 4
20	Puente peatonal tipo 5
21	Puente peatonal tipo 6
22	Puente peatonal tipo 7
23	Puente peatonal tipo 8
24	Puente peatonal tipo 9
25	Puente peatonal tipo 10
27	Puente peatonal tipo 12

**Figura 8**

**Distribución de puentes peatonales según su tipología estructural**



En las Figura 7 y Figura 8 se presenta la distribución de las tipologías estructurales según la base de datos del Inventario Geométrico y de Diagnóstico de puentes de la Ciudad de Bogotá, revisada y actualizada. Es importante aclarar que la incertidumbre de los datos sigue siendo alta debido a la calidad de la información disponible (planos con información irrelevante y/o fotos que no permitían identificar si el puente era o no monolítico), y la falta de información de aproximadamente el 30% de los puentes inventariados.

De las figuras de distribución de tipologías se pueden identificar fácilmente las tipologías representativas, es decir que representen más del 80% de la muestra, tanto para los puentes vehiculares (Tipo 6, 9, 4, 2, 11, 1 y 3), como para los puentes peatonales (Tipo 27,16,21,24,17,18).

## AÑO DE CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE

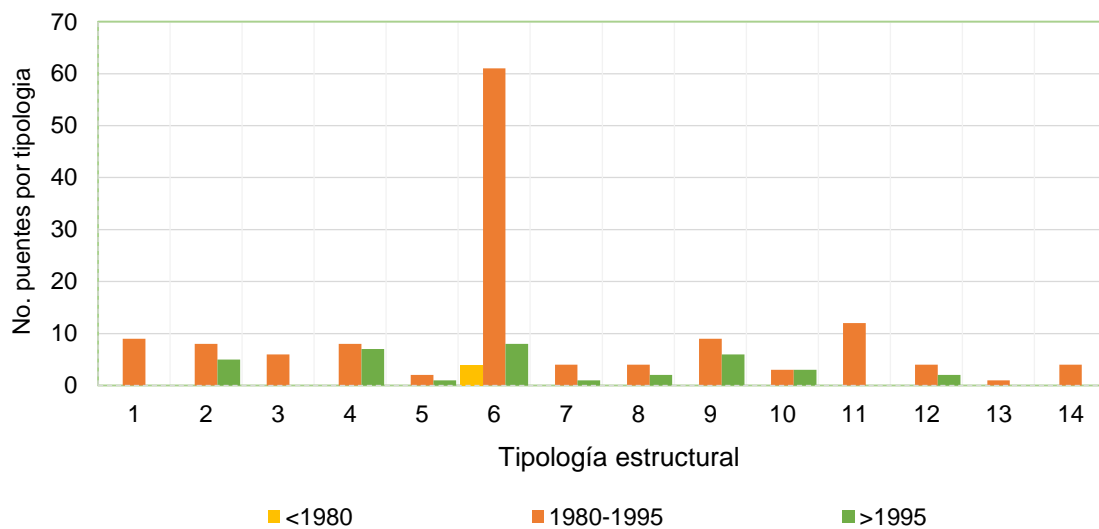
En la base de datos del IDU se establece la fecha de construcción de algunos puentes. Para recopilar la información de los puentes faltantes se revisaron planos estructurales disponibles y se consultó información con respecto a obras de infraestructura de la Ciudad de Bogotá en periódicos y páginas web del distrito. A pesar de recopilar una gran cantidad de información, no fue posible asignarle la fecha de construcción a la totalidad de los puentes, por lo que fue necesario asignarle este dato a los puentes faltantes a partir de la información del año de construcción de los puentes ubicados en las mismas vías o troncales. Para los puentes que no se podían relacionar con otros puentes por su ubicación, fue necesario asignarle un año de construcción menor al año en que entro en vigencia el CCP-95 con el fin de obtener resultados conservadores en la evaluación del riesgo sísmico. Para este atributo se tiene en cuenta la fecha de construcción, más no las intervenciones de rehabilitación del puente.

El año de construcción se relaciona con el tipo de norma de diseño sismo-resistente al momento de la construcción y por lo tanto define la calidad del diseño y la construcción. Se tienen tres niveles de antigüedad: "Antes y durante 1980", "Entre 1980 y 1995" y "Después de 1995". Estos niveles permiten reconocer la aparición y posteriores modificaciones de diseño sismo resistente en Colombia.

La distribución de las tipologías estructurales para los puentes vehiculares respecto al año de la construcción se presenta en la figura 9. Para los puentes peatonales no se analiza esta variable debido a que en este caso, por simplicidad las curvas de vulnerabilidad solo se asignaran a partir de la tipología estructural.

**Figura 9**

**Distribución de tipologías vehiculares según el año de construcción del puente**



## NUMERO DE LUCES DEL PUENTE

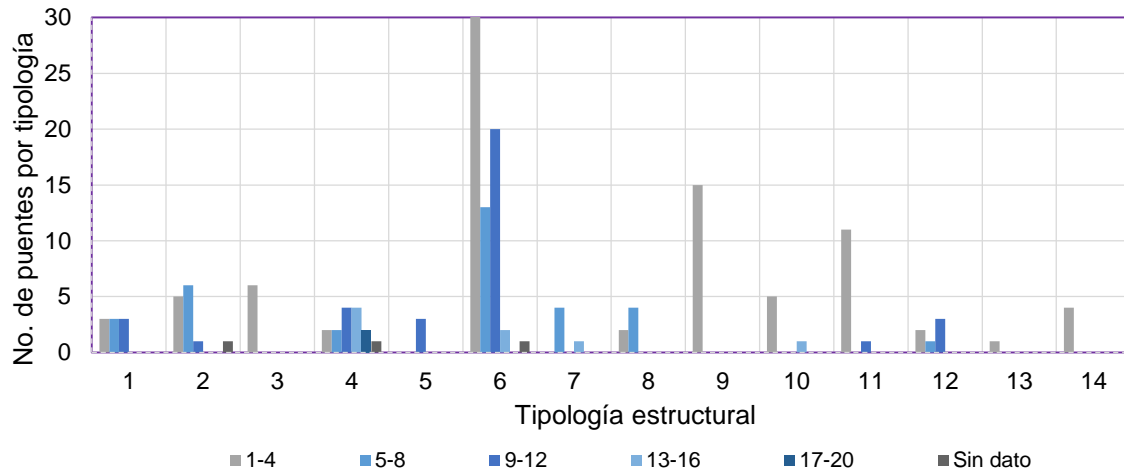
El número de luces es el último nivel en el algoritmo de asignación de las curvas de vulnerabilidad. Este permite asignar la función de vulnerabilidad basándose en la modificación del comportamiento estructural dado el número de luces del puente.

La distribución del número de luces de los puentes vehiculares según su tipología estructural se presenta en la figura 10. A partir de esta distribución se puede establecer que la mayoría de tipologías presenta un alto porcentaje con puentes de solo una luz, lo que indica que es importante asignar una curva de vulnerabilidad diferente a este tipo de puentes.

Para los puentes peatonales no se analiza esta variable debido a que en este caso, por simplicidad las curvas de vulnerabilidad solo se asignaran a partir de la tipología estructural.

**Figura 10**

**Distribución de tipologías vehiculares según el número de luces del puente**



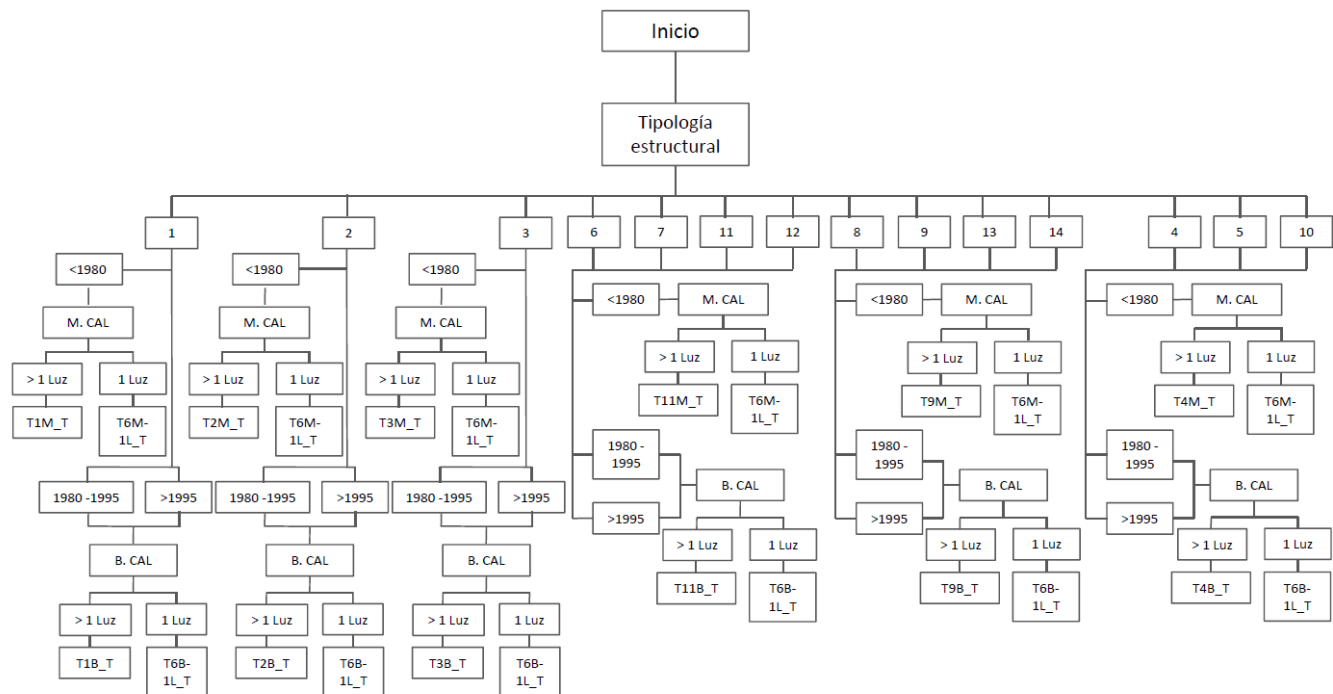
Algunas de las consideraciones principales y limitaciones de la base de datos del IDU y de su procesamiento se resumen a continuación:

- Para los puentes que no cuenten con el dato del año de construcción, este dato se asigna a partir del año de construcción de puentes cercanos, si esto no es posible, se asume que fueron construidos antes de entrar en vigencia el Código Colombiano de Puentes CCP-95.
- La asignación de las tipologías estructurales de los puentes tiene un alto grado de incertidumbre debido a que no fue posible revisar la totalidad de los puentes inventariados, ya que no contaban con registros fotográficos y/o puentes estructurales.
- El área construida es obtenida usando el ancho y la longitud del puente. Estos datos se revisaron y complementaron a partir de las fichas técnicas del inventario suministradas por IDU.
- Como se comentó anteriormente los puentes peatonales no tienen un algoritmo para la asignación de las curvas de vulnerabilidad ya que se asignan de acuerdo a su tipología estructural. A las tipologías que no fueron modeladas se les asigna la curva de vulnerabilidad que más se acerca a las características estructurales.

Por otro lado, para las tipologías estructurales de los puentes vehiculares se propuso un algoritmo de asignación de las curvas de vulnerabilidad, en el cual se puede observar que para asignar una curva de vulnerabilidad a un puente específico, se parte del año de construcción con el fin de establecer si el puente es de buena o mala calidad constructiva, posteriormente se define el número de luces del puente y finalmente, se asigna la curva de vulnerabilidad correspondiente.

A manera de ejemplo, se te tiene un puente con una tipología estructural seis (6), construido antes del año 1980 (Mala Calidad – M.CAL), con un numero de luces mayor a 1.0 (>1 Luz), en este caso, la curva de vulnerabilidad asignada será T11M\_T.

**Figura 11**  
**Algoritmo de asignación de las curvas de vulnerabilidad.**



## ESTRUCTURA FINAL DE LA BASE DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

La base de datos final para el análisis del riesgo presenta trecientos cuarenta y seis (346) puentes, de los cuales setenta y cinco (175) son vehiculares y cuentan con los atributos relacionados en la siguiente tabla, como complemento de la base de datos IDU. Los puentes peatonales contienen información de estos atributos hasta el numeral 18, ya que para el análisis sísmico y la asignación de curvas de vulnerabilidad no se requería información adicional.

**Tabla 5**  
**Listado de atributos de los puentes vehiculares en la base de datos actualizada**

No.	Atributo en base de datos	Significado
1	Elem	Código de identificación del puente
2	Objectid	Número de identificación del puente
3	Tipo	Tipo de puentes según su funcionalidad
4	Dirección	Ubicación del puente
5	Ancho	Dimensión transversal del puente
6	Longitud	Dimensión longitudinal del puente



No.	Atributo en base de datos	Significado
7	Area_Puent	Área calculada a partir de la longitud y ancho del puente
8	Zo_Ge	Zona geotécnica según microzonificación sísmica de 2006
9	Mate_Losa	Material de la losa
10	Fecha_Cons	Fecha de construcción
11	Fecha_Reha	Fecha de rehabilitación
12	Troncal	Indica si el puente está ubicado en una troncal
13	Red_Vital	Indica si el puente hace parte o no de
14	No_L	Numero de luces
15	Luzc_L	Luz más larga del puente
16	No_C	Numero de columnas/muro por eje transversal
17	Alt_Col_Larga	Altura de la columna/muro más largo
18	Long_Col	Dimensión de la columna transversal al eje longitudinal del puente
19	Ancho_C	Dimensión de la columna longitudinal al eje longitudinal del puente
20	No_E	Numero de estribos
21	Alt_E	Altura del estribo
22	Long_E	Dimensión del estribo transversal al eje longitudinal del puente
23	No_Carriles	Número de carriles
24	Co_Cortante	Conectores de cortante
25	Angulo_Esviaje	Angulo de esviaje
26	Licuación	Indica si se puede presentar licuación
27	Ancho_Silla_en estribo	Ancho de silla en el estribo
28	Ancho_Junta_en estribo	Ancho de junta en el estribo
29	Tp_Terraplen	Tipo de terraplen
30	No_Pilotes_por pila	No. de pilotes por pila
31	Long_pilotes_por pila	Longitud de pilotes por pila
32	Diametro_pilotes_por pila	Diámetro de pilotes por pila
33	Fc_Columnas	Resistencia a compresión del concreto en columnas
34	Fy_Columnas	Resistencia a la fluencia del acero en columnas
35	Separación_estribos_columna	Separación de refuerzo trasversal en columnas
36	Diametro_estribo_columna	Diámetro de refuerzo trasversal en columnas
37	Altura_corta_col	Altura de la columna más corta

**Tabla 6**

**Muestra de 20 puentes para los cuales se incluyen los principales atributos relacionados en la base de datos revisada y actualizada, para el análisis de riesgo**

A	D	G	H	K	M	N	O	U	AG	BD	BP	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
OBJECTO	ELEM	TIPO	DIRECCION	ANCHO	LONGITUD	AREA_PUENT	ZO_GE	FECHA_CONS	No_I	LueC_L	No_C	Alt_Col_Larga	Long_Col	Ancho_C	No_E	Alt_E	Long_E	No_Carriles	
1	22157145	1	6	Avenida de las Américas con Avenida Boyacá Costado Norte	16	191	3056	6	1987	9	27	2	3,0	1,6	1,0	2	1,8	16,0	4
2	22157259	1	6	Avenida de las Américas con Avenida Boyacá Costado Sur	16	191	3056	8	1987	5	4								4
3	22147611	3	11	Avenida Ciudad de Quito por CL 63G	8	29	232	9	1994	1	29								
4	22153152	1	2	Avenida Calle 100 con Autopista Norte Costado Sur	19	157	2983	9	2002	4	34	2	5,3	1,8	0,8	2	3,1	18,6	4
5	22156425	1	12	Avenida Boyacá con Avenida Ciudad de Villavicencio (N-5)	17	75	1275	8	2006	3	30	2	4,8	1,6	2,3	2	3,6	17,0	
6	22152156	1	8	Avenida De Las Américas por Avenida del Congreso Eucar	20	207	4140	8	1994	8	30	2	4,4	1,0	1,5				
7	22143992	1	6	Avenida NQS con calle 26	39	94	3666	6	1995	4	31	8	4,0	1,2	1,2	2	4,4	38,9	10
8	22157467	1	3	Avenida La Esperanza con Avenida Boyacá	29	74	2146	9	1995	2	37	4	5,0	0,5	0,5	2	2,2	28,8	6
9	22158199	3	15	Avenida Caracas con calle 84A sur	16	5	80	6		1	5	1	3,0	4,2	0,3				
10	22153105	1	11	Avenida Calle 100 con Autopista Norte Costado Norte	18	90	1620	9	1995	4	34	2	5,3	1,8	0,9	2	1,8	18,1	
11	22158560	1	15	Avenida Paseo Del Country por Avenida Carlos Lleras Restrep	28	12	336	9		1	12	1	4,7	23,6	0,2	2	4,3	28,4	
12	22158594	1	15	Avenida Laureano Gmez por Avenida Carlos Lleras Restrep	29	12	348	9		1	12	1	4,7	12,7	0,2	2	4,5	28,6	
13	22150493	1	15	Avenida Laureano Gmez por Avenida Carlos Lleras Restrep	29	12	348	9		1	12	1	4,7	27,0	0,2	2	4,3	28,9	
14	22157925	1	15	Avenida Paseo Del Country por Avenida Carlos Lleras Restrep	27	12	324	9		1	12	1	4,9	11,1	0,2	2	4,4	26,7	
15	22158138	3	6	Avenida NQS con Calle 69	7	53	371	9	2012	1	53	1	0,7	55,6	0,4				1
16	22150472	1	15	Avenida Laureano Gmez por Avenida Carlos Lleras Restrep	26	8	208	9		1	8	1	4,7	20,0	0,2	2	4,3	26,1	
17	22158357	1	15	Avenida Laureano Gmez por Avenida Carlos Lleras Restrep	26	8	208	9		1	8	1	4,7	17,4	0,2	2	4,4	25,7	
18	22152074	1	6	Avenida Ciudad de Cali con Avenida Calle 101 Costado Occider	16	79	1264	4	1994	3	40	3	2,7	1,0	1,0	2	3,7	15,8	3
19	22154208	1	4	Avenida Primero de Mayo con Avenida Boyacá Oreja	6	128	768	8	1994	4	36	1	6,9	1,7	1,0	2	4,9	45,5	3
20	22156629	1	15	Avenida Calle 63 con Avenida Carrera 68 Costado Norte	16	35	560	9		2	17	3	4,7	1,2	1,2	2	5,0	15,6	
21	24119247	1		Avenida Calle 63 con Avenida Carrera 68 Costado Sur	0	0	0		2001										
22	24119315	3	15	CARRERA 15 CON CALLE 140	15	13	195	9	1990	2	13		2,0	14,9	0,3	2			4
23	24119316	3	15	CARRERA 15 CON CALLE 142	17	12	204	9	1990	2	12		1,9	17,4	0,4	2			4
24	24119314	3	15	CARRERA 15 CON CALLE 147	9	39	351	9	1990	2	26	4	1,2	25,5	0,3				4
25	24119294	3	15	Avenida de las Quintas por CL 82	13	4	52	4		1	4	2							2
26	24119289	3	15	Avenida Cordoba por Avenida Rodrigo Lara Bonilla (costado su	19	40	760	9											

## 5.3 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

### ➤ CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PUENTES A ESTUDIAR

Partiendo de la selección de las nueve tipologías estructurales representativas (seis vehiculares y tres peatonales), las cuales se relacionan en las siguientes tablas, se elaboran 18 modelos, dos por cada tipología, con las siguientes características:

- Diseño para cargas gravitacionales únicamente (principalmente asignable a puentes construidos antes de 1980).
- Diseños que se han realizado considerando las especificaciones sísmicas modernas.

**Tabla 7**

**Tipologías estructurales representativas para puentes vehiculares**

No.	Tipología
6	Pórtico no monolítico – Viga más losa
9	No monolítico tipo pantalla - Viga más losa
3	Monolítico de infraestructura tipo pantalla
2	Pórtico monolítico + Viga - Losa
1	Monolítico tipo péndulo
11	Pórtico no monolítico – Viga cajón

**Tabla 8**

**Tipologías estructurales representativas para puentes peatonales**

No.	Tipología
27	Transmilenio
16	Viga T simplemente apoyado
21	Monopila simplemente apoyado - Viga cajón

## MODELO DE COSTOS Y COMPONENTES

### ➤ COMPONENTES SUSCEPTIBLES DE DAÑO

Dentro del modelo inelástico de las tipologías estructurales representativas se analizaron los componentes susceptibles en los niveles de daño relacionados en la siguiente tabla. Estos componentes fueron establecidos luego de revisar en detalle las características más relevantes de cada tipología.

**Tabla 9**

**Componentes susceptibles de daño por tipología**

Tipología	Componentes susceptibles
6	Topes, neoprenos, columnas, viga cabezal, ancho de silla, estribos
11	
9	Pantalla, topes, neoprenos, ancho de silla, estribos
8	
4	
3	Pantalla, ancho de silla, estribos
2	Columnas, viga cabezal, ancho de silla, estribos.
1	Columna, ancho de silla, estribos.
27	Conexiones, elementos de acero
16	Columnas, topes, neopreno
21	Columnas, topes, neopreno

## NIVELES DE DAÑO DE CADA COMPONENTE

Cada componente susceptible puede verse sometido a diferentes niveles de daño según las solicitaciones que tenga impuestas y la funcionalidad que tenga cada uno de estos componentes según su diseño sísmico. Estos niveles de daño también permite definir las actividades de reparación necesarias cuando un componente llega a alguno de los estados de daño al estar sometido a solicitaciones sísmicas.



**Tabla 10**  
**Parámetros que controlan el daño en cada componente**

Componentes susceptibles	Parámetro de control	Niveles de daño	Descripción probable del daño	Nivel de funcionalidad	Acción recomendada
Neoprenos	Desplazamiento (mm)	<b>Moderado</b>	Deformación excesiva	<b>Alerta. Posible interrupción del funcionamiento.</b>	Reemplazo del neopreno
Estribo – Long.- Pasivo	Desplazamiento (mm)	<b>Leve</b>	Daño de la junta de dilatación	<b>Normal</b>	Reparación de la junta de dilatación
		<b>Moderado</b>	Fisuración en el espaldar	<b>Precaución</b>	Excavación e inyección de fisuras
		<b>Severo</b>	Falla a cortante del espaldar	<b>Alerta. Posible interrupción del funcionamiento.</b>	Excavación y reconstrucción del espaldar
Estribo – Transv.	Desplazamiento (mm)	<b>Severo</b>	Falla a cortante	<b>Precaución</b>	Reconstrucción del elemento
Columna o Pantalla a flexión	Deriva	<b>Leve</b>	Fisuración	<b>Normal</b>	Inyección de fisuras
		<b>Moderado</b>	Desprendimiento de concreto	<b>Alerta. Posible interrupción del funcionamiento.</b>	Reparación concreto
		<b>Severo</b>	Mecanismo de falla	<b>Posibles colapsos parciales</b>	Encamisado de columna
Viga Cabezal	Deriva	<b>Leve</b>	Fisuración	<b>Normal</b>	Inyección de fisuras
		<b>Severo</b>	Mecanismo de falla	<b>Posibles colapsos parciales</b>	Encamisado de viga cabezal
Tope sísmico	Desplazamiento (mm)	<b>Severo</b>	Falla a cortante	<b>Precaución</b>	Reconstrucción del elemento
Ancho de silla	Desplazamiento (mm)	<b>Severo</b>	Pérdida de Apoyo	<b>Alerta. Posible interrupción del funcionamiento.</b>	Restitución del ancho de silla

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE ESTADOS DE DAÑO

A partir de costos referenciales suministrados por el IDU y la revisión y complemento de estos costos, se realizó la valoración de los componentes susceptibles en cada uno de los niveles o estados de daño (ED 1- Leve, ED 2 - Moderado, ED 3- Severo) de cada tipología estructural. En la Tabla 11 se muestran valores representativos de los componente susceptibles. Las celdas sin dato indican que el elemento no llega a ese estado de daño.

**Tabla 11**  
**Costos Unitarios para cada componente susceptible**

Componentes Susceptibles	ED 1	ED 2	ED 3
Concrete Column, Area 1.5m * 1.5m , height 5 m	\$ 1.629.762,00	\$ 2.989.129,00	\$ 12.636.169,00
Concrete Column, Area 1.5m * 1.5m , height 2.5 m	\$ 814.881,00	\$ 1.494.565,00	\$ 6.341.525,00
Concrete Column 1m * 1m , height 5 m	\$ 1.086.508,00	\$ 2.446.860,00	\$ 9.978.910,00
Concrete Column 1m * 1m , height 2.5 m	\$ 543.254,00	\$ 1.223.430,00	\$ 5.020.709,00
Concrete Pier Wall, 0.25m depth	\$ 108.651,00	\$ 11.094,00	\$ 691.865,00
Concrete Pier Wall, 0.50m depth	\$ 108.651,00	\$ 111.025,00	\$ 932.875,00
Concrete Pier Wall, 0.75m depth	\$ 108.651,00	\$ 11.111,00	\$ 1.173.884,00
Non Fixed Elastomeric Bearing, Girder + Slab Superstructure	\$ 3.049.733,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Non Fixed Elastomeric Bearing, Box Girder Superstructure	\$ 3.416.670,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Hinge Restrainers, Good seismic design, 0.7m * 0.7m * 1.2m, Reinforcement 1,2% Ag	\$ 68.428,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Hinge Restrainers, Bad seismic design, 0.5m * 0.5m * 1.1m, Reinforcement 0.8% Ag	\$ 264.128,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Abutment Trans, Good Seismic design, 0.7m * 0.7m * 0.7m, Reinforcement 1.2% Ag	\$ 427.483,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Abutment Trans, Good Seismic design, 0.5m * 0.5m * 0.5m, Reinforcement 0.8% Ag	\$ 197.164,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Abutment Long, 0.5m depth, Reinforcement 0.5% Ag	\$ 868.182,00	\$ 1.030.137,00	\$ 1.245.530,00
Cap Beam, Good Seismic Design, Longitud of 4m, Area 1m * 1.5m, Reinforcement 0.50% Ag	\$ 9.090.085,00	\$ 16.782.010,00	\$ 0,00
Cap Beam, Bad Seismic Design, Longitud of 4m, Area 0.7m * 1m, Reinforcement 0.25% Ag	\$ 8.672.866,00	\$ 13.509.914,00	\$ 0,00
Seat width, Can be use for any seath width dimension	\$ 4.154.563,00	\$ 0,00	\$ 0,00

## ➤ VALORACIÓN ECONÓMICA DE REPOSICIÓN

A partir de costos referenciales suministrados por el IDU se realizó la valoración de costos para obra nueva por metro cuadrado como se muestra en la siguiente tabla. La fecha de actualización de estos valores es del 31 de Diciembre de 2015. No se ha considerado el costo del terreno en estas estimaciones.

**Tabla 12**

**Valor de costos de construcción de puentes en la ciudad de Bogotá**

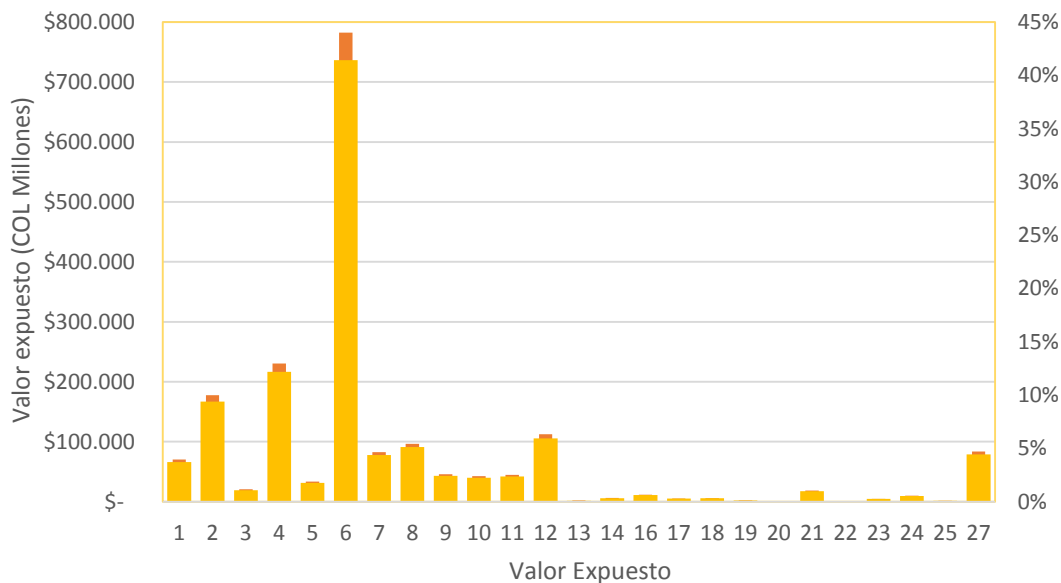
Modulo	Valor por m <sup>2</sup>
	\$COL
Puente vehicular	\$ 5,500,000
Puente peatonal metálico	\$ 4'500,000
Puente peatonal concreto	\$ 3'500,000

Estos son los valores de reposición esperado (incluye costos directos) independientemente del tipo estructural de la edificación y se asigna en función del área de construcción de cada una de los puentes contenidos en la base de datos.

En la siguiente figura se presenta la distribución del valor expuesto por tipología estructural para el portafolio completo de puentes (346 puentes). El valor de exposición del portafolio completo es de COL \$1888,397,337,700.oo.

**Figura 12**

**Valor expuesto según tipología estructural**



Según los anteriores datos, las tipologías estructurales de mayor representación en la base de datos corresponden a los puentes Tipo 6 y Tipo 4 es decir “Puente no monolítico tipo pórtico con viga más losa” y “Puente no monolítico tipo péndulo con viga cajón respectivamente”. En el caso de los puentes peatonales la tipología de mayor representación es la Tipo 27 – “Puente tipo Transmilenio”.

## MODELO COMPUTACIONAL

Los modelos de las tipologías estructurales se establecieron a partir de la revisión de planos de diseño de los puentes con información disponible, con el fin de representar el mismo nivel de daño que tendría el puente en la realidad. Los modelos son inelásticos no lineales, representando el comportamiento inelástico longitudinal y transversal en los estribos, apoyos intermedios, cimentación, columnas y/o pantallas, y vigas. Estos elementos se integran en el modelo con el fin de representar el comportamiento conjunto y consecutivo de los mismos, para los cuales se llevó a cabo un análisis estático no lineal. Paralelamente, se definieron los niveles de daño de cada elemento con el fin de identificar y relacionar los costos correspondientes.

La modelación computacional se lleva a cabo con el software comercial PERFORM 3D V5.0.

En general, la realización del modelo analítico involucra varias componentes que son las siguientes:

- Modelo geométrico general del puente.
- Propiedades geométricas de las secciones de elementos principales.
- Tipos de apoyos en pilas, en estribos y conexiones especiales internas (juntas, apoyo del tablero en las pilas, neoprenos y otros detalles).
- Propiedades de materiales en particular del concreto, del acero, de los apoyos o conexiones internas y de los apoyos elásticos equivalentes del suelo.
- Evaluación de cargas incluyendo cargas muertas debidas a peso propio y a sobrecargas permanentes (Carpeta de rodadura, barandas de contención, etc), y cargas sísmicas.

Por otra parte el análisis de resultados del modelo incluye los siguientes análisis:

- Análisis de modos de vibración.
- Efectos internos en los elementos para carga muerta con carga viva de servicio.
- Análisis de curvas de daño para el puente.

El detalle de los modelos se pueden consultar en los informes del contrato

En las siguientes tablas se presentan las principales características geométricas y los parámetros de modelación de cada una de las tipologías.

**Tabla 13**

**Principales características geométricas de los modelos realizados**

ID del Puente	Tipología	Material	Características Geométricas				
			Ancho (m)	Longitud (m)	# de Luces	# de vigas	Columnas por Eje
Calle 13, NQS	6	Concreto Reforzado	29.9	126	9	11	4-8
Puente sobre Río Juan Amarrillo	9 y 8	Concreto Reforzado	12	136	3	5	-
Av. Ciudad de Cali, Av. El Dorado	11	Concreto Reforzado	15.7	140	6	4	2

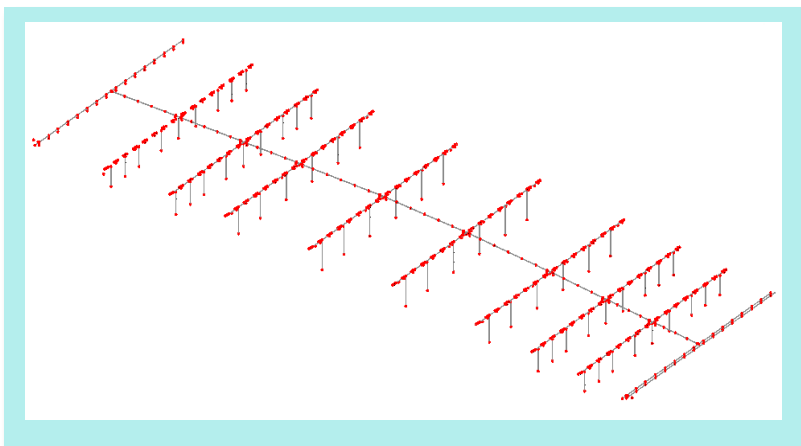
ID del Puente	Tipología	Material	Características Geométricas				
			Ancho (m)	Longitud (m)	# de Luces	# de vigas	Columnas por Eje
Autopista Norte, Calle 170	2	Concreto Reforzado	14.7	130	7	4	2
Av. El Dorado, Carrera 5	3	Concreto Reforzado	15	38.4	3	6	-
Av. Gaitán, Av. General Santander	1	Concreto Reforzado	12	181.5	7	1	1
Av. NQS, Calle 24	27	Acero estructural	2.4	102	4	-	2
Av. NQS, Campín	16	Concreto Reforzado	5	165	6	1	1
Av. NQS, Campín	21	Concreto Reforzado	5	165	6	1	1

A continuación se presentan los esquemas típicos para la modelación. En caso de querer analizar un modelo en específico, referirse a los Anexos del estudio de cada modelación.

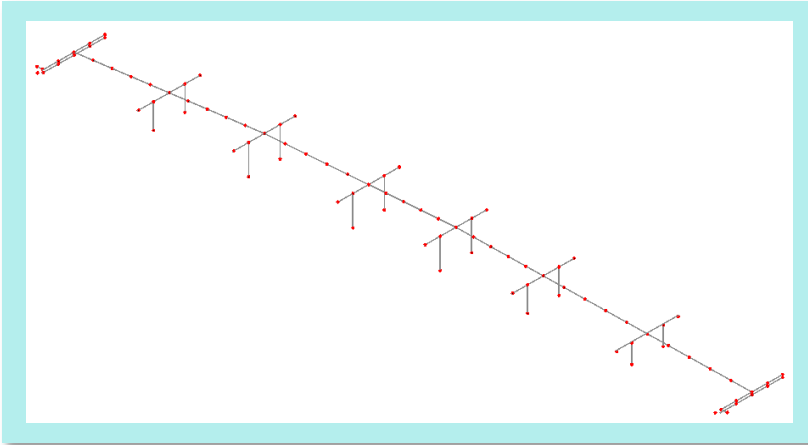
## GEOMETRÍA

En las siguientes figuras se muestran la geometría de las tipologías estructurales de los puentes vehiculares.

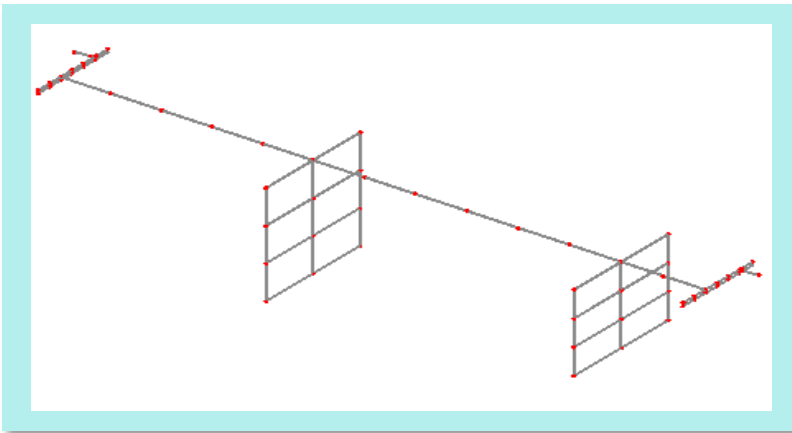
**Figura 13**  
**Geometría de puentes vehiculares (ilustrativo). Tipología 6**



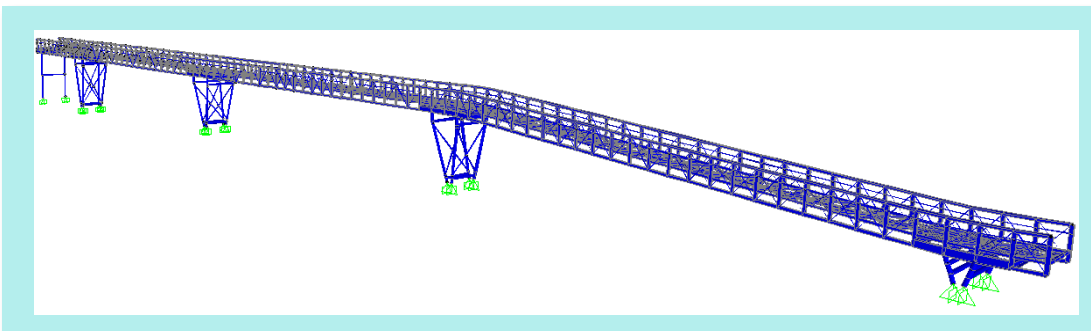
**Figura 14**  
**Geometría de puentes vehiculares (ilustrativo). Tipología 2**



**Figura 15**  
**Geometría de puentes vehiculares (ilustrativo). Tipología 3**



**Figura 16**  
**Geometría de puentes peatonales (ilustrativo)**

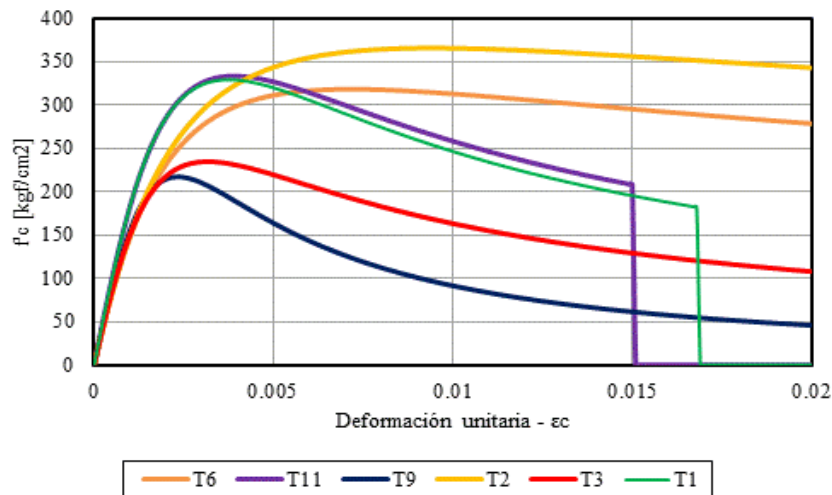


## MATERIALES Y PROPIEDADES

A continuación se presentan las propiedades de los concretos confinados para cada una de las tipologías de puentes vehiculares. Para mayor información y detalle sobre cada una de estas curvas, ver informe Anexo de cada puente, donde se puede ver el concreto confinado, no confinado y acero.

**Figura 17**

**Propiedad de los materiales en las tipologías vehiculares**



## 5.4 TIPOS DE ANÁLISIS

### ➤ ANÁLISIS MODAL

El análisis modal nos permite definir el grado de participación de la masa en cada una de las direcciones fundamentales de análisis (Longitudinal y Transversal). Idealmente la participación modal debe ser igual o superior al 95% para las dos direcciones, ya que esto es un indicador de que el modelo computacional es satisfactorio y se está teniendo en cuenta casi la totalidad de la masa a la hora de hacer el análisis sísmico. Cabe mencionar que en la mayoría de los modelos se necesitó de los 10 primeros modos de vibración para poder llegar a esta condición.

Tras obtener una participación de la masa del 95% o más, se deben definir los modos de vibración fundamentales en cada dirección debido a que a partir de estos se distribuirá la carga sísmica cuando se realice un análisis de Pushover.

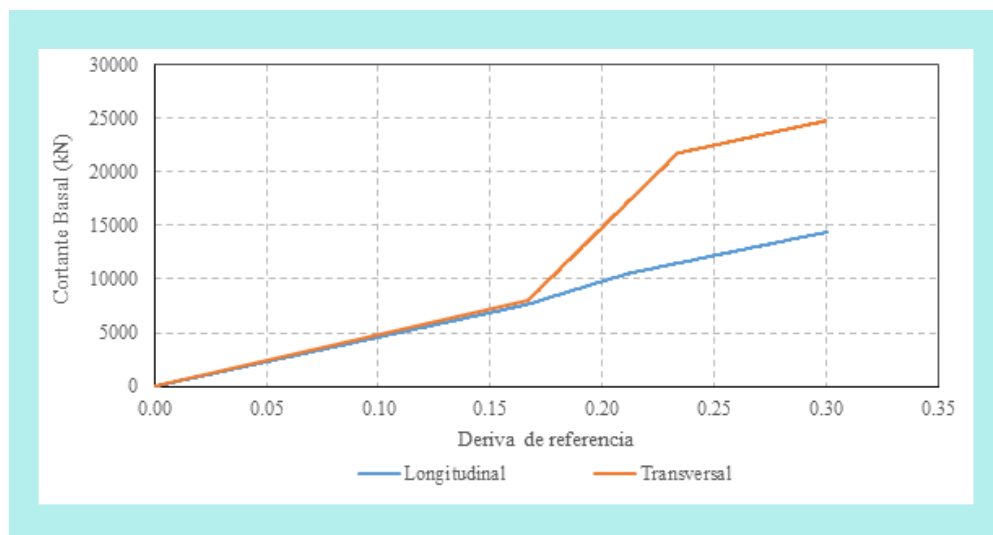
### ➤ ANÁLISIS DE PUSHOVER Y EFECTOS P – DELTA

Con base en la curva de Pushover que representa el comportamiento global del puente en la dirección transversal ante un incremento paulatino de la demanda horizontal de fuerza se propone una función de daño caracterizada por puntos específicos que definen diferentes estados límites de comportamiento y que están caracterizados a su vez por un parámetro específico de control.

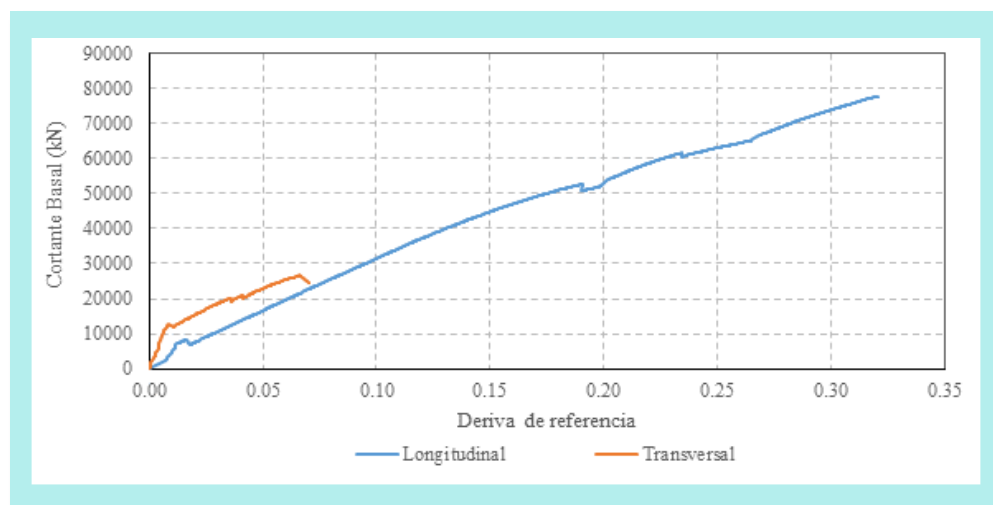
En el presente caso el parámetro de control que mejor representa el comportamiento de la estructura es el desplazamiento horizontal global registrado en el puente.

A continuación se presentan los pushover (eje X es la deriva de referencia, eje Y es el cortante basal en kN) obtenidos para dos análisis:

**Figura 18**  
**Pushover representativos. Tipología 6**



**Figura 19**  
**Pushover representativos. Tipología 11**





## 6. RESULTADOS EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO

En el presente análisis solo se han considerado las pérdidas económicas físicas esperadas en los puentes ante eventos sísmicos. Las pérdidas no consideran pérdidas indirectas como las que resultan de la interrupción del funcionamiento o lucro cesante. Las métricas de riesgo principales utilizadas en el presente análisis corresponden a la pérdida anual esperada y la pérdida máxima probable.

Las métricas de riesgo principales utilizadas en el presente análisis corresponden a las siguientes:

- **Pérdida Anual Esperada:** la PAE se calcula para cada uno de los componentes expuestos y para el conjunto de los mismos como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para un determinado escenario y la frecuencia anual de ocurrencia de dicho evento y para todos los eventos estocásticos considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual.
- **Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss):** la PMP (o PML en inglés) representa un valor de pérdida para un nivel de excedencia determinada. Corresponde a las pérdidas máximas probables para diferentes periodos de retorno considerados y se obtiene a partir de la curva de excedencia de pérdidas, la cual se puede calcular a partir de las pérdidas asociadas de todos los eventos posibles, en función de su periodo de retorno.
- **Pérdida Esperada para Escenario Crítico:** Un escenario crítico puede definirse como aquel escenario que mayor participación tiene en la pérdida anual esperada o el escenario que representa el sismo de mayor magnitud esperada en la zona de análisis, teniendo en cuenta tanto la pérdida económica como la frecuencia anual de ocurrencia de cada uno de los eventos. Seleccionado el escenario crítico, se pueden determinar los porcentajes de daños esperados y las pérdidas económicas asociadas sobre cada uno de los elementos expuestos del portafolio de análisis.

Los resultados se presentan para el portafolio analizado de la siguiente forma:

- Una tabla de resumen que contiene el valor de reposición total del portafolio de puentes analizados, la pérdida anual esperada en valor y en porcentaje, y el PML del portafolio en valor económico y en porcentaje con respecto al valor total de reposición.
- Una Figura con las curvas de PML en valor monetario y valor relativo.
- Una tabla ilustrativa con los valores de pérdida anual esperada para cada uno de los puentes, organizada de mayor a menor (solo se incluyen un número representativo de puentes en la tabla ya que es solo con propósitos ilustrativos). Considerando el tamaño real de la tabla completa, ésta se entrega en formato digital con todos los campos.
- Una tabla con los valores de pérdida anual esperada en valor económico y en porcentaje discriminada por tipos estructural y la figura correspondiente en forma de diagrama de barras.
- Unas figuras que representan la distribución espacial de las pérdidas para efectos de zonificación y priorización de intervenciones.

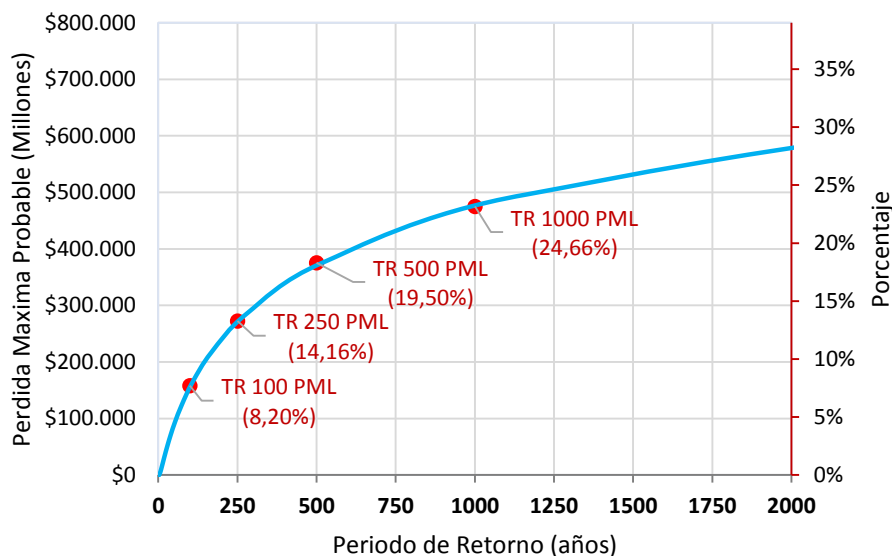
## RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN PROBABILISTA

En la tabla 14 y en la figura 20, se presenta el resumen de resultados del análisis probabilista en términos de pérdida esperada y pérdida máxima probable utilizando para el efecto la información de amenazas, exposición y vulnerabilidad según lo explicado en los numerales anteriores.

**Tabla 14**  
**Resultados de pérdidas anuales esperadas**

Resultados		
Valor Expuesto	\$ x10 <sup>6</sup>	1,888,397
Pérdida anual esperada	\$ x10 <sup>6</sup>	7,633
	%	4.04
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	\$ x10 <sup>6</sup>	%
100	\$154,787	8.20%
250	\$267,436	14.16%
500	\$368,175	19.50%
1000	\$465,759	24.66%

**Figura 20**  
**Curva de pérdidas globales PML**



En la Tabla 15 se presenta a manera ilustrativa los valores de las pérdidas anuales esperadas de los puentes críticos (mayor pérdida absoluta). En el Anexo 4 (digital) se incluyen los resultados para la totalidad de los puentes

**Tabla 15**  
**Pérdidas anuales esperadas de los puentes críticos**

ID	CÓDIGO IDU	TIPOLOGÍA	LONG	LAT	VALFIS (\$)	PAE	PAE/VALFIS
36	22154050	1	-74,112	4,666	\$ 11.550.000.000	\$358.794.884	3,11%
37	22154017	1	-74,111	4,666	\$ 10.164.000.000	\$315.717.001	3,11%
6	22152156	8	-74,122	4,629	\$ 22.770.000.000	\$220.500.770	0,97%
40	22143131	1	-74,138	4,596	\$ 9.845.000.000	\$214.781.433	2,18%
57	22151230	12	-74,101	4,703	\$ 28.556.000.000	\$212.184.100	0,74%
80	22143254	8	-74,098	4,607	\$ 44.082.500.000	\$171.631.707	0,39%
171	24119312	1	-74,12324176	4,589	\$ 10.197.000.000	\$155.082.937	1,52%
20	22150935	4	-74,05845528	4,679	\$ 37.290.000.000	\$152.506.809	0,41%
113	22156944	6	-74,079	4,625	\$ 26.125.000.000	\$124.017.456	0,47%
71	22148054	12	-74,067	4,674	\$ 36.058.000.000	\$122.335.422	0,34%
96	22152396	6	-74,054	4,707	\$ 19.030.000.000	\$116.211.564	0,61%
97	22144262	1	-74,079	4,634	\$ 9.157.500.000	\$112.494.218	1,23%
70	22147758	6	-74,089	4,695	\$ 16.016.000.000	\$112.328.822	0,70%
30	22156256	6	-74,103	4,654	\$ 26.532.000.000	\$111.706.421	0,42%
17	22144593	1	-74,078	4,651	\$ 9.157.500.000	\$102.429.437	1,12%
1	22157145	6	-74,138	4,631	\$ 16.808.000.000	\$ 87.258.965	0,52%
81	22143635	6	-74,09182320	4,614	\$ 27.720.000.000	\$ 80.961.505	0,29%
98	24118912	4	-74,079	4,632	\$ 21.780.000.000	\$ 80.811.636	0,37%
47	22152485	10	-74,075	4,720	\$ 29.947.500.000	\$ 79.707.331	0,27%
21	22151026	4	-74,059	4,679	\$ 24.200.000.000	\$ 77.478.794	0,32%
27	22151521	6	-74,095	4,687	\$ 30.294.000.000	\$ 77.139.798	0,25%
69	22147850	6	-74,089	4,695	\$ 17.242.500.000	\$ 76.513.835	0,44%
...	...	...	...	...	...	...	...

En la Tabla 16 y en la figura 21, se presentan los valores de pérdida anual esperada para la totalidad del portafolio agrupada según la tipología estructural. Esta tabla permite establecer el nivel de riesgo relativo que concentra cada uno de los tipos estructurales y es relevante para definir una estrategia de intervención estructural.

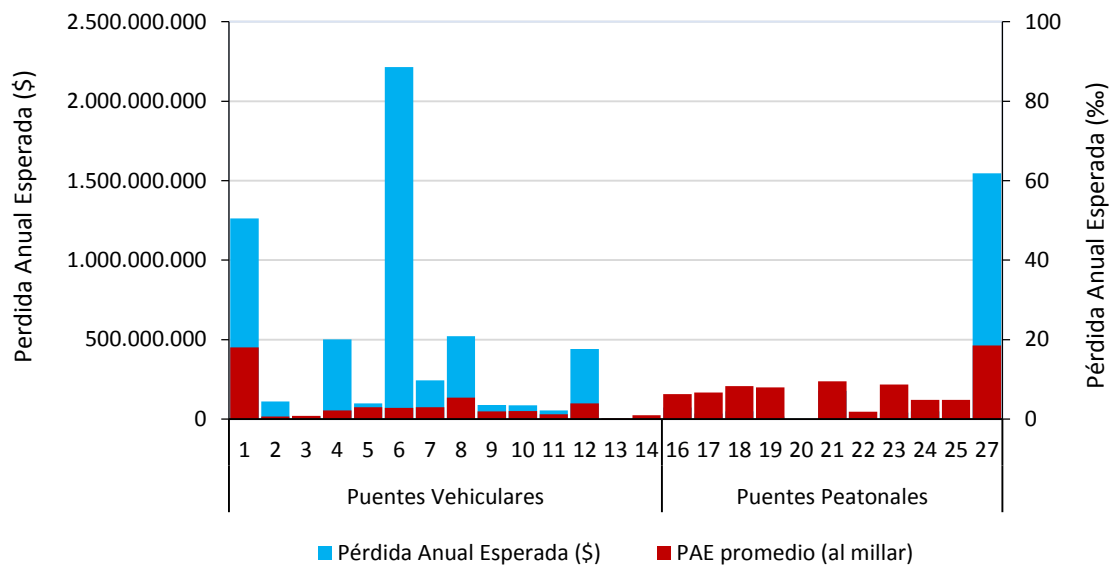
**Tabla 16**  
**Pérdida anual esperada por tipología estructural**

Tipología estructural	Valor expuesto (\$)	Porcentaje del total expuesto	Pérdida Anual Esperada (\$)	Pérdida porcentual respecto a la pérdida total	Pérdida Anual Esperada (%)
1	70,092,000,000	3.7%	1,261,334,319	12.0%	18.0
2	177,369,500,000	9.4%	110,854,286	1.5%	0.6
3	20,421,500,000	1.1%	16,560,261	0.2%	0.8
4	230,175,000,000	12.2%	501,608,609	6.6%	2.2
5	33,110,000,000	1.8%	98,795,602	1.3%	3.0
6	782,149,500,000	41.4%	2,214,309,231	29.0%	2.8
7	82,313,000,000	4.4%	243,778,944	3.2%	3.0
8	96,618,500,000	5.1%	521,253,994	6.8%	5.4
9	45,738,000,000	2.4%	87,336,410	1.1%	1.9
10	42,317,000,000	2.2%	85,798,664	1.1%	2.0
11	44,363,000,000	2.3%	53,077,090	0.7%	1.2
12	112,277,000,000	5.9%	440,809,057	5.8%	3.9
13	1,633,500,000	0.1%	179,024	0.0%	0.1
14	6,220,500,000	0.3%	5,745,930	0.1%	0.9
16	11,580,662,800	0.6%	72,482,754	0.9%	6.3
17	5,144,534,850	0.3%	34,143,353	0.4%	6.6
18	5,837,405,700	0.3%	48,174,178	0.6%	8.3
19	1,960,262,500	0.1%	15,631,878	0.2%	8.0
20	0	0.0%	0	0.0%	0.0
21	18,634,918,750	1.0%	177,206,987	2.3%	9.5
22	386,344,000	0.0%	716,954	0.0%	1.9
23	4,641,696,850	0.2%	40,384,636	0.5%	8.7
24	10,126,517,450	0.5%	48,688,720	0.6%	4.8

Tipología estructural	Valor expuesto (\$)	Porcentaje del total expuesto	Pérdida Anual Esperada (\$)	Pérdida porcentual respecto a la pérdida total	Pérdida Anual Esperada (%)
25	1,603,679,000	0.1%	7,739,602	0.1%	4.8
27	83,683,315,800	4.4%	1,546,502,354	20.3%	18.5
<b>Total</b>	<b>1,888,397,337,700</b>	<b>100%</b>	<b>7,633,112,837</b>	<b>69%</b>	<b>4.0</b>

**Figura 21**

**Curva de pérdidas globales PML. Pérdida Anual Esperada total y promedio por tipo estructural**



## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RIESGO

La Figura 24 presenta la distribución espacial de las pérdidas físicas en términos de la pérdida anual esperada en cada puente, en escalas de acuerdo con la categorización propuesta que se indica en la Tabla 17.

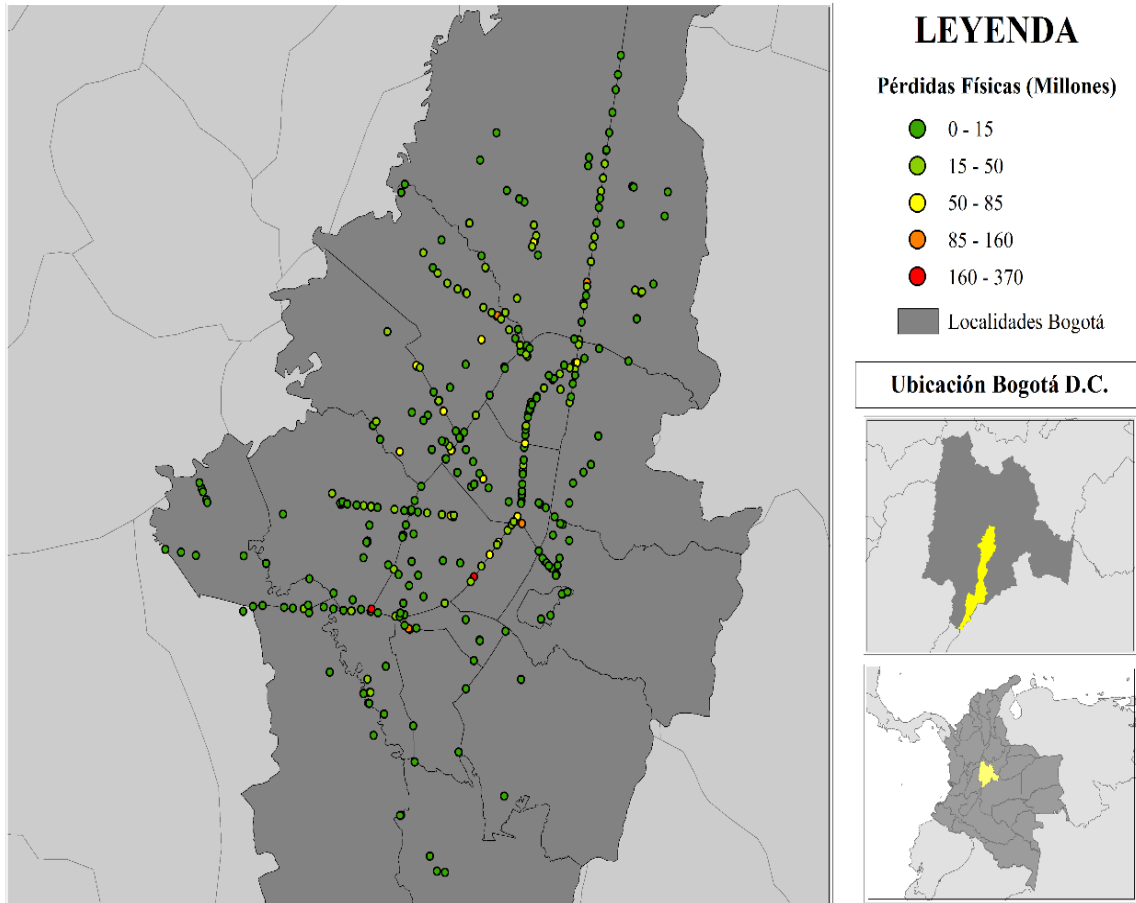
**Tabla 17**

**Escalas de categorización**

Orden de categorización	Pérdidas Anuales Esperadas por [COP\$ 1x10 <sup>6</sup> ]
1	[160, 370]
2	[85, 160]
3	[50, 85]
4	[15, 50]
5	[0, 15]

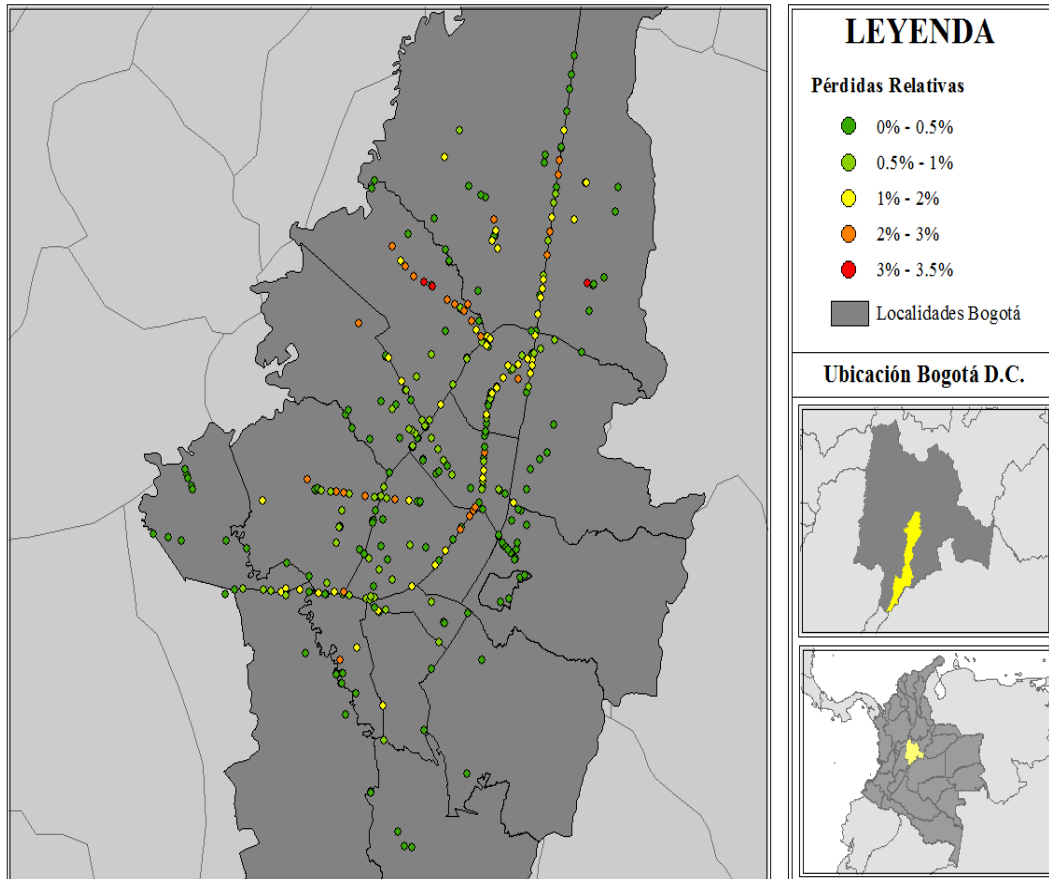
**Figura 22**

*Distribución espacial de pérdidas físicas directas (en términos de la pérdida anual esperada).*



Por otro lado la figura 23, presenta las pérdidas relativas anuales esperadas por puente. Es decir, indica la relación entre la pérdida anual esperada por puente, y su valor de reposición.

**Figura 23**  
*Distribución espacial de pérdidas relativas*



## RESULTADOS

La cartera de análisis está compuesta por 346 puentes, de los cuales la gran mayoría corresponden a puentes vehiculares no monolíticos tipo pórtico con viga más placa, y a puentes peatonales tipo Transmilenio. Estas tipologías también concentran el mayor valor a asegurar.

El valor asegurado total de la cartera de puentes analizados es de cerca de COL\$7.633 millones de pesos. El análisis de riesgo indica que para dicha cartera, puede esperarse una pérdida máxima probable PML, del orden del 24.66% del valor total expuesto para un periodo de retorno de 1000 años. Este valor correspondería a una pérdida máxima probable del orden de \$465,759 millones de pesos, según los valores reportados. El análisis indica además que, considerando un tiempo total de exposición del orden de 50 años, esta pérdida podría verse excedida en un evento futuro con una probabilidad del orden del 5%.

Las tipologías que concentran el riesgo en términos monetarios absolutos corresponden en general a las siguientes:

- Puentes que presentan los mayores valores asegurados, y que resultan por lo tanto en una pérdida económica relativamente alta a pesar de presentar en general índices de vulnerabilidad relativamente bajos. Tal es el caso de los puentes pertenecientes a la tipología 6, 7, 11 y 12.
- Puentes que por condiciones especiales debidas a su ubicación, al tipo de suelo en que se encuentran y a las características constructivas propias, presentan altos niveles de amenaza y de vulnerabilidad, a pesar de no tener valores asegurados significativamente altos. Tal es el caso de los puentes pertenecientes a la tipología 4 y 21.

En el grupo de puentes analizados, el mayor valor expuesto presenta pérdidas relativamente altas, por lo que se recomienda al IDU emprender procesos de eventuales reforzamientos sísmicos con el fin de minimizar las posibilidades de pérdidas de vidas humanas y económicas en el caso de la ocurrencia de un evento sísmico de consideración. En particular se llama la atención sobre los puentes construidos antes que entrara en vigencia el código Colombianos de puentes de 1995.

El escenario sísmico que presenta las condiciones críticas de riesgo para la cartera corresponde a un escenario con evento sísmico de magnitud 6.75 asociado a la falla frontal de la cordillera oriental centro.

Una adecuada gestión del riesgo debe incluir los siguientes aspectos:

- Estrategia general para mejorar el conocimiento y la percepción del riesgo tanto a nivel del gobierno y las entidades relacionadas como a nivel de las empresas de servicios públicos y de la población.
- Planes de prevención y mitigación del riesgo mediante la adopción de una serie de medidas estructurales y no estructurales las cuales deben ser viables desde el punto de vista técnico, funcional, operativo y financiero.
- Planes de contingencia para la respuesta efectiva y eficiente cuando se presenten desastres para atender a la población y restablecer la normalidad tan pronto como sea posible, que deben ser desarrollados por el Gobierno Local en coordinación con las demás entidades del sistema nacional de gestión del riesgo en cada uno de los niveles.
- Planes para la rehabilitación y reconstrucción de los sistemas que incluyan los mecanismos de recuperación definitiva con fines de contribuir a la recuperación económica y social de la población afectada.
- Estrategia general de protección financiera para las empresas del sector mediante mecanismos de retención y transferencia del riesgo.

## 6.1 Estrategia para reducir la vulnerabilidad

La estrategia utilizada para reducir las pérdidas que puede traer un desastre consiste en tomar medidas de mitigación que reduzcan la vulnerabilidad. Una vez se logre reducir al mínimo el riesgo “no diversificable”, la sociedad se debe enfocar en utilizar los mercados de seguros y de capitales para distribuir el riesgo “diversificable” y así contar con los recursos suficientes para garantizar, una vez ocurrido el desastre, la recuperación tanto de la integridad física de sus miembros como de sus activos. A continuación se presenta de manera general alternativas de medidas de mitigación recomendadas y



utilizadas en diferentes escenarios alrededor del mundo. Pollner (2001) identifica cuatro estrategias que pueden reducir la vulnerabilidad de un país desde la perspectiva de los desastres:

- **Medidas Físicas.** Hacen referencia a todas las medidas que los agentes de una sociedad pueden llevar a cabo sobre sus activos con el fin de reducir su vulnerabilidad. Estas medidas son las que tienen el mayor impacto sobre la reducción de las pérdidas que puede generar el desastre.
- **Medidas Estructurales.** Se definen como aquellas que permiten modificar la estructura de las construcciones o activos que los desastres ponen en riesgo. Hacen parte de este tipo de medidas el diseño y la puesta en práctica de los códigos de construcción. Se sugiere el diseño de instituciones encargadas de hacer cumplir tales códigos en las construcciones que se lleven a cabo.
- **Medidas No Estructurales.** Hacen parte de estas medidas todas aquellas destinadas a la identificación de áreas propensas al riesgo y al control de la asignación, el uso del suelo, y el diseño de mapas que identifiquen las áreas más propensas a distintos tipos de riesgo. Este tipo de medidas requieren la interacción de centros de investigación y prevención de desastres, oficinas de planeación y los catastros descentralizados. Además, estas pueden contribuir con la información que utilizan para la valoración de este tipo de riesgos, y así disponer de bases de datos más completas.
- **Seguros.** La industria de los seguros tiene la capacidad, por medio de sus políticas de suscripción, de generar incentivos sobre los agentes privados para que estos ejecuten medidas de mitigación que reduzcan las posibles pérdidas en el momento de un desastre.

La mitigación o reducción del riesgo físico a través de la intervención de la vulnerabilidad, dada su relevancia en este contexto, es fundamental. Aunque la transferencia del riesgo es una medida ex ante que permite pre-asignar recursos para los pasivos contingentes del Estado o de los privados, en sí, no es una medida de mitigación dado que no reduce el daño físico potencial. El seguro más bien redistribuye la pérdida, no la reduce. Un programa de gestión de riesgos de este tipo podría desarrollarse cuidadosamente teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El mejoramiento de las estimaciones de riesgo.
- La auditoría y la inspección de puentes.
- El énfasis en la aplicación real de los códigos de construcción.
- Promover incentivos económicos para la mitigación.
- Ampliar la protección contra las pérdidas por catástrofe.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los ensayos de campo y laboratorio arrojaron resultados satisfactorios ya que se pudo caracterizar las propiedades de los materiales de treinta puentes que presentan diferentes tipologías. La información disponible respecto a las propiedades de los materiales especificados en planos estructurales permitió corroborar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los núcleos de concreto. Esta información indicó que la resistencia promedio a la compresión de los núcleos de cada puente estuvo siempre por encima del 75% de la resistencia especificada, tal como lo establece la NSR-10. Además también se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto al frente de carbonatación ya que no se encontraron grandes afectaciones por carbonatación en ninguno de los núcleos ensayados. Las verificaciones del refuerzo tuvieron resultados variados debido a la falta de información confiable y a que las lecturas realizadas no son infalibles con lo cual se pueden generar errores que impidan una buena apreciación del acero de refuerzo empleado en campo.
- Se definieron los espectros de aceleración para periodos de retorno de 31, 225, 475, 975 y 2500 años, de los puentes vehiculares y peatonales, utilizando los sondeos disponibles de los suelos característicos de la ciudad de Bogotá, estableciendo como periodo de retorno para el análisis 975 años. Este parámetro se define con el objetivo que los puentes tengan una baja probabilidad de colapso, admitiendo daños significativos que se pueden traducir en la interrupción del servicio por efectos de reparaciones. Este periodo de retorno corresponde a movimientos sísmicos del terreno cuya probabilidad de ser excedidos sea del siete por ciento en 75 años; etapa durante la cual puede requerirse el remplazo parcial o total del puente.
- Bogotá cuenta con grandes depósitos de suelo blando, por lo tanto el análisis de los efectos en superficie es de gran importancia. Según las características del suelo se generan amplificaciones y deamplificaciones del espectro de aceleración para distintos periodos estructurales. En el caso de Bogotá, en la cual hay depósitos profundos de suelo arcilloso, se generan grandes amplificaciones en periodos estructurales largos (1, 1.5, 2 seg) y deamplificaciones en periodos cortos. Esto es clave al momento de analizar la amenaza real en estructuras como puentes que por lo general tienen periodos estructurales largos, ya que debido al efecto del suelo, la sollicitación sísmica sobre estos incrementa considerablemente. Esto se evidencia en el análisis realizado a partir de la información geotécnica disponible y las zonas de respuesta sísmica definidas, donde se puede observar que en gran parte de los perfiles de suelo se generan en superficie amplificaciones cercanas a 3 veces la aceleración del suelo en roca para periodos estructurales largos. Esto permite concluir que el efecto del suelo a la hora de determinar la amenaza sísmica en una estructura es muy importante en la ciudad de Bogotá. En consecuencia esta se debe tener en cuenta tanto para el diseño estructural como para conocer el estado de una estructura existente al ocurrir algún evento sísmico.
- La información necesaria para la evaluación de riesgo y estimación de pérdidas para los puentes de Bogotá consta de tres etapas claves, las cuales determinan la calidad de los resultados obtenidos en términos de pérdidas económicas:

La primera etapa es la correspondiente a la amenaza. Los archivos de amenaza pertenecientes a este estudio corresponden a la información más actualizada del estudio general de amenaza sísmica de Colombia, los efectos de sitio fueron calibrados con los últimos sondeos para cada una de las zonas geotécnicas de la ciudad, y la atenuación de las ondas en el espacio corresponden a las fórmulas que más se adecuan a la topografía nacional. De esta forma se puede decir que se tiene una incertidumbre media-baja para la amenaza.

La segunda etapa corresponde a la exposición del portafolio de los puentes de la ciudad. En esta etapa es de suma importancia tener una base de datos robusta que pueda representar la información completa del puente en términos estructurales, geométricos, espaciales y catastrales. Según lo encontrado en todas las fases del presente proyecto, la base de datos es incompleta en términos estructurales; razón por la cual se debe catalogar la exposición con una calidad de información baja que se refleja en una incertidumbre alta.

Por último, la tercera fase de análisis de información corresponde a la vulnerabilidad sísmica del catálogo de puentes. En este caso se tiene una metodología robusta que logra caracterizar la vulnerabilidad de cualquier elemento de infraestructura. Sin embargo, para desarrollar esta metodología de manera satisfactoria es necesario tener un nivel de información sobre todos los puentes que consta de planos estructurales completos y planos de reforzamiento en puentes rehabilitados. Esta información es deficiente, pues el acceso a planos es limitado. Por esta razón se puede determinar que se tiene una incertidumbre alta en la información básica necesaria para el desarrollo satisfactorio de la vulnerabilidad sísmica.

- Una vez realizado el análisis de riesgo, se puede concluir que se tiene un relativo alto riesgo de la infraestructura de la ciudad de Bogotá. Teniendo en cuenta las limitaciones de información, los resultados obtenidos representan una muestra conservadora del riesgo sísmico probabilista. El alto riesgo obtenido en los análisis se debe a la alta amenaza de la ciudad, la amplificación de los registros sísmicos debido a los efectos de sitio, las consideraciones de flexibilidad en cimentación por el suelo blando (arcillas), la falta de uniformidad en los criterios de diseño de puentes, la falta de cumplimiento de normas sísmicas, y la falta de normativas de control de calidad en diseños y mantenimientos.
- La tipología vehicular más vulnerable según el análisis realizado es la tipología No 1, correspondiente a los puentes monolíticos con infraestructura tipo péndulo. La tipología peatonal más vulnerable según el análisis realizado es la tipología No 27, correspondiente a los puentes de Transmilenio. La pérdida máxima probable (PML) para todo el portafolio en un periodo de retorno de análisis de 500 años es de 19.50% del valor total de elementos expuestos, correspondiente a \$368,175,000,000. El valor de pérdida anual esperada (PAE) es de 4.04%, correspondiente a \$7,633,000,000.
- A partir de los resultados obtenidos, se encuentra difícil diseñar un esquema de aseguramiento con la calidad de la información existente. El plan de emergencia y mitigación presentaría deficiencias claras y el plan de intervención podría cambiar sustancialmente si se realiza un análisis más refinado. Por estas razones, se recomiendan las siguientes actividades con el fin de proporcionar de mejor manera los resultados de riesgo sísmico:

En primer lugar es de vital importancia el ajuste, complementación y adecuación de la base de datos en términos estructurales, catastrales y geométricos. Esta actividad debe incluir una revisión

y recopilación completa de toda la información existente de cada puente (planos, fotos, dimensiones, fechas, intervenciones, mantenimientos, etc.). Se recomienda desarrollar un mecanismo de actualización de la base de datos que permita realizar ajustes constantemente.

En segundo lugar, es necesario realizar una reevaluación del riesgo. Esto comprende la realización de un modelo por puente del cual se tengan planos completos. Con esta actividad se puede llegar a un nivel de resolución elevado con respecto a las funciones de vulnerabilidad que se pueden asignar a los elementos expuestos en la base de datos. Esta actividad podrá proporcionar un catálogo completo de funciones de vulnerabilidad para los componentes de infraestructura de la ciudad.

En tercer lugar, se recomienda tener una instrumentación en los puentes de la red vital para aspectos sísmicos. Esto permite actualizar constantemente los elementos de entrada para la acción sísmica, lo que permite reducir la incertidumbre en la amenaza sísmica.

Por último, se recomienda definir metodologías de inspección, mantenimiento, rehabilitación y reforzamiento de puentes. Esto permitirá tener un control sobre los datos específicos que se necesitan para realizar cada una de estas actividades, permitiendo actualizar de manera automática la base de datos de exposición.

- Simultáneamente, como medida de transferencia del riesgo, se propone un modelo de aseguradoras y reaseguradoras que permitan asumir los costos asociados a los daños por eventos sísmicos en la ciudad. Este modelo se debe apoyar en un modelo de capas en caso que los valores a asegurar sean excesivos para una sola compañía aseguradora.

***Este boletín resume los principales aspectos técnicos desarrollados en el marco de la ejecución del contrato No. 568 de 2014 con la Universidad de los Andes, luego usted podrá consultar el informe final que detalla todos los resultados antes expuestos.***