

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**COMPORTAMIENTO DE PUENTES DE LA CIUDAD DE  
GUAYAQUIL DURANTE SISMOS.**

**AUTOR:**

**Nieto Fuentes, Naravely Isabel**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERA CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**15 de septiembre del 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Nieto Fuentes, Naravely Isabel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

### **TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.Sc.**

### **DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc.**

**Guayaquil, a los 15 del mes de septiembre del año 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Nieto Fuentes, Naravely Isabel**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Comportamiento de puentes de la ciudad de Guayaquil durante sismos** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 15 del mes de septiembre del año 2021**

### **LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_  
**Nieto Fuentes, Naravely Isabel**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Nieto Fuentes, Naravely Isabel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Comportamiento de puentes de la ciudad de Guayaquil durante sismos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 15 del mes de septiembre del año 2021**

**LA AUTORA:**

f. \_\_\_\_\_  
**Nieto Fuentes, Naravely Isabel**

## **AGRADECIMIENTO**

Debo agradecer a primeramente a Dios por toda la fortaleza y esperanza que me ha dado para seguir adelante, no decaer ante las dificultades presentadas en el camino y escoger correctas decisiones para lograr mis objetivos.

A mis queridos papitos, Byron Nieto y Edith Fuentes, les agradezco infinitamente por estar siempre a mi lado dándome ánimos, apoyándome incondicionalmente, que pese cualquier adversidad me están brindado amor, consintiéndome mucho, por siempre creer en mí, un gran sacrificio fue estar lejos en toda esta etapa universitaria, pero este título es de ustedes, ya que me dieron la mejor herencia de la vida que es el estudio y nunca nos rendimos hasta el final. Ustedes siempre serán mi inspiración por ser los mejores padres del mundo y mi pilar fundamental en mi vida.

A mis queridos hermanos Tita, Adriana y Byron, por estar siempre a mi lado, siendo los mejores hermanos mayores, por apoyarme y brindarme cariño en todo momento. En especial a mi hermana Tita quien fue mi segunda mamá en toda mi etapa universitaria, dándome un espacio en su hogar, apoyándome en las buenas y en las malas, siendo un gran ejemplo a no rendirme en cualquier obstáculo que se me presente en la vida.

Los más pequeñitos de casa, mis queridos sobrinitos, Lucianita, Nikito, Emilianito y Moi, quienes me han enseñado a disfrutar la vida, sacándome muchas sonrisas y volviendo a ser una niña chiquita junto a ellos. Son los mejores regalos de la vida que me han dado mis hermanos.

A mi enamorado el Ing. Fabricio Tamayo B. le agradezco por apoyarme en todo momento, darme ánimos, siendo una parte fundamental para concluir con mi etapa universitaria, por la paciencia que me ha tenido y todo el amor brindado. Por ser la más bonita casualidad en esta etapa universitaria.

Mis mejores amigos desde el colegio Gladys y Nachito, quienes siempre estuvieron a mi lado, en las buenas y en las malas.

A mis profesores de la universidad, en especial al Ing. Alex Villacrés por permitirme trabajar en la elaboración de la presente investigación, siendo mi tutor y por todo el apoyo brindado.

### **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico a las personas más especiales en mi vida, mi hermosa familia que siempre están dándome cariño y apoyándome, mis queridos papitos Byron y Edith, mis hermanos Tita, Adriana y Byron, a mis sobrinitos Lucianita, Nikito, Emilianito y Moi. Quienes fueron que creyeron en mí, siendo un apoyo fundamental para cumplir esta meta, dándome grandes ejemplos para no rendirme en esta vida, siempre pensando positivamente que cualquier meta se puede cumplir. Lo logramos familia, este título es de todos nosotros, son la mejor bendición que me ha podido dar Dios y siempre estaré agradecida.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Carlos Chon Díaz, M.Sc.**  
DECANO DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Barros Cabezas, M.Sc.**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Jaime Hernández Barredo, M.Sc.**  
OPONENTE

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	2
Antecedentes .....	2
Objetivos .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis .....	3
Metodología .....	4
CAPÍTULO I .....	5
1. Recopilación de Información. ....	5
1.1. Proyecto RADIUS.....	5
1.1.1. Tipos de suelos.....	7
1.2. Eventos sísmicos en la ciudad de Guayaquil .....	8
1.2.1. Reseña histórica de la sismicidad en la ciudad de Guayaquil.....	8
1.2.2. Sismo del 18 de agosto de 1980.....	9
1.2.3. Sismo del 16 de abril del 2016.....	10
1.3. La vulnerabilidad de los puentes o pasos a desnivel de la ciudad de Guayaquil.....	10
1.3.1. Factores que determinan la vulnerabilidad de los puentes según Proyecto RADIUS. ....	11
1.3.2. Estimación de daños en puentes. ....	12
1.4. Puentes de la ciudad de Guayaquil. ....	16
1.4.1. Puentes ubicados en la Intensidad de Mercalli VIII.....	16

CAPÍTULO II.....	19
2. Análisis de la información .....	19
2.1. Información detallada de los puentes. ....	19
2.1.1. Puentes Reforzados. ....	20
2.1.2. Puentes Reconstruidos.....	35
CAPÍTULO III.....	45
3. Consideraciones Geológicas de Guayaquil .....	45
3.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) .....	46
3.1.1. Zonas Sísmicas .....	47
3.1.2. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.....	48
3.2. Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil.....	49
3.2.1. Zonificación geotécnica de Guayaquil .....	50
3.2.2. Clasificación de las Zonas Geotécnicas .....	50
CAPÍTULO IV.....	53
4. Evaluación de la información de los puentes.....	53
4.1. Efecto del terremoto del 16 de abril del año 2016 sobre las estructuras de los puentes de RADIUS.....	53
4.2. Comportamiento de los puentes luego del proyecto RADIUS. ....	56
4.3. Análisis estadístico .....	68
Conclusiones .....	73
Recomendaciones .....	78
Bibliografía .....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de los sismos sentidos en Guayaquil durante el siglo XX. Extraído del Proyecto RADIUS .....	6
Ilustración 2. Ubicación de las estaciones de los acelerógrafos del IIFIUC. Extraído del Proyecto RADIUS. ....	7
Ilustración 3. Zonificación Sísmica de los Suelos de Guayaquil. Extraído del Proyecto RADIUS. ....	8
Ilustración 4. Intensidad de daños en los puentes o pasos a desnivel de Guayaquil. Extraído del Proyecto RADIUS .....	13
Ilustración 5. Mapa de daños del sismo modelo. Extraído del Proyecto RADIUS. ....	15
Ilustración 6. Puente Rafael Mendoza Avilés. Extraído del sitio web Obras Públicas.gob.ec, 2011.....	22
Ilustración 7. Puente Rafael Mendoza Avilés. Extraído de Google Earth. ...	23
Ilustración 8. Los pilares del paso a desnivel de la intersección de la Av. de Las Américas con la Av. Kennedy fueron apuntalados con perfiles de hierro y son encamisados con acero. Extraído del diario El Universo,2016. ....	25
Ilustración 9. Paso a desnivel de la intersección de la de la av. de Las Américas con la Av. Kennedy. Extraído de Google Earth.....	25
Ilustración 10. Puente de la Calle Portete presenta oxidación en algunas de sus áreas la capa de hormigón está separados en varios tramos. Extraído del diario El Universo, 2010. ....	26
Ilustración 11. Puente de la Calle Portete. Extraído de Google Earth.....	26
Ilustración 12. Paso a desnivel de la Av. Carlos J. Arosemena con la Av. Las Monjas. Extraído del diario El Universo, 2013. ....	27
Ilustración 13. Paso a desnivel de la Av. Carlos J. Arosemena con la Av. Las Monjas. Extraído de Google Earth. ....	27

Ilustración 14. El resquebrajamiento en la parte inferior de la viga central. Extraído del diario el Expreso, 2011. ....	28
Ilustración 15. Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina. Extraído de Google Earth.....	28
Ilustración 16. Puente 5 de Junio. Extraído del diario El Universo 2020.....	29
Ilustración 17. Puente 5 de Junio. Extraído de Google Earth. ....	29
Ilustración 18. Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta (Av. Central) con la Jorge Pérez Concha, sobre el estero salado. Extraído de Google Earth.....	30
Ilustración 19. Ubicación del Paso a desnivel de la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez. Extraído de Google Earth. ....	31
Ilustración 20. Puente veinticinco de Julio, trabajos ejecutados. Extraído del diario El Universo,2016.....	32
Ilustración 21. Puente Veinticinco de Julio. Extraído de Google Earth. ....	32
Ilustración 22. Pasos a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala. Extraído de la página web Guayaquil, Estampas y Costumbres de mi Tierra, 2019.....	33
Ilustración 23. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Av. Quito. Extraído de Google Earth. ....	33
Ilustración 24. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Av. Machala. Extraído de Google Earth. ....	33
Ilustración 25. Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído del diario El Universo, 2017. ....	34
Ilustración 26. Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído de Google Earth.....	34
Ilustración 27. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído del diario El Telégrafo.....	35

Ilustración 28. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth. ....	35
Ilustración 29. Puente Colapsado. Extraído del diario El Universo, 2010. ...	37
Ilustración 30. Puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth. ....	37
Ilustración 31. Puente colapsado peatonal del estero salado a la altura del estadio de Barcelona s.c. Extraído del diario El Universo, 2005.....	38
Ilustración 32. Paso Peatonal del Estadio Barcelona. Extraído de Google Earth. ....	39
Ilustración 33. Paso a desnivel de la av. de las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica, día después del terremoto. Extraído del diario El Universo, 2016.....	41
Ilustración 34. Paso a desnivel de la av. de las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica. Extraído de Google Earth. ....	41
Ilustración 35. Deterioro del Puente de la G. Extraído del diario EL Telégrafo, 2017.....	43
Ilustración 36. Puente de la G. Extraído de Google Earth. ....	43
Ilustración 37. Puente de la Calle A. Extraído del diario El Universo, 2010. ....	44
Ilustración 38. Puente de la Calle A. Extraído de Google Earth.....	44
Ilustración 39. Diagrama de puentes de la ciudad. Fuente: Municipio de Guayaquil. Gustavo Vinueza. Extraído del diario El Universo, 2001.....	45
Ilustración 40. Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca. Extraído de Google Earth.....	45
Ilustración 41. Mapa de zonificación sísmica y factor de zona Z. Extraído de la NEC-15. ....	47
Ilustración 42. Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011.....	50

Ilustración 43. Zonas Geotécnicas. Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011. .....	50
Ilustración 44. Mapa de la variación del período elástico del suelo (Guayaquil). Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011. ....	52
Ilustración 45. Valores del período elástico $T_e$ . Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011. ....	52
Ilustración 46. Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica, consecuencias del terremoto del 16 abril del 2016. Extraído del diario El Universo. ....	53
Ilustración 47. Encamisado de las pilas del a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy. Extraído del diario Expreso. ...	54
Ilustración 48. Parte del muro lateral que colapsó del puente de la calle G. Extraído del diario el Telégrafo. ....	55
Ilustración 49. Colapso del puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído del diario El Universo. ....	56
Ilustración 50. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala. Extraído de Google Earth .....	57
Ilustración 51. Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído de Google Earth.....	58
Ilustración 52. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth. ....	59
Ilustración 53. Puente 5 de Junio, sobre el estero Salado. Extraído de Google Earth.....	60
Ilustración 54. Puente Rafael Mendoza Avilés (puente de la Unidad Nacional). Extraído de Google Earth. ....	61
Ilustración 55. Puente de la Calle Portete. Extraída de Google Earth.....	62

Ilustración 56. Paso a desnivel de la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas, frente a diario Expreso. Extraído de Google Earth. ....	63
Ilustración 57. Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina. Extraído de Google Earth.....	64
Ilustración 58. Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez Concha, (Miraflores). Extraído de Google Earth.....	64
Ilustración 59. Paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio. Extraído de Google Earth.....	65
Ilustración 60. Paso peatonal del estadio Barcelona. Extraído de Google Earth. ....	66
Ilustración 61. Puente de la calle A (Pío López Lara). Extraído de Google Earth. ....	67
Ilustración 62. Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca. Extraído de Google Earth.....	68
Ilustración 63. Puentes analizados por RADIUS y los que sufrieron cambios relevantes en los últimos años.....	68
Ilustración 64. Puentes que han sido reconstruido y reforzados.....	69
Ilustración 65. Intensidad de sismos de diseño de RADIUS. ....	69
Ilustración 66. Tipos de suelos según RADIUS. ....	70
Ilustración 67. Tipo de suelos según NEC-15.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función de vulnerabilidad en el daño de los puentes. ....	14
Tabla 2. Daños en la red vial en el cantón.....	14
Tabla 3. Factor Z, Guayaquil.....	47
Tabla 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica. ....	48
Tabla 5. Perfiles de suelo (A, B, C).....	48
Tabla 6. Perfiles de suelo (D, E, F). ....	49
Tabla 7. Comparación de las expectativas de los daños más relevantes....	74
Tabla 8. Clasificación de los puentes según su intensidad y tipo de suelos	77
Tabla 9. Clasificación de puente analizados por RADIUS y los que sufrieron daños en los últimos años. ....	77
Tabla 10. Clasificación de los puentes analizados por RADIUS, que fueron reconstruidos y reforzados a pasar los años. ....	77
Tabla 11. Clasificación de los puentes reconstruidos y reforzados, según su intensidad. ....	77
Tabla 12. Clasificación de los puentes que sufrieron daños con el sismo de 7.8 Mw. ....	77

## RESUMEN

En la ciudad de Guayaquil a partir de la década de los 60 del siglo XX, se empezaron a construir puentes, pasos elevados, pasos peatonales, a lo largo de la urbe. En el trabajo se analizarán 61 de estos puentes y se verá la influencia que tuvieron sobre ellos los sismos del 18 de agosto de 1980 y el del 16 de abril de 2016. Se recopilan datos técnicos brindados por los organismos competentes como la M.I. Municipalidad de Guayaquil (Dirección de OO.PP.MM.,2016) y el proyecto RADIUS (UCSG, Argudo et al, 1999).

Con los datos obtenidos se realiza una recopilación de información que identifica cuales son los daños causados en los puentes dependiendo el tipo de suelo en el sector, nos da una mirada más amplia de porque ocurrieron los daños y como prevenir esos errores en el futuro. Dependiendo el tipo de suelo y los daños efectuados por los sismos se generan dos grupos donde se evalúa puentes que tengan las mismas características del suelo y así se obtienen una comparación adecuada de estos.

**Palabras Claves:** Puentes, Sismos, Daños, Proyecto RADIUS, Tipo de Suelos, Evaluación.

## **ABSTRACT**

In the city of Guayaquil from the 60s of the 20th century, bridges, and pedestrian crossings began to be built throughout the city. In the work, 61 of these bridges will be analyzed and the influence of the earthquakes of August 18, 1980 and April 16, 2016 will be seen. Technical data provided by competent bodies such as M.I. Municipality of Guayaquil (Directorate of OO.PP.MM., 2016) and the RADIUS project (UCSG, Argudo et al, 1999).

With the data obtained, a compilation of information is made that identifies the damage caused to the bridges depending on the type of soil in the sector, gives us a broader look at why the damage occurred and how to prevent these errors in the future. Depending on the type of soil and the damage caused by the earthquakes, two groups are generated where bridges that have the same characteristics of the soil are evaluated and thus an adequate comparison of these is obtained.

**Keywords:** Bridges, Earthquakes, Damages, RADIUS Project, Soil Type, Evaluation

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

En la ciudad de Guayaquil se han construido puentes y pasos elevados (vehiculares y peatonales) desde la década de los 60 del siglo XX. La construcción de dichas estructuras fue transformando la vialidad y el tráfico de la urbe de manera muy significativa.

Diversos estudios fueron realizados para evaluar el diseño, construcción y las condiciones de mantenimiento y de vulnerabilidad ante sismos de los puentes en Guayaquil. Entre ellos, está el proyecto RADIUS (UCSG, Argudo et al, 1999); una evaluación de los puentes de la ciudad en estado de riesgo realizado por el Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas (CICG, 2013) y una revisión del estado de los puentes de Guayaquil después del sismo del 16 de abril de 2016, realizado por la M. I. Municipalidad de Guayaquil (Dirección de OO.PP.MM., 2016).

El caso que se propone estudiar es el del comportamiento de puentes en la ciudad de Guayaquil durante eventos sísmicos como los del 18 de agosto de 1980 y el del 16 de abril de 2016; y otros que han afectado a la ciudad en los últimos 50 años.

Los puentes que se estudiarán son aquellos que constaron en el proyecto RADIUS, con un total de 61 estructuras, entre puentes vehiculares (puentes sobre el agua o pasos a desnivel) y pasos peatonales. Entre los puentes que se revisaron en RADIUS, constan:

- Puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena.
- Paso a desnivel en la intersección de la Av. de Las Américas con la Av. Kennedy.
- Pasos a desnivel en la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala.
- Paso a desnivel en la Av. de Las Américas, frente a aeropuerto.
- Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena.
- Puente 5 de Junio, sobre el estero Salado.
- Puente Rafael Mendoza Avilés, hoy denominado de la Unidad Nacional.
- Puente de la calle Portete, que conecta dicha calle con la Vía a la Costa.

- Etc...

En particular, RADIUS identificó 6 puentes o pasos peatonales en la zona de la ciudad donde se estimó una intensidad de VI para el escenario sísmico. Otras 13 unidades se identificaron en la zona donde se estimó una intensidad de VII y 42 unidades en la zona de intensidad esperada VIII.

Se busca lograr conocimiento para mejorar el diseño y construcción sismo resistente de los puentes en la ciudad de Guayaquil.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar estadísticamente el comportamiento de los puentes de la Ciudad de Guayaquil durante los sismos del 18 de agosto de 1980 y el del 16 de abril del 2016, recolectando la información de la época.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los casos en los cuales los puentes de Guayaquil han sufrido daños durante los sismos de los últimos 50 años en la ciudad.
- Establecer estadísticamente el porcentaje de puentes que sufrieron daños en Guayaquil durante los eventos considerados en el estudio, tanto sobre suelos blandos como suelos firmes.
- Establecer estadísticamente el porcentaje de puentes que sufrieron daños en Guayaquil durante los sismos considerados en el estudio, tanto en el caso de estructuras con factores de vulnerabilidad reconocidos antes de los eventos, como en el caso de puentes sin dichos factores de vulnerabilidad.

## **Hipótesis**

Se evaluará la información brindada de los puentes de Guayaquil para obtener así información que nos ayude a determinar los daños que provocaron los sismos en la ciudad.

Encontrar una clasificación lógica que nos permite relacionar a las estructuras con el tipo de suelo y así saber si es un factor influyente en los daños causados por los sismos.

## **Metodología**

Se obtendrá la información sobre daños en puentes durante los sismos considerados, que apareció en diarios y publicaciones técnicas. También se consultará a las oficinas técnicas que se hicieron cargo de las evaluaciones de los puentes.

Se espera que la muestra esté constituida por todos los puentes que hayan sufrido algún daño o efecto adverso durante sismos en Guayaquil los últimos 50 años.

A fin de controlar la influencia del tipo de suelo en el daño experimentado por los edificios, se dividirá la muestra en dos grupos. El grupo N1 corresponderá a puentes sobre suelos tipo A, B o C de acuerdo a las Normas Ecuatorianas de la Construcción NEC – 2015. El grupo N2 corresponderá a puentes sobre suelos tipo D, E o F, de acuerdo a las mismas normas.

Luego, para los puentes de cada grupo se revisará la existencia de factores de vulnerabilidad previamente advertidos en los estudios realizados por diferentes entidades técnicas de la ciudad.

Se finalizará el estudio correlacionando tipo de suelo, factores de vulnerabilidad y presencia de dispositivos de disipación de energía, con el grado de daño experimentado por los puentes del estudio.

## **CAPÍTULO I**

### **1. Recopilación de Información.**

#### **1.1. Proyecto RADIUS.**

El proyecto RADIUS fue realizado por UCSG y dirigido por el Ing. Jaime Argudo Rodríguez, Ph.D, el cual inicio en el año de 1998 y finalizado en 1999, sus siglas en inglés tienen como significado “Herramientas de Evaluación del Riesgo para el Diagnostico de Zonas Urbanas contra Desastres Sísmicos”, los objetivos principales de este proyecto fueron evaluar los riesgos sísmicos en donde desarrollaron escenarios de posibles daños por un terremoto y preparar un plan de acción basado en los resultados obtenidos de la evaluación del riesgo sísmico, lo cual dieron a conocer a la ciudadanía y a las autoridades para que tomen conciencia de la problemática. El proyecto RADIUS estableció que, si la ciudad de Guayaquil presentara un sismo de 8 grados en la escala de Richter, la zona más crítica sería el centro de la ciudad por el tipo de suelo que posee.

Para la sismicidad histórica de Guayaquil, el Proyecto RADIUS realizó una investigación usando como fuentes principales las crónicas históricas y la información periodística, de siete sismos, (1653, 1942, 1943, 1946, 1956, 1971 y 1980), estos correspondían a una intensidad igual o mayor a VII de la escala modificada de Mercalli. Un estudio que realizaron con la historia urbana de la ciudad dio a conocer que el desarrollo urbano no planificado favoreció al incremento del riesgo sísmico. (Argudo, et al., 1999)

En el análisis que realizó el Proyecto RADIUS sobre la Amenaza Sísmica, utilizaron los datos reportados en el catálogo para las intensidades, asociadas en una fuente sísmica activa para estimar la posibilidad de la ocurrencia de cierto nivel de intensidad de Guayaquil. Se representaron gráficamente el epicentro, la magnitud y la intensidad, para cada uno de los sismos que ocurrieron en guayaquil durante ese siglo. (Argudo, et al., 1999)

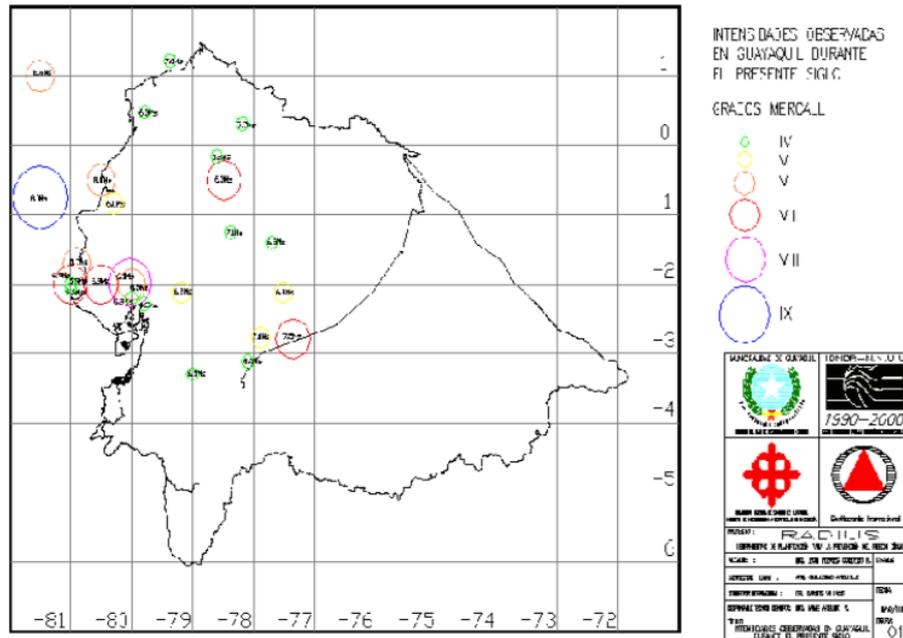


Ilustración 1. Localización de los sismos sentidos en Guayaquil durante el siglo XX. Extraído del Proyecto RADIUS

En Guayaquil en el año de 1989 se instaló una red de 5 acelerógrafos sobre suelos de diversas características, por la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC), los cuales miden la aceleración del suelo, lo que permitieron obtener el registro del movimiento del suelo durante los sismos, la aceleración del suelo que está en conjunto a la velocidad y al desplazamiento del sismo en aquellos años, obtuvieron como resultados 25 registros. Se agruparon esos registros de aceleraciones de acuerdo al tipo de suelo donde estaban instalados, luego calcularon las aceleraciones de respuesta para una estructura pendular con el 5% de amortiguamiento y los resultados obtenidos se mostraron gráficamente en los espectros, los cuales fueron utilizados para identificar las características dinámicas de los tres tipos de suelos que existe en la ciudad, para el estudio de la peligrosidad sísmica. (Argudo, et al., 1999)

Los acelerógrafos se encontraban ubicados en los siguientes sitios según RADIUS:

- En la Universidad Católica Santiago de Guayaquil – Facultad de Ingeniería. (Suelo tipo I), el suelo pertenece a un afloramiento rocoso.

- En el Colegio de Ingenieros Civiles, en el basamento del edificio. (Suelo tipo I), el suelo pertenece a un afloramiento rocoso.
- En la Avenida del Ejército, cerca al cerro del Carmen. (Suelo tipo II), el suelo de la zona pertenece al tipo de transformación entre roca y suelo aluvial o pie de monte.
- En el Edificio Torres de la Merced, en el basamento y en el piso N.25. (Suelo tipo III), el suelo pertenece a depósitos aluviales flexibles con predominación de arcillas.
- Barrio del Centenario, al sur de la ciudad. (Suelo tipo III), el suelo pertenece a depósitos aluviales de gran potencia.

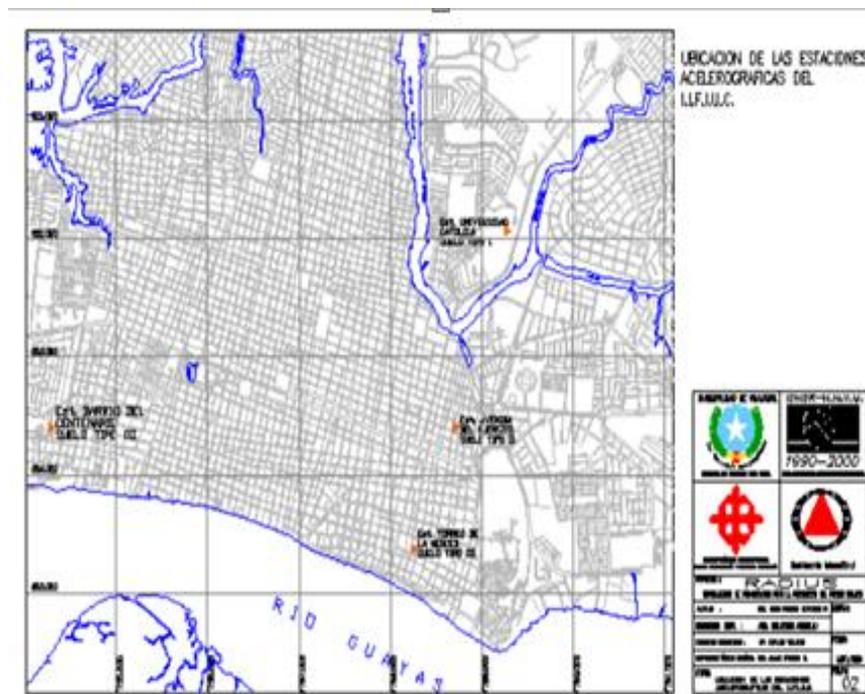


Ilustración 2. Ubicación de las estaciones de los acelerógrafos del IIFIUC. Extraído del Proyecto RADIUS.

### 1.1.1. Tipos de suelos

La distribución de los suelos fue realizada por el IIFIUC para la Vulnerabilidad Sísmica de estructuras importantes de la ciudad de Guayaquil.

Los suelos de la ciudad de Guayaquil se clasificaron en tres tipos:

- **Suelo Tipo III:** Pertenece a la gran planicie aluvial del depósito de sedimento del río Guayas. Abarcando parte de la zona ubicada entre estero Salado al oeste de la ciudad y el río Guayas, al este.

- **Suelo Tipo II:** Pertenece a zonas de transformación entre los depósitos de suelo aluvial y los afloramientos rocosos de la cordillera costera. Abarcando estrechas fajas de terreno al pie de los cerros del Carmen y Santa Ana (vertiente norte y sur) y de los cerros ubicados al noroeste de la ciudad (ramales del sistema de Chongón-Colonche).
- **Suelo Tipo I:** Pertenece a los cerros del Carmen y Santa Ana, afloramientos rocos, a veces no visibles, que se encuentran dispersos al norte de la ciudad, hacia zonas residenciales de Urdesa y La Alborada.

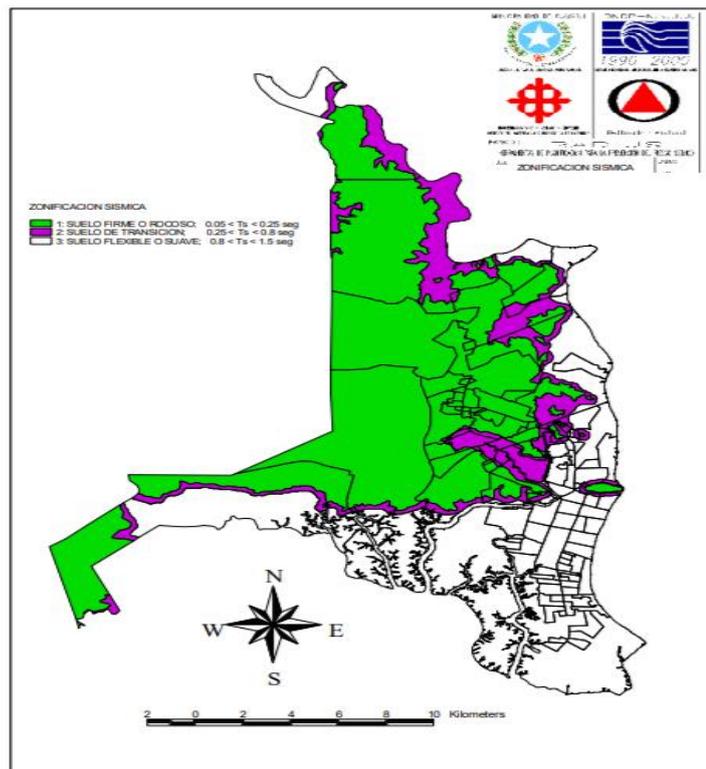


Ilustración 3. Zonificación Sísmica de los Suelos de Guayaquil. Extraído del Proyecto RADIUS.

## 1.2. Eventos sísmicos en la ciudad de Guayaquil

### 1.2.1. Reseña histórica de la sismicidad en la ciudad de Guayaquil.

La ciudad de Guayaquil es una de las zonas que ha sido víctima de los sismos ocurrido en el transcurso de los años dejando como consecuencia varios daños en toda la urbe. Puede ser por su ubicación ya que se encuentra en las costas del Golfo de Guayaquil, en la zona Norte de América del Sur, la cual está en la zona de Subducción proveniente de las placas tectónicas de Nazca y la Placa Sudamericana, conjuntamente de varias

fallas geológicas que cruzan la superficie. En la región costa se origina un mayor peligro sísmico que en otras regiones.

Se consideró como uno de los eventos sísmicos de mayor intensidad ocurrido en la ciudad de Guayaquil en el siglo XX, el sismo del 18 de agosto del año de 1980. Provocó varios daños en toda la urbe, como el colapso de casas, colapso en servicios públicos, pérdidas de vidas humanas, las personas quedaron con temor de que suceda nuevamente y hubiese más pérdidas humanas.

El evento sísmico con mayor intensidad y magnitud, ocurrido en el siglo XXI, es el del 16 de abril del año del 2016. Este sismo tuvo una intensidad menor en la ciudad de Guayaquil, comparada a la del sismo del año de 1980 que fue más sentido. Otras ciudades del país de la región costa fueron más afectadas con grandes desastres como el colapso de una ciudad entera y un gran número de pérdidas de vidas humanas.

### **1.2.2.Sismo del 18 de agosto de 1980**

El sismo del 18 de agosto del año 1980, a las 10:08 am tuvo como epicentro el cantón Nobol que está ubicado en la provincia del Guayas, 30 Km al norte de la ciudad de Guayaquil, con una magnitud medida en escala Richter de  $M_s=6.1$ , el foco sísmico se situó a una profundidad de 74 Km por debajo del epicentro. Este evento sísmico es el que provocó más daños a la ciudad de Guayaquil, su intensidad en general es catalogada de grado VII con respecto a la escala modificada de Mercalli, en algunos sectores del centro y sur de la ciudad tuvo una intensidad máxima de VIII grados escala de modificada de Mercalli. (Argudo, et al., 1999)

Se estima que la duración del sismo fue aproximadamente entre 60 a 62 segundos, provocó muchos estragos ya que sucedió en horas de la mañana donde todas las personas se encontraban fuera de sus hogares, laborando, estudiando y entre otras cosas. Este evento sísmico generó conmociones en toda los ciudadanos y angustia, suspendieron todo luego que pasó el sismo debido a los daños registrados y al temor de réplicas.

Como consecuencia se registraron 10 personas fallecidas y más de 100 heridos, por el colapso de paredes de mampostería durante el sismo, más de 100 edificaciones quedaron dañadas y otras colapsadas.

### **1.2.3.Sismo del 16 de abril del 2016**

El sismo del 16 de abril del año 2016, a las 18:58 pm tuvo como epicentro el cantón de Pedernales en la provincia de Manabí, se encuentra en la costa norte de Ecuador, una magnitud de 7.8 Mw, su hipocentro se originó a 20 Km de profundidad, este sismo es el resultado del desplazamiento entre dos placas tectónicas, la placa Nazca oceánica sumergida por debajo de la placa Sudamericana Continental, ocasionando la subducción entre ambas placas.

En este sismo la ciudad de Guayaquil no fue la zona que se generó un mayor impacto, pero si quedaron secuelas en las edificaciones, aproximadamente 243 casas resultaron afectadas, algunas colapsaron. Colapsó un puente que se encontraba ubicado sobre la avenida de las Américas, sus pilas fallaron en respuesta a la carga dinámica que se generó durante el sismo, hubo 2 pérdidas de vida humanas, por lo que la estructura se desplomó sobre un vehículo, la otra persona se encontraba recolectando basura y a esta persona se la encontró cuando recogiendo los escombros del puente. (Instituto Geofísico, 2016)

### **1.3. La vulnerabilidad de los puentes o pasos a desnivel de la ciudad de Guayaquil.**

En la década de los 60 se comenzó a construir numerosos puentes o pasos a desnivel en la ciudad de Guayaquil, como solución al tráfico de la ciudad sobre sus autopistas, algunas calles y avenidas de dos carriles, estas estructuras están compuestas por pilas que soportan vigas pretensadas o postensadas, algunos pasos a desnivel son estructuras de hormigón armado sin presfuerzo.

El proyecto RADIUS realizó un programa de inspección por la importancia que tienen los puentes para el funcionamiento de la red vial, logrando identificar los factores de vulnerabilidad de algunos puentes que estén en

riesgo de experimentar algún daño, en un terremoto con una intensidad de VIII.

Para evitar los posibles daños en los puentes, recomendaron a la M.I. Municipalidad de Guayaquil que se realicen planes de mejoramiento de las normas sísmicas para reducir los riesgos de las nuevas estructuras desde la etapa del diseño y la revisión de la seguridad sísmica de las estructuras con riesgo.

Los daños de las estructuras son complejas y costosas, uno de los ejemplos es lo que sucedió en el puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena que se realizó la reparación de una de las pilas, por fallas en la cimentación de sus pilotes, luego de unos años de su inauguración. (Argudo, et al., 1999)

### **1.3.1. Factores que determinan la vulnerabilidad de los puentes según Proyecto RADIUS.**

- a) La pérdida del presfuerzo de los cables con los que fueron tensadas las vigas de los puentes, era excesiva la pérdida de esfuerzo en algunos casos, como consecuencia está la disminución de la capacidad para resistir las cargas, como el peso de los vehículos que transitan sobre los puentes diariamente y las cargas sísmicas.

Observaron que las vigas se encontraban con una deformación excesiva, como el caso del puente en la intersección de las Av. De Las Américas con la Av. Kennedy junto al monumento a Eloy Alfaro.

- b) Los coeficientes sísmicos que utilizaron los diseñadores de los puentes, durante ese tiempo no existía una norma sísmica estándar y se usaban diversas filosofías de diseño basándose en la aplicación de normas y especificaciones de otros países. Los criterios para la estimación de amenaza sísmica han cambiado al pasar de los años, fue recomendable que esas estructuras sean sometidas a un proceso de evaluación de su capacidad estructural para ver si resisten a un sismo semejante al que adoptaron en este proyecto.
- c) La falta de redundancia estructural, el diseño de las pilas de apoyo de las vigas. En diferentes puentes se observaba una columna para resistir

las fuerzas verticales y las sollicitaciones sísmicas de un sismo, siendo una situación desfavorable a la estructura, ya que la seguridad de la estructura dependería de un solo elemento. Por eso recomendaron usar dos o más columnas que en lugar de una sola. Es el caso del puente en la intersección de la Av. 25 de Julio con la vía Perimetral y el de la Av. De las Américas frente al Aeropuerto.

- d) El mal diseño de las trabas sísmicas, son elementos estructurales y su función es evitar que las vigas simplemente apoyadas sobre las pilas de la estructura sufran un corrimiento lateral producido por algún sismo. Las consecuencias del mal diseño de las trabas, es que las vigas pueden caer a la calzada durante un evento sísmico, como sucedió en el puente que se encuentra en la Av. De las Américas frente a la Policía y la Universidad Laica.
- e) La torsión por irregularidad geométrica, se observó en el puente de la Av. De las Américas frente al Aeropuerto, una curva produce una fuerte torsión sobre una de las pilas que debía ser reforzada por la presencia de fisuras de esfuerzos compresivos en los extremos de su sección superior, las placas de neopreno estaban desformadas por efectos de la torsión debido a la curvatura de la losa del puente.
- f) El deterioro de las juntas de dilatación por mal diseño, dado por el tráfico no considerado al realizar el diseño y el asentamiento de los rellenos colocados junto a los estribos, como el puente que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena, el puente de la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy.

Como consecuencia del deterioro de las juntas se observó ciertos desniveles y huecos, durante un evento sísmico intenso ayudan a la destrucción total de las juntas y el impacto entre los elementos estructurales del puente. (Argudo, et al., 1999)

### **1.3.2. Estimación de daños en puentes.**

Se representa gráficamente el mapa de intensidad sísmicas, con el sismo adoptado por el proyecto RADIUS, que contiene 61 puentes de la ciudad de Guayaquil.



El Proyecto RADIUS identificó en la representación gráfica del mapa de intensidad, 6 puentes o pasos peatonales en la zona de la ciudad donde se estimó una intensidad de VI esta de color verde, 13 unidades se identificaron en la zona donde se estimó una intensidad de VII está de color turquesa y 42 unidades en la zona de intensidad esperada VIII está de color celeste. (Argudo, et al., 1999)

Tabla 1. Función de vulnerabilidad en el daño de los puentes.

	INTENSIDAD DE LA ESCALA MERCALLI MODIFICADA.		
	VI	VII	VIII
% de daño en puentes	0.49	4.35	9.37

Fuente: (Argudo, et al., 1999)

Tabla 2. Daños en la red vial en el cantón.

	REGIÓN DE LA CIUDAD CON INTENSIDAD SÍSMICA		
	VI	VII	VIII
Número de puentes en el mapa	6	13	42
Número equivalente de puentes dañados.	0.003	57	3.49

Fuente: (Argudo, et al., 1999)

Según la simulación que realizaron en RADIUS, el sismo del escenario dejaría daños totales de costos equivalente al de 4.54 puentes, desde el impacto social y el funcionamiento de la red vial, produciendo suspensión del tránsito en las vías 7.5% que utilizaban pasos a desnivel. (Argudo, et al., 1999)

Para el proyecto RADIUS se estableció un sismo modelo y se trató de establecer cuáles serán los daños en los puentes de la ciudad. Estos daños se ven representados en las gráficas a continuación y esto lo podemos relacionar al tipo de suelo y al mapa anteriormente mostrado de la intensidad de daños en los puentes o pasos a desnivel de Guayaquil.

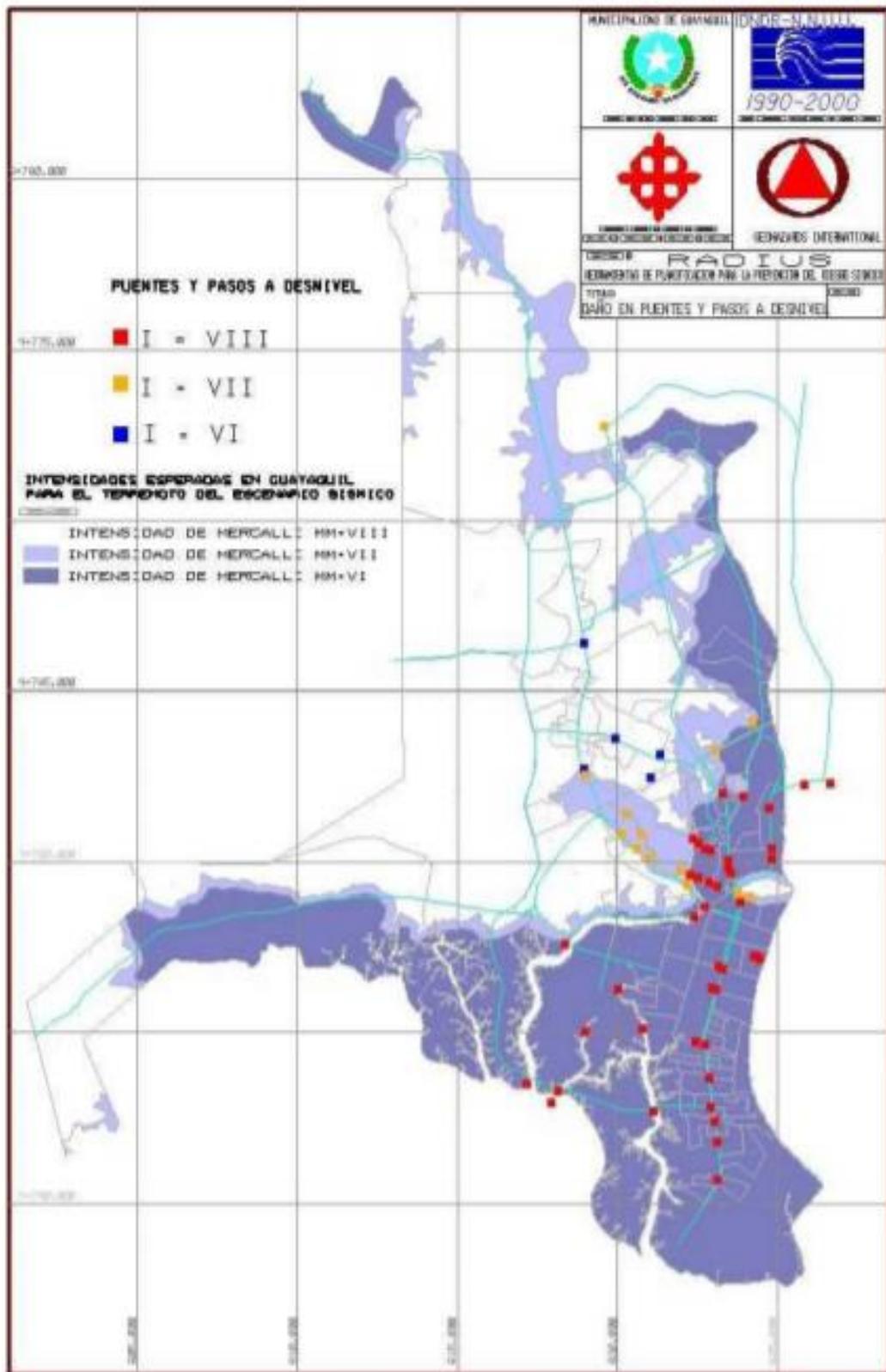


Ilustración 5. Mapa de daños del sismo modelo. Extraído del Proyecto RADIUS.

## **1.4. Puentes de la ciudad de Guayaquil.**

En la ciudad de Guayaquil en el proyecto RADIUS se consideraron 61 puentes los cuales vamos a detallar a continuación, considerando el tipo de suelo que están asentado y la intensidad del sismo modelo del proyecto.

### **1.4.1.Puentes ubicados en la Intensidad de Mercalli VIII**

1. Paso peatonal Av. 25 de Julio a la altura del guasmo.
2. Paso a desnivel Av. 25 de Julio a la altura del Rio centro sur.
3. Puente entre la isla trinitaria y los esteros.
4. Puente entre el barrio 22 de julio y Mandela 2.
5. Puente de la vía perimetral sur a la altura del barrio Isidro Ayora.
6. Puente de la calle Portete.
7. Puente de la G.
8. Puente Pio López Lara “Puente de la A”.
9. Puente de la calle Carlos Guevara Moreno.
10. Paso a desnivel de la Av. 25 de Julio a la altura del Mall del sur.
11. Paso a desnivel de la Av. 25 de Julio a la altura de la ciudadela La Ronda.
12. Paso a desnivel entre la Av. Quito y Venezuela a la altura del estadio Capwell.
13. Paso a desnivel entre la Av. Machala y la calle Venezuela.
14. Paso peatonal Av. Machala.
15. Paso a desnivel calle Chile.
16. Paso a desnivel calle Chimborazo.
17. Puente El Velero.
18. Puente 5 de Junio, sobre el estero Salado.
19. Paso a desnivel entre la calle Esmeraldas y la Av. De las Américas.
20. Paso a desnivel de la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy.
21. Paso a desnivel Sobre la Av. Del periodista a la altura de la Universidad de Guayaquil.
22. Puente sobre el estero Salado, entre a Urdesa.
23. Paso a desnivel Av. De las Américas frente a la Policía y Universidad Laica.

24. Paso a desnivel entre la Av. De las Américas frente al Aeropuerto.
25. Paso a desnivel Av. De las Américas a la altura de la ciudadela Atarazana.
26. Paso a desnivel Av. De las Américas a la altura del archivo histórico del Guayas.
27. Paso peatonal Av. Luis Plaza Dañín a la altura del Hogar San José.
28. Paso a desnivel Av. Luis Plaza Dañín frente al centro comercial “Policentro”.
29. Puente sobre el estero Salado en la Av. Luis Plaza Dañín.
30. Paso a desnivel sobre la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del hospital de Solca.
31. Paso a desnivel entre la Av. José Orrantía y la Av. De las Américas.
32. Paso a desnivel Av. Juan Tanca Marengo y José Orrantía.
33. Puente Rafael Mendoza Avilés (Unidad Nacional).

#### **1.4.2. Puentes ubicados en la Intensidad de Mercalli VII**

1. Paso a desnivel en la Av. Julián Coronel y la Av. Quito.
2. Paso a desnivel en la Av. Julián Coronel y la Av. Machala.
3. Paso a desnivel ciudadela Naval Norte.
4. Paso a desnivel sobre la Av. Carlos Julio Arosemena a la altura de la Av. Las aguas.
5. Paso a desnivel Av. Carlos Julio Arosemena a la altura de la ciudadela Miraflores.
6. Paso a desnivel sobre el estero salado a la altura del centro comercial Albán Borja.
7. Paso a desnivel sobre la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas, frente a diario Expreso.
8. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena.
9. Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez Concha, sobre el estero salado (entrada a Miraflores).

#### **1.4.3. Puentes ubicados en la Intensidad de Mercalli VI**

1. Paso peatonal Av. Juan Tanca Marengo a la altura de la ciudadela Martha de Roldós.

2. Puente sobre la Av. Juan Tanca Marengo con intersección con Av. Las aguas.
3. Puente sobre Av. Las aguas.
4. Paso a desnivel Viaducto de la Prosperina (Perimetral).
5. Paso a desnivel Sobre la Av. Agustín Freire a la altura del centro comercial "Garzocentro"

## **CAPÍTULO II**

### **2. Análisis de la información**

A lo largo de los años se ha venido recolectando información sobre los puentes de la ciudad de Guayaquil, si bien en tiempo pasado no existía la tecnología que tenemos hoy en día, mucha información se encuentra en papeles en las instituciones gubernamentales del cantón. Como base de este análisis vamos a considerar información extraída de:

- Proyecto RADIUS.
- DIARIOS (El universo, Expreso, EL Telégrafo).
- Norma Ecuatoriana de la construcción.
- Documentos científicos.

#### **2.1. Información detallada de los puentes.**

Mucha de la información que se va a utilizar para esta investigación es extraída del proyecto RADIUS. Este proyecto planteó la idea de que 4 pasos desniveles en la ciudad de Guayaquil, tendrían una gran posibilidad de que en un evento telúrico presentaran daños, entre estos estaba el puente de la Av. De las Américas frente a la Universidad Laica, que terminó colapsando en el sismo del 16 de abril del año 2016.

También en ese estudio resaltan los pasos a desnivel de la Av. De las Américas y de la Kennedy, que meses después del terremoto fueron reforzados. Los otros dos pasos vehiculares que fueron identificados como vulnerables por el proyecto Radius son el de la Av. de las Américas, frente al Aeropuerto y los pasos frente al Cementerio Patrimonial de la ciudad (Julián Coronel y avenidas Quito y Machala), el Municipio de Guayaquil ha descartado daños en estos puentes, tras un análisis de evaluadores técnicos locales e internacionales. (El Comercio, 2016)

La investigación que realizó el Ing. Argudo y documentada por el diario El Telégrafo en el año 2017 aseguraban que la zona más susceptible de la zona urbana es el casco comercial, que el 15% de los edificios y el 10% de los puentes de la ciudad colapsarían o serían afectados. El Ing. Argudo

indicó lo siguiente: “pero no podíamos señalar, con nombre y apellido, las edificaciones y puentes que se dañarían”. (El Telégrafo , 2017)

### **2.1.1. Puentes Reforzados.**

- **Puente Rafael Mendoza Avilés (Guayaquil- Samborondón).**

El puente Rafael Mendoza Avilés fue construido en el año 1970, lleva más de 50 años en funcionamiento, con algunos reforzamientos que se le realizaron en el pasar de los años. El proyecto RADIUS mencionaba datos estadísticos del puente Rafael Mendoza Avilés los cuales se detallarán a continuación.

La estructura está construida sobre el río Daule, tiene 870 metros de longitud, consta con dos estribos, 11 pilas, 2 luces de 60 metros cada una y 10 luces de 75 metros cada una.

El puente fue diseñado para un tráfico estimado de 15000 vehículos livianos y pesados, diarios en cada dirección, luego el flujo del tráfico se triplico hasta 50000 vehículos. El incremento del tráfico es el desarrollo urbano que ha tenido en el transcurso de los años Guayaquil y Samborondón.

A continuación, se detallará los problemas que diagnosticaron en el proyecto RADIUS en 1999 sobre este puente:

- El deterioro de las losetas tapajuntas, desde la inauguración del puente se observaron fallas en los apoyos de las losetas, debido a la excesiva velocidad de los vehículos y que sus apoyos resulten insuficientes. La compañía que construyó el puente colocó apoyos metálicos adicionales en los apoyos móviles de las losetas, no resultó una buena solución, la falla se repitió en el apoyo fijo como en el apoyo móvil de las losetas.
- Han realizado otros procesos como solución, no obtuvieron resultados definitivos y debían realizar un mantenimiento frecuente de dichas losetas. En el año 1999 algunas estaban apuntaladas con 9 puntales de mangle de 20 centímetros, lo que muestra lo crítico de su situación.
- El daño en los cilindros de apoyo en los extremos móviles de las losetas, presentaban un alto grado de corrosión debido a la acumulación de agua

dentro de las cajas metálicas en donde se encontraba. Los cilindros debían ser reemplazados por unos nuevos y eso implicaba la paralización del tráfico, eso era muy complicado por el intenso tránsito vehicular diario.

- La presencia de corrosión en algunas varillas de hierro de las pilas y caballetes. El recubrimiento de hormigón tenía fisuras por un proceso avanzado de corrosión.
- El deterioro de tapas y bordillos. Diversas tapas del parterre central y de las aceras peatonales debían ser reemplazadas y los bordillos del parterre central en diferentes tramos se notaban destruidos sin el ángulo metálico de protección.

En el proyecto RADIUS recomendaron realizar los estudios necesarios para constatar el real estado del puente y las patologías presentes en los principales elementos estructurales en el año 1999, siendo los siguientes:

- Una endoscopia de las capas de anclaje de las vigas presentadas para detectar su estado de corrosión.
- La evaluación de la pérdida del presfuerzo de los cables de las vigas del puente, la reducción del presfuerzo significaría la disminución de la capacidad de soportar cargas y controlar deformaciones.
- El estudio de seguridad sísmica, recomendaron que se analice el comportamiento del puente, sometiéndolo a la acción de un sismo como el adoptado por el escenario sísmico de RADIUS, para establecer el tipo de daño estructural y no-estructural que podría ocurrir.

En el estudio que fue realizado por RADIUS, dieron como una de las alternativas para la solución de la saturación del puente, la construcción de un puente alternativo y otra era la ampliación del puente. (Argudo, et al., 1999)

Desde el año 2000 se venían observando daños en el puente Rafael Mendoza Avilés, el ministro de obras públicas de ese año, José Macchiavello, expresó para el diario El Universo: “En el año que se construyó los diseños para esta estructura no contemplaron los coeficientes que ahora se utiliza para un diseño sismorresistente de estructuras de hormigón armado”. Agregando que el puente debería ser reforzado en la

cimentación y el pilotaje, además que hay daños importantes en los rodillos de soporte de las vigas. (El Universo, 2000).

Se empezó a trabajar en el año 2002, en el reforzamiento del puente para un evento sísmico, el gerente de Contratos de Andrade-Gutiérrez, Gonzalo Calderón, manifestó que: “los trabajos consisten en la construcción de anillos de hormigón en las zapatas del puente (elementos que hacen contacto con el agua y sirven de base de los pilares que sostienen al viaducto). Esto hará que las pilas soporten sismos de magnitudes de hasta 8 grados en la escala de Richter. (El Universo, 2007)

En el 2007 cuando se empezó la readecuación del puente Rafael Mendoza Avilés, empezó a ejecutarse la ampliación de las zapatas y el tratamiento de las fisuras de los voladizos del puente. Procedieron a colocar placas de neopreno en la superestructura de viaducto, las zapatas ya estaban diseñadas para soportar los esfuerzos resultantes de los movimientos sísmicos. (La Hora, 2007)



Ilustración 6. Puente Rafael Mendoza Avilés. Extraído del sitio web Obras Públicas.gob.ec, 2011.



Ilustración 7. Puente Rafael Mendoza Avilés. Extraído de Google Earth.

- **Paso a desnivel en la intersección de la Av. De Las Américas con la Av. Kennedy. (Coliseo modelo).**

Los pasos a desnivel de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy fueron construidos en 1985. Los requisitos de diseño sísmico de la norma americana mejoraron de forma significativa hasta 1998.

La carpeta asfáltica se encontraba deteriorada y algunas uniones (juntas) ya sobresalían, existía el peligro que los carros que transitaban este paso vayan a exceso de velocidad se accidentaran. Se aprobó la reparación del paso a desnivel. (El Universo , 2001)

El director de Urbanismo del Municipio Luis Pérez señaló que: “Ese paso elevado tiene más de 30 años y a esa edad se considera que un distribuidor ya ha cumplido su ciclo de vida”. Procedieron a realizar un estudio para determinar si sería necesario hacer un reforzamiento de la estructura o levantar un nuevo viaducto considerando otra circulación de tráfico, mayor a la que se estimó inicialmente para su construcción. (El Universo , 2007)

En el año 2016 tras ocurrir un sismo de gran magnitud el cual fue de 7.8 grados Richter, el paso desnivel de la Av. de Las Américas con la Av. Kennedy sufrió fallas y fisuras en sus pilares. Procedieron a realizar un análisis y luego el apuntalamiento de la estructura, siendo provisional el apuntalamiento, el cual comprendía 38 puntales metálicos distribuidos entre las pilas principales de los dos puentes que conforman el viaducto. (Expreso, 2016)

El gerente de la firma Ingeomat señaló lo siguiente: “Es un apuntalamiento emergente” sobre la puesta de las vigas y de acuerdo al análisis que se realizó en cuatro pilotes que eran los afectados. Utilizaron vigas de aproximadamente 5 metros de altura, reforzando así el viaducto. (El Universo, 2016)

Los ingenieros a cargo de la obra explicaron que: “Cada una de los cuatros pilares de los viaductos es recubierto o encamisado con placas de acero de 3 centímetros de espesor, el espacio entre el hierro y antiguas bases con formas de uve serán rellenas de hormigón”. (El Comercio, 2016)

El Ing. Residente de la obra informó que: “Los dos pilares centrales de cada puente fueron apuntalados con perfiles de acero permitiendo que se abriera un carril para el tránsito de la Metrovía, por debajo de los puentes, el apuntalamiento de las estructuras era provisional, luego se analizó el vaciado del concreto y el robustecimiento de las bases era factible retirar los 70 puntales rojos que garantizaban la estabilidad de la infraestructura”. (El Comercio, 2016)

El director de Obras Públicas de la M.I. Municipalidad de Guayaquil Ing. Jorge Berrezueta dijo que: “Quizás cuando se termine el trabajo de robustecimiento de las pilas lo dejemos ahí, no afecta en nada y sirve para dar más seguridad”. Agregó que uno de los trabajos importantes que se desarrolla en los puentes es el robustecimiento de las pilas que ejecuta la compañía Fractales, es el ensanchamiento del cuerpo de los tres puntales que conforma cada pilar. Jorge Berrezueta señaló lo siguiente: “Es una técnica que se usa mucho para reforzar desde estructura de edificios hasta obras como este paso a desnivel, es algo así como un forro estructural para complementar la capacidad de resistencia de las pilas”. (Expreso, 2016).



Ilustración 8. Los pilares del paso a desnivel de la intersección de la Av. de Las Américas con la Av. Kennedy fueron apuntalados con perfiles de hierro y son encamisados con acero. Extraído del diario El Universo, 2016.



Ilustración 9. Paso a desnivel de la intersección de la de la av. de Las Américas con la Av. Kennedy. Extraído de Google Earth.

#### • **Puente de la Calle Portete.**

El viaducto data del año 1975. Esta estructura se procedió a remodelar en el año del 2013, realizaron estudios para determinar cuáles serían los arreglos que se debían hacer, el paso tenía alrededor de 40 años y tenía exceso de vida útil. Repararon toda la estructura. El ingreso peatonal del puente estaba cuarteado en algunas zonas, la baranda presentaba oxidación, y en algunos tramos las losas estaban separadas por varios centímetros. El asfalto del puente también presentaba daños. (El Universo , 2010)

El puente causó quejas y malestares por los transeúntes y conductores por las grietas en las camineras, vetustez de la losa y fuertes remezones que se producían con el paso de los automotores. Fue reparado estructuralmente aumentando su capacidad de carga, soportaría carros de 60 toneladas, anteriormente solo soportaba 40 toneladas, por el paso atraviesan 40000 carros al día. Al puente le dieron 50 años más de vida útil. La obra civil

comprendió el reforzamiento de 12 pilotes y la instalación de 16 vigas de 15 metros de longitud. También se colocaron camineras a ambos lados del puente. Como parte del trabajo también se incluye la instalación de un tablero de hormigón que estabiliza el puente y postes metálicos de alumbrado. (El Universo , 2013)



Ilustración 10. Puente de la Calle Portete presenta oxidación en algunas de sus áreas la capa de hormigón está separados en varios tramos. Extraído del diario El Universo, 2010.



Ilustración 11. Puente de la Calle Portete. Extraído de Google Earth.

• **Paso a desnivel de la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas, frente a diario Expreso.**

El subsecretario que era en ese entonces en el 2003, Jaime Dávila, explicó que: “En varios tramos de la Carlos Julio Arosemena Tola se completa la carpeta asfáltica, mientras que en otros se efectúa el recapeo (colocación de otra capa)”. El paso a desnivel de la avenida Carlos Julio Arosemena Tola, frente a diario Expreso, se presencié el deterioro, especialmente en las

juntas de las losetas. El sentido más afectado era el de la vía a Daule-Universidad Católica. El hueco en el puente ocupa casi dos carriles. (El Universo, 2003)

Los huecos que se encontraban formados por el deterioro de los cauchos eran en la primera unión de la estructura, luego de la mitad hacia la izquierda de la plancha metálica cubría la fisura, del centro a la derecha algunos cauchos se salieron y otros estaban hundidos. El deterioro de las juntas del paso a desnivel era evidente. (El Universo , 2015)

El desgaste de las juntas o aproches de pasos a desnivel eran evidentes. La plancha metálica se movía al pasar los vehículos y el surco queda descubierto. (El Universo , 2015)



Ilustración 12. Paso a desnivel de la Av. Carlos J. Arosemena con la Av. Las Monjas. Extraído del diario El Universo, 2013.



Ilustración 13. Paso a desnivel de la Av. Carlos J. Arosemena con la Av. Las Monjas. Extraído de Google Earth.

• **Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina. (Perimetral).**

El paso a desnivel de 40 metros de longitud presentaba un ligero resquebrajamiento en la parte inferior de la viga, realizaron nuevos diseños para subir la altura del puente, así remediar el daño causado por los conductores. EL puente tenía 4.80 metros de altura y lo elevarían 1.20 metros, para que los carros pesados no topen la parte inferior de la viga, por donde pasan ellos. El subsecretario del MTOP explicó que: “tenemos listos todos los estudios y también los diseños para subir la altura”. (El Universo , 2011)



Ilustración 14. El resquebrajamiento en la parte inferior de la viga central. Extraído del diario el Expreso, 2011.



Ilustración 15. Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina. Extraído de Google Earth.

• **Puente 5 de Junio, sobre el Estero Salado.**

En el año de 1872 fue inaugurado el puente sobre el Estero Salado, que une a la Av. Nueve de Octubre con la av. Carlos Julio Arosemena, fue construido

de madera y su longitud fue de 104 metros, este puente quedó en escombros en el año 1883 durante las luchas entre Eloy Alfaro y el dictador Ignacio Veintimilla. En el año de 1936 reconstruyeron el puente que era de madera, con un puente de cemento, que era angosto, no tenía dos vías para vehículos, parterre central, aceras a los costados para los peatones y un alumbrado moderno para aquella época. La reconstrucción del puente 5 de Junio fue inaugurado en el año 1958, siendo una construcción moderna para su época, fue construido de hormigón armado, reemplazando al puente angosto y que no tenía dos carriles para vehículos. (El Universo , 2005)

Ampliación y reparación del puente en 1995, el puente fue reparado totalmente en su estructura que estaba deteriorada por mucho tiempo de uso, se amplió la circulación de 2 a 3 carriles en cada sentido reduciendo ancho de aceras y del parterre central. (El Universo , 2000)



Ilustración 16. Puente 5 de Junio. Extraído del diario El Universo 2020



Ilustración 17. Puente 5 de Junio. Extraído de Google Earth.

- **Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta (Av. Central) con la Jorge Pérez Concha, sobre el estero salado. (Miraflores).**

El puente se construyó en el año de 1995, es de hormigón armado, tiene una dimensión de 38 metros de longitud por 15.50 metros de ancho, 12 metros de calzada.

En el 2010 luego del colapso del puente de las Monjas realizaron inspección de los puentes que conectan a Urdesa con la ciudadela Kennedy, la av. Carlos Julio Arosemena y la cda. Miraflores. Este puente que une a la av. Ignacio Cuesta (Av. Central) de Miraflores con la Jorge Pérez Concha de Urdesa, fue al que se lo encontró con mayor desgaste en algunas partes de la estructura se observaban las varillas de hierro las cuales deberían de estar revestidas de hormigón. (El Universo, 2010)



Ilustración 18. Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta (Av. Central) con la Jorge Pérez Concha, sobre el estero salado. Extraído de Google Earth.



Ilustración 19. Ubicación del Paso a desnivel de la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez. Extraído de Google Earth.

#### • Paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio.

En el año 2015 varias personas que habitaban cerca del puente hicieron un reclamo, ya que la estructura del puente presentaba varios daños, se observaban que las varillas estaban expuesta a la intemperie, el desgaste mayormente se concentraba en las bases del puente, las vigas metálicas que componían el armazón de la vía eran visible, el cemento que era su protección se había desprendido en algunos tramos y el puente no tenía un mantenimiento continuo. (El Telégrafo, 2015)

Desde noviembre del año 2016 realizaron la reparación de las vigas del Puente Veinticinco de Julio, ubicado al sur de la ciudad, se reemplazaron 12 vigas que estaban deterioradas. (El Universo , 2016)

Para la reparación del puente, realizaron primeramente el desmontaje de los postes de energía eléctrica, la demolición de las barandas y de la losa de rodadura del puente. Luego procedieron a la colocación de tacos en las bases que eso permitió que la altura se aumente 55 centímetros más y así evitarían el roce de vehículos de carga con la estructura. Procedieron luego con la colocación de las 12 nuevas vigas, finalizaron con la fundición de la losa de rodadura y la colocación de las barandas. (Expreso , 2016)

El jefe de planificación de la ATM del 2016, Freddy Granda señaló lo siguiente: “El puente no presentaba problemas en la base ni en las rampas

de aproximación, solo las vigas habían sufrido daños estructurales en sus torones (cables metálicos que trabajan a compresión), si no se corregían a tiempo se pudieron debilitar más los torones, lo que podría haber ocasionado un colapso en la estructura. (Expreso , 2016)



Ilustración 20. Puente veinticinco de Julio, trabajos ejecutados. Extraído del diario El Universo,2016.



Ilustración 21. Puente Veinticinco de Julio. Extraído de Google Earth.

• **Pasos a desnivel de la Av. Julián Coronel con las Avenidas Quito y Machala.**

Se colocaron pantallas para aislar el ruido que causaban los automotores y vigas de soporte más altas para el amortiguamiento de accidentes de tránsito, las paredes de hormigón armado miden 1.80 metros de alto con base atornilladas, los paneles acústicos para amortiguan el ruido, el puente tiene dos carriles y soportara el paso de vehículos. (El Universo , 2002)



Ilustración 22. Pasos a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala. Extraído de la página web Guayaquil, Estampas y Costumbres de mi Tierra, 2019.



Ilustración 23. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Av. Quito. Extraído de Google Earth.



Ilustración 24. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Av. Machala. Extraído de Google Earth.

- **Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto.**

En el proyecto RADIUS encontramos información acerca de este paso a desnivel, la geometría de la estructura era irregular, su curva producía torsión sobre las pilas y aquellas debían ser reforzadas, en aquel tiempo ya se notaban las fisuras de las secciones superiores de las pilas y las placas de neopreno se encontraban desformadas por dicha torsión que formaba la curvatura de la losa del puente. (Argudo, et al., 1999)



Ilustración 25. Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído del diario El Universo, 2017.



Ilustración 26. Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído de Google Earth.

- **Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena.**

Encontramos en el proyecto RADIUS información de este paso a desnivel, en aquel tiempo se observaron ya el deterioro de las juntas por su mal diseño, se notaba el desnivel y el asentamiento de los rellenos que se encontraban junto a los estribos. Durante algún evento sísmico intenso como el que sucedió el 16 de abril del año 2016 el puente hubiera colapsado, principalmente se hubieran destruido sus juntas y un gran impacto entre vigas y otros elementos estructurales. Como realizaron un reforzamiento y vieron con tiempo los daños que tenía el puente no sucedió nada cuando se presentó ese sismo. (Argudo, et al., 1999)



Ilustración 27. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído del diario El Telégrafo.



Ilustración 28. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth.

### **2.1.2. Puentes Reconstruidos**

#### **• Puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena.**

El puente de la Av. Las monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena se empezaron a construir en el año 1993 y se inauguró en marzo del año 1996, colapsó en diciembre del año 2010. Luego del fatal hecho existieron varios artículos de periódicos relacionados al suceso del cual se va a resaltar lo más importante.

Luego del hecho el director municipal de obras públicas, Jorge Berrezueta, explicó para el diario el Universo que el diseño fue elaborado y entregado por la cámara de construcción en el año 1993 y señaló que los bocetos fueron realizados hace más de 30 años y para esa época contaban con

buena ingeniería, pero no se conocía sobre la existencia de la roca blanda, la cual provocó el descenso de los pilotes del puente sobre el estero salado. Este material rocoso se llena de agua, cuando realizaron las perforaciones mostraba gran estabilidad, por lo que pensaron que habían llegado a una capa profunda del suelo, motivo por el cual se sedimentaron los pilotes 19 metros. Con el pasar de los años se comenzaron a presentar desplazamiento de las pilas porque con el peso de la losa salió el agua impregnada en las rocas. Un informe realizado en noviembre del año 2007 por el CICG indicó que el puente ya presentaba “un notorio asentamiento (hundimiento) en la pila 2 del lado derecho, en sentido sureste (avenida Carlos Julio Arosemena Tola hacia la Víctor E. Estrada). Además, mencionan otro asentamiento en la pila 1 del lado izquierdo en sentido noreste (Urdesa hacia la Av. Carlos Julio Arosemena)” y recomendaron al Municipio realizar emergentemente una evaluación de seguridad estructural. Reconocen que, si se intervino la obra en 1997 debido al notable hundimiento de pila 2, la cual fue reforzada con ocho pilotes nuevos. (El Universo, 2011)

Luego de hacer decenas de perforaciones para examinar más y se encontraron que el terreno era irregular, heterogéneo. Se cambió en ese año el 50% de la losa de la estructura, 5 de los 10 tableros de losa (140 metros cuadrados cada uno), se realizó la demolición de la losa del puente para luego retirar la viga. Luego sacaron las vigas, y se les dio mantenimiento de rigor porque había descascamiento y ataque de la corrosión de los esteros. Todo esto se detalló en un artículo del diario El Universo del año 2011. (El Universo , 2011)

En otro artículo ya en el año 2012 explicaron como estaría conformada la nueva estructura que se va a utilizar en este paso elevado y señaló lo siguiente: “Esta nueva estructura tiene varias modificaciones. Antes los pilotes se encontraban colocados a un promedio de 22 metros de profundidad y ahora llegan a 39 metros. Es como tener un edificio de 13 pisos enterrado, una profundidad bastante grande. Su vida útil será de 20 a 40 años”, aseguró un funcionario en el año 2012, quien aseveró que han hecho pruebas de carga para evaluar si soporta los 25000 vehículos que

pasan por allí diariamente. “Por recomendaciones técnicas se resolvió colocar juntas de neopreno que duran más que las de metal tradicionales. Estas amortiguan más el paso de los vehículos y tienden a vibrar menos. En total, el puente de Las Monjas tiene 7 juntas: 4 en el carril que va hacia la Av. Carlos Julio Arosemena y 3 en el que va hacia Urdesa. (El Telégrafo , 2012)



Ilustración 29. Puente Colapsado. Extraído del diario El Universo, 2010.



Ilustración 30. Puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth.

#### • Paso Peatonal del estadio Barcelona.

El Puente fue inaugurado el 23 de junio del año 1993, medía 300 metros aproximadamente y colapsó en el año 2005.

La primera noticia que fue cubierta sobre este hecho fue la nota periodística del diario El Universo la mañana siguiente del hecho, la cual detallaba lo siguiente: “Nadie se responsabiliza por el colapso de un tramo del puente peatonal sobre el estero Salado que se produjo ayer a las 05h30 aproximadamente, cuando un grupo de aspirantes a infantes de marina pasaban por el sitio”. El percance se produjo debido a que las estructuras metálicas que conforman la obra están oxidadas y deterioradas, según

explicó Jaime Cucalón, jefe del Cuerpo de Bomberos de Guayaquil. Según el Municipio, el derrumbe se originó luego de que “un excesivo número de personas se precipitó de manera inconveniente trotando sobre dicho paso”. El cabildo explicó que eso causó un “efecto dinámico que originó la resonancia por el golpe cíclico y por ende la caída del tramo”. El puente une el sector de parqueadero del estadio monumental Isidro Romero, junto a la avenida Barcelona, con la calle 32, en el suburbio oeste de la ciudad.” Algunos habitantes del sector dijeron que desde que se inauguró la construcción, más de diez años, esta nunca recibió mantenimiento, situación que es evidente por la corrosión que presentan las vigas de acero y el deterioro de las bases de concreto. (El Universo, 2005)

En este puente se observaban que dos hechos fundamentales fueron los causantes de esta tragedia. La falta de mantenimiento y el efecto de los pasos de los militares por el puente, uno claramente más curioso que el otro. El mantenimiento en el puente debe ser una constante por su alta exposición a la intemperie y el constante paso de personas, en este caso. Pero sin duda el efecto de resonancia del puente es lo que provoca que el puente colapse, desafortunadamente el trote de las personas del ejercito coincidió con las ondas de resonancia del puente y esto más el deterioro causó su caída.



Ilustración 31. Puente colapsado peatonal del estero salado a la altura del estadio de Barcelona s.c. Extraído del diario El Universo, 2005.



Ilustración 32. Paso Peatonal del Estadio Barcelona. Extraído de Google Earth.

• **Paso a desnivel de la Av. De las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica.**

El paso elevado fue inaugurado en el año 1982, frente a la Universidad Laica, que une en sentido norte-sur a la avenida de las Américas con Luis Cordero Crespo, desde la calle Benito Orellana hasta el sufragio Libre, el sector que conecta el Cementerio General. Siendo un atajo para llegar desde el norte hacia el centro de la Ciudad y desahoga el flujo del tránsito de la avenida de las Américas.

Expertos consultores dijeron que las pilas centrales colapsaron por un mecanismo de falla. Cuando ocurrió el sismo, las pilas centrales con menor tamaño se movieron, cedieron hacia atrás y dejaron en el aire la estructura central del viaducto. Lo que provocó que todo el peso de la mole recaiga sobre las pilas centrales, las cuales no aguantaron y terminaron aplastadas. (El Telégrafo , 2017)

El paso a desnivel de la Av. De las Américas tenía un sistema estructural de hormigón armado de 5 vanos y compuesta por 4 pilares en forma de V con dos estribos. El tramo central tenía 42 metros de largo y los tramos restantes de 25 metros de largo. La estructura estaba compuesta por 8 vigas pretensadas, las cuales fueron diseñadas como apoyos simples los cuales estaban colocados sobre cojinetes elastómeros sobre las vigas. La plataforma de losa estaba fundida con in situ de 0.2 metros de espesor, 9.2 metros de ancho y formando sección compuesta con vigas. Las columnas tenían sección rectangular con dimensión transversal variable, medida como

0.55 metros x 0.7 metros, en la sección crítica en las conexiones de la viga de techo. Las vigas de techo eran secciones de vigas en T, en los pilares norte y sur, en las secciones de doble L de los pilares centrales, las vigas pretensadas se encontraban en diversas elevaciones debido a las diferentes longitudes y alturas de las vigas. Siendo la viga del techo la que tenía una sección mucho mayor a la sección de las columnas adyacentes en los pilares, esto produce una conexión débil entre la viga y la columna. (J. Argudo, 2020)

La distribución de la carga fue como en un sistema continuo de cubierta de vigas, donde sus juntas no eran funcionales y los vanos de la cubierta de las vigas no funcionar independientemente al momento de que ocurra un terremoto. Cuando la plataforma colapso se relacionó su movimiento como un comportamiento continuo y sus juntas de expansión sísmicas se encontraban cerradas por el pavimento y escombros. El mecanismo de fricción cortante formado por el comportamiento de la viga continua en las juntas sísmicas cerradas afectó el comportamiento sísmico de la estructura. (J. Argudo, 2020)

El Ing. Jaime Argudo informó, una recopilación de datos y las observaciones el 17 de abril del año 2016 que el realizó. Las propiedades del material de la sección de la columna fueron reportadas por el Ing. Pedro Rojas durante las observaciones del área, informó que las pilas P1 y P4 fallaron por cortante en la sección crítica de las columnas debido a la carga sísmica en la dirección transversal y los pilares P2 fallaron en el cojinete. El mecanismo de falla era frágil.

La evaluación visual reportada por el Ing. Jaime Argudo concluyó que el movimiento de la plataforma al colapsar se correlacionó con un comportamiento continuo de la plataforma en contraposición al comportamiento simple de la viga y la plataforma que se encontraba apoyada. (J. Argudo, 2020)

La evaluación visual preliminar también concluyó que el mecanismo de falla probablemente se desencadenó por una falla combinada de carga cortante de los pilares, por la distribución de la carga cortante horizontal y gravedad

en un sistema continuo de viga-plataforma, donde sus juntas sísmicas no eran funcionales y las cinco vigas, vanos de la cubierta no funcionaron de manera independiente durante el sismo. El sistema continuo de la plataforma y los pilares, vibraron en fase resonante con el movimiento del terremoto.” (J. Argudo, 2020)



Ilustración 33. Paso a desnivel de la av. de las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica, día después del terremoto. Extraído del diario El Universo, 2016.



Ilustración 34. Paso a desnivel de la av. de las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica. Extraído de Google Earth.

#### • **Puente de la G.**

Hacia finales de la década de 1980 se construyó el puente de la G durante la Alcaldía de Jorge Perrone, este une las calles 28 y 29, en el suburbio de Guayaquil. El deterioro del viaducto se agravó con el terremoto del 16 abril del año 2016, el mal estado de la calzada se convirtió en una trampa y se observó una hendidura muy pronunciada en la conexión con la calle.

En una nota periodística del diario El telégrafo se resaltó lo siguiente: “El domingo pasado se cayó parte del muro de ala que protege el espacio

destinado a los peatones”. En la estructura era notorio el desgaste en los puntos donde existían fisuras y huecos en los que se percibía el armazón de acero. El presidente de la Federación de Cámaras de la Construcción, Enrique Pita, explicó lo siguiente: “El muro de ala ayudaba a sostener el terraplén de acceso al puente de la G, pero no compromete la normal circulación de los vehículos”. El estero tiene alto nivel de salinidad, por este factor el hormigón se deteriora en forma más acelerada que en otros sitios y pierde su resistencia. Según Enrique Pita: “La vibración ocasionada por la circulación de los automotores hace que la estructura termine gradualmente fallando”. Existen dos opciones en estas situaciones: Reforzar la vía o reemplazar la construcción con mejores estándares de calidad. Agregó Pita que la calidad del hormigón usado para el puente de la G no tuvo que ver en la caída del muro. EL Ing. Jaime Argudo explicó que: “Las estructuras deben tener una protección acorde a los niveles ambientales de corrosión”. Agregó el Ing. Argudo que: “Un puente puede tener una vida útil de hasta 50 años, pero este valor nominal es variable.” (El Telégrafo, 2017)

La Dirección de Obras Públicas luego de eso procedió a derrumbar el ala de protección y cerró el paso a peatones. El vocero de la Alcaldía, Jorge Rodríguez, indicó que: “Se han hecho estudios y se va a reemplazar toda la estructura dañada”. Jorge Rodríguez, agregó que: “El paso vial no ha cumplido su período de vida útil, pero para evitar riesgos serán reforzadas las bases”. El presidente de la Federación de Cámaras de la Construcción, Enrique Pita, explicó que: “Los sectores cercanos al estero tienen alto nivel de salinidad y por este factor el hormigón del puente de la G se deterioró en forma más acelerada que en otros sitios”. Según el Instituto Americano del Concreto, entidad internacional que desarrolla estándares, normas, recomendaciones técnicas y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), las obras expuestas a condiciones como el puente de la G deben tener un recubrimiento de hormigón de 5 o 7.5 centímetros. (El Telégrafo, 2017)



Ilustración 35. Deterioro del Puente de la G. Extraído del diario EL Telégrafo, 2017.



Ilustración 36. Puente de la G. Extraído de Google Earth.

#### • Puente de la calle A (Pío López Lara).

El puente tenía aproximadamente 27 años construido. Se desmontó (demolió) y se construyó uno nuevo. El cabildo en el 2009 reconoció que había fallas estructurales en el viaducto que estaban deterioradas y con riesgo de colapsar. El director de Obras públicas del año 2011, Jorge Berrezueta, indicó que: “El estribo del puente fallaba, hicieron un estudio para determinada que se podía mantener el tráfico, pero se resolvió que lo más conveniente era hacer uno nuevo”. (El Universo , 2011)

Un informe de CICG recomendó cerrar de manera inmediata la circulación a la transportación pesada, en el informe que realizaron al paso vehicular se presentaron indicios de corrosión de acero, deterioro en el hormigón, el diseño geométrico horizontal y vertical no mostraba los factores de seguridad vial, tomando en cuenta la carga vehicular diaria. Evidenciaron pilas que mostraban un asentamiento diferencial, también un acelerado

proceso de oxidación y deformación del hormigón. Las estructuras del puente resultaron afectadas por los desechos que luego de auto degradarse provocan ácidos que se mezclan con los cloruros y sulfatos del ambiente. (Expreso , 2011)



Ilustración 37. Puente de la Calle A. Extraído del diario El Universo, 2010.



Ilustración 38. Puente de la Calle A. Extraído de Google Earth.

• **Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca.**

La construcción de la obra se inició el 3 de septiembre de 1995. Luego realizaron la reconstrucción del puente ya que el tráfico colapsaba y necesitaban aumentar los carriles del puente, El desmontaje solo se perdió el 10% de la construcción del puente, mientras que el 90% se utilizó en el nuevo viaducto N.1 del proyecto de los Túneles de los cerros Santa Ana y El Carmen.

En el año del 2011, la Dirección de Obras Públicas de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, realizó el mantenimiento de las juntas del paso elevado,

cerraron parcialmente cada carril a medida que avanzaban con el trabajo. (El Telégrafo, 2012)

Realizaron el mantenimiento en el hueco que se encontraba en el puente, media 1 metro de ancho por 1 metro de largo, la parte inferior del puente fue la más afectada, esta llegó a ser 5 metros de largo por 1 metro de ancho, procedieron a colocar una malla de hierro y hormigón para que tenga resistencia. (El Universo, 2011)

El puente Pedro Menéndez Gilbert (frente a Solca), se observaron deterioro y se obligó a realizar intervenciones dos veces al año en las uniones de las calzadas se presentan los problemas del puente. (El Universo , 2019)

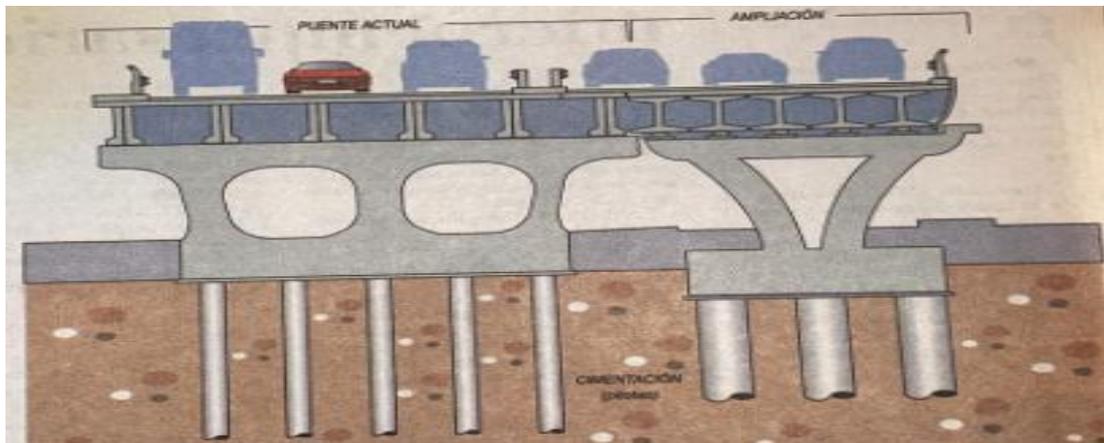


Ilustración 39. Diagrama de puentes de la ciudad. Fuente: Municipio de Guayaquil. Gustavo Vinuesa. Extraído del diario El Universo, 2001.

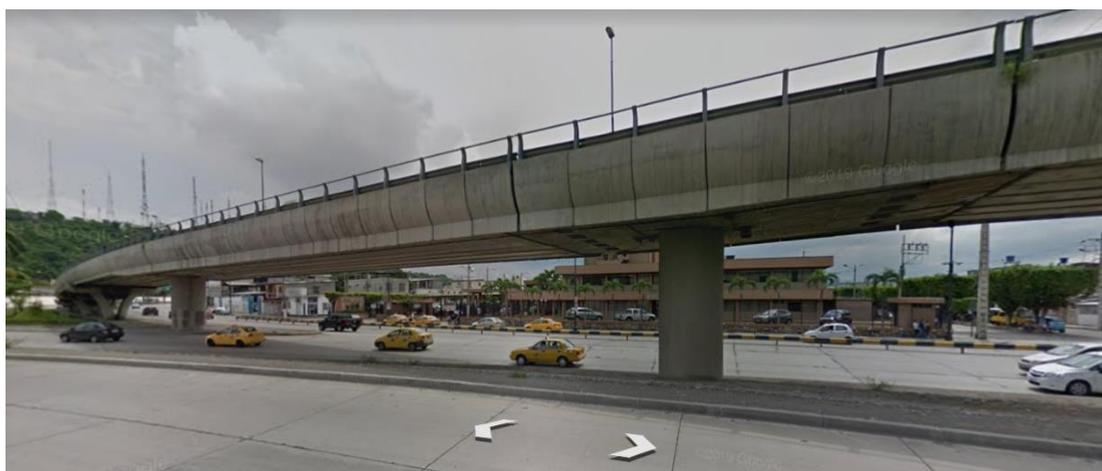


Ilustración 40. Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca. Extraído de Google Earth.

## CAPÍTULO III

### 3. Consideraciones Geológicas de Guayaquil

Para que el desempeño sismo resistente de una estructura sea correcto se necesita del código de la construcción de nuestro país, el cual está basado en estudios realizados en las diferentes características que tiene la estructura, se consideran diferentes parámetros para establecer el comportamiento de la estructura frente a un evento sísmico, siendo estos resultados una guía al momento de diseñar.

Existe en nuestro país un código para el diseño de estructuras sismorresistentes, la cual es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), siendo su última publicación la del año 2015.

La Secretaria de Gestión de Riesgo, con la empresa GEOESTUDIOS realizaron una publicación, el Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil. En aquel documento se encuentran diferentes recomendaciones para el diseño de estructuras sismo-resistentes, según el tipo de suelo que se encuentra en la ciudad de Guayaquil.

Se realizará la descripción de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) y del Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil.

### **3.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015)**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), es el documento más reciente en el cual se muestra los requerimientos y metodologías aplicadas para el diseño de estructuras sismo resistentes, en el cual se encuentra su capítulo que se relaciona al peligro sísmico. Esta norma ofrece diferentes herramientas de cálculo, basándose en la ingeniería sísmica, para que durante el diseño de una estructura se puedan tomar correctas decisiones. (NEC, 2015)

Se procede a detallar algunos parámetros importantes a considerar para el diseño sismo resistente por la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

### 3.1.1.Zonas Sísmicas

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) clasifica en seis zonas sísmicas del Ecuador la cuales están representadas en números romanos y cada una con su factor de zona Z correspondiente.

El parámetro Z es la aceleración máxima en roca esperada para un sismo de diseño de respuesta. El cual esta expresado como un coeficiente numérico que se multiplica por la aceleración gravitacional (g).

Tabla 3. Factor Z, Guayaquil.

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
LA PUNTILLA	SAMBORONDON	SAMBORONDON	GUAYAS	0.40
LAUREL	JUNQUILLAL	SALITRE	GUAYAS	0.40
LAUREL	LAUREL	DAULE	GUAYAS	0.40
PUEBLO NUEVO	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	SIMON BOLIVAR	GUAYAS	0.50
KILOMETRO VEINTE Y SEIS	VIRGEN DE FATIMA	SAN JACINTO DE YAGUACHI	GUAYAS	0.35
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40

Fuente: (NEC, 2015)

Dentro de la NEC-15, se encuentra un mapa del Ecuador donde observamos las aceleraciones con respecto a la gravedad. El color rojo representado en el mapa corresponde a la zona mas afectada por los sismos.

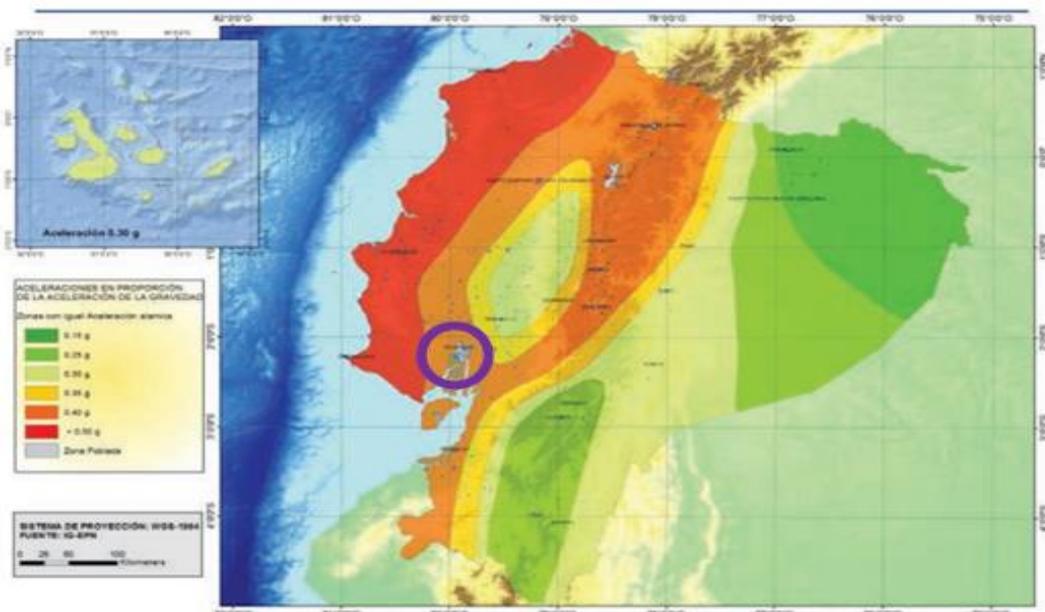


Ilustración 41. Mapa de zonificación sísmica y factor de zona Z. Extraído de la NEC-15.

La ciudad de Guayaquil presenta un peligro sísmico alto con una aceleración en roca máxima de 0.40, tomando en consideración los valores que arroja el estudio de la NEC-15.

En la siguiente tabla se observan los diversos valores de Z según la zona sísmica.

Tabla 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (NEC, 2015)

### 3.1.2. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) divide en seis tipos de perfiles de suelos, los cuales son clasificados como tipo A, B, C, D, E y F; cada uno cuenta con propiedades diferentes, se detallarán a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 5. Perfiles de suelo (A, B, C).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s

Fuente: (NEC, 2015)

Tabla 6. Perfiles de suelo (D, E, F).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: (NEC, 2015)

### 3.2. Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil.

Este manual fue elaborado por la empresa GEOESTUDIOS S.A., dirigido por el Gerente General, Dr. Xavier Vera, en conjunto con la Secretaría de Gestión de Riesgos, ofreciendo diferentes criterios sismo-resistentes como se muestra en la Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2011. Como parte de esta investigación elaboraron un mapa de zonificación geológica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil. (Vera,X., 2011)

### 3.2.1. Zonificación geotécnica de Guayaquil

El mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Guayaquil, que dispone el manual, es la actualización de las zonas noreste y sur del mapa de zonificación geotécnica que elaboro el Dr. Xavier Vera Grunauer Gerente General de la empresa GEOESTUDIOS S.A. en un trabajo de investigación.

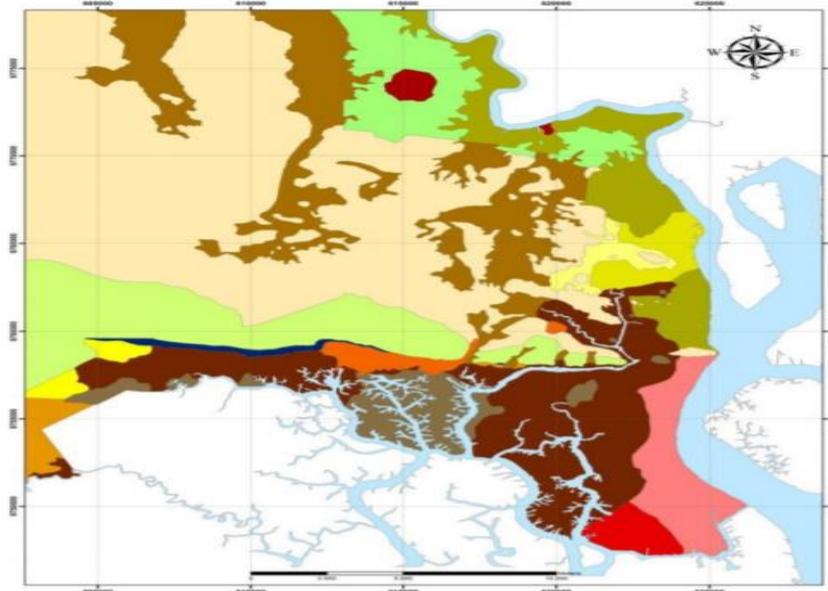


Ilustración 42. Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011.

Leyenda		D7 Formación Rocosa	
Zona	Descripción		
D1	Depósitos Deltaico - Estuarino (Este - Centro)	G. Ancón	
D2	Depósitos Deltaico - Estuarino (Sur)	Fm. San Eduardo	
D3A	Depósitos Deltaico - Estuarino (Oeste - Norte - Trinitaria)	Fm. Guayaquil	G. Azúcar
D3B		Fm. Cayo	
D4A	H < 10 m	Rocas Graníticas Indiferenciadas	
D4B	10 m < H < 20 m	Fm. Piñón	
D4C	H > 20 m	Mar	
D5	Depósitos Aluvio - Lacustres		
D6	Depósitos Coluviales		

Ilustración 43. Zonas Geotécnicas. Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011.

Como se observa en la ilustración de zonas geotécnica, en la ciudad de Guayaquil se establecen 7 zonas distintas, expresadas como D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7. Algunas de estas zonas contienen una sub clasificación.

### 3.2.2. Clasificación de las Zonas Geotécnicas

Se procederá a realizar una breve descripción de las zonas mencionadas.

### **3.2.2.1. Zonas Geotécnicas D1, D2 y D3**

Estas tres zonas D1, D2 y D3, son las que conforman la zona de los depósitos deltaicos estuarinos de la ciudad de Guayaquil, donde la zona D1 pertenece a la zona sureste y central, es un área donde hay una baja salinidad del río Guayas, la zona D2 corresponde a la zona sur de la ciudad, y la zona D3 pertenece a la zona sureste y noreste, en la cual es alta la salinidad.

La zona geotécnica D3 se subclasifica en D3a y D3b, donde se encuentran depósitos estuarinos con periodos menores o superiores a 1.6 segundos proporcionalmente.

### **3.2.2.2. Zona Geotécnica D4**

La zona D4 corresponde a las arcillas aluviales localizadas en el sector norte de la ciudad. Esta zona geotécnica se la subclasifica según la profundidad del suelo que va variando, cuando la profundidad del suelo es menor a 10 metros encontramos una zona D4a, cuando se encuentra entre los 10 a 20 metros se lo designa como zona D4b y cuando se encuentra en una profundidad mayor se lo denomina como zona D4c.

### **3.2.2.3. Zona Geotécnica D5**

En la zona geotécnica D5 encontramos un suelo arcilloso en el que varía su color desde el gris verdoso hasta el negro.

### **3.2.2.4. Zona Geotécnica D6**

La zona geotécnica D6 contiene el tipo de suelo de arcillas rojas, las cuales en sus condiciones de humedad tienen a un comportamiento plástico y por la ausencia de agua se convierte en duras.

### **3.2.2.5. Zona Geotécnica D7**

La zona geotécnica D7 está conformada por rocas existentes en la ciudad de Guayaquil.

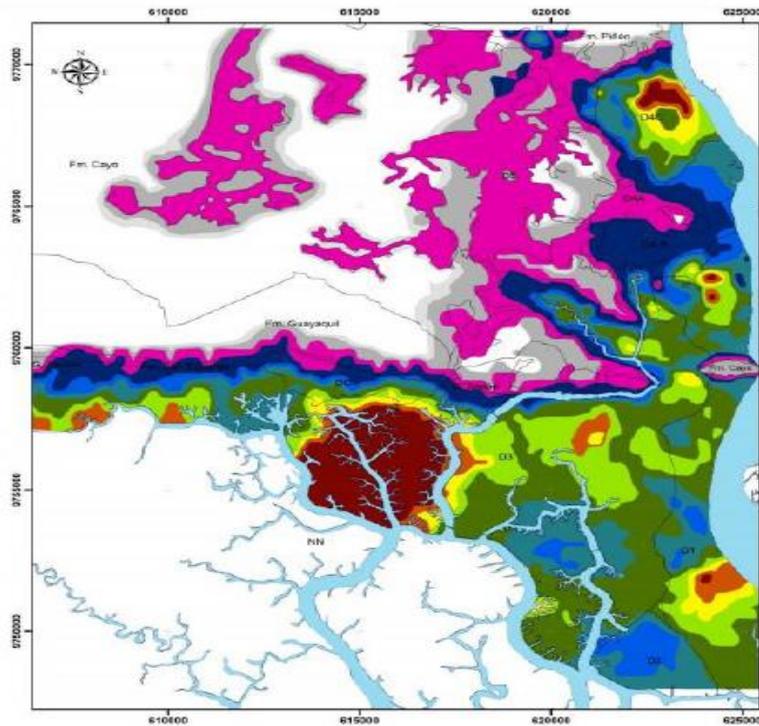


Ilustración 44. Mapa de la variación del período elástico del suelo (Guayaquil). Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011.

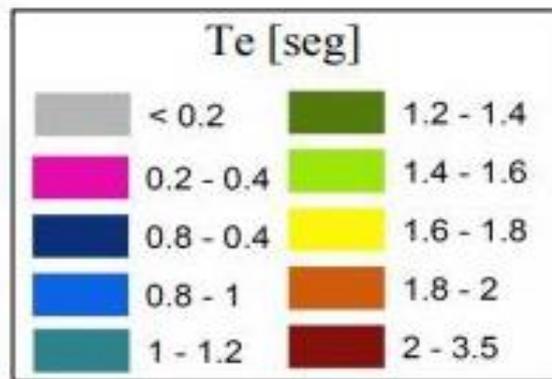


Ilustración 45. Valores del período elástico Te. Extraído de GEOESTUDIOS S.A. 2011.

## CAPÍTULO IV

### 4. Evaluación de la información de los puentes.

#### 4.1. Efecto del terremoto del 16 de abril del año 2016 sobre las estructuras de los puentes de RADIUS.

- El paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, cuando ocurrió el sismo del 16 de abril del año 2016 que fue de magnitud de 7.8 Mw, las pilas centrales con menor tamaño se movieron, cedieron hacia atrás y dejaron en el aire la estructura central del viaducto y colapsó. Inmediatamente después del terremoto, comenzaron los trabajos de desalojo y reconstrucción del puente, los informes preliminares después de la caída del puente concluyeron que hubo una falla muy frágil que no era la deseada al momento del diseño, el sistema de falla no estimaba que las vigas secundarias no cumplieran su trabajo y que dejaran que las vigas más grandes, las primarias soportaran todo el peso de la estructura. La resonancia que ocurrió entre el sismo y el puente, hicieron que el mecanismo falle al comportarse como uno solo. En el estudio del proyecto RADIUS sobre los puentes de la ciudad, en esta estructura observaron que el diseño de las trabas sísmicas cuya función es evitar que las vigas sobre las pilas sufran algún corrimiento lateral durante un evento sísmico, aunque ya estaba descrito en RADIUS las fallas que tenía el puente y que podría suceder, no se corrigieron a tiempo, por falta de los mantenimientos adecuados el puente sufrió el colapso.



Ilustración 46. Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica, consecuencias del terremoto del 16 abril del 2016. Extraído del diario El Universo.

- El paso a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, era un paso a desnivel que ya se venía estudiando la manera de que se pueda reparar o demoler, para construir un nuevo paso porque el tiempo de su vida útil ya había alcanzado su tope, esto se agravó luego del sismo de magnitud 7.8 Mw, el 16 abril del año 2016 y quedaron afectados cuatro pilotes de su estructura y se procedió a realizar un encamisado emergente, para reforzar. Este encamisado sirvió de soporte, mientras se reparaba la estructura y se consideró una opción el hecho de dejar el encamisado indefinidamente, este encamisado permitía que la estructura tenga una mejor resistencia, después de la reparación total de las pilas se procedió a retirar el encamisado. En el año que se realizó el proyecto RADIUS 1998-1999, ya se notaban diferentes daños en la estructura del puente, las vigas se notaban deformadas excesivamente, el deterioro de sus juntas, su diseño no estaba adoptado para esa cantidad de tráfico, ya se notaban los desniveles, si no se hubieran hecho estas observaciones en RADIUS , el puente en un fuerte evento sísmico como el del año 2016 hubiera colapsado, pero se realizaron sus mantenimientos, refuerzos a tiempo y el puente con ese sismo de gran magnitud no colapsó, solo tuvo pequeños daños.



Ilustración 47. Encamisado de las pilas del a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy. Extraído del diario Expreso.

- El puente de la calle G, está ubicado en el sur de Guayaquil y cruza el estero Salado, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, este puente debido a la salinidad del terreno el hormigón se corroe mucho más rápido que otros lugares del sector y provoca que se debilite más rápido, para el diseño de sismo de RADIUS y según el estudio realizado de este documento, luego del sismo del año 2016 de magnitud 7.8 Mw, el puente quedo un poco debilitado en la parte estructural, ya en el 2017 la parte de unos barandales se desmembró de la estructura y procedieron a la reconstrucción, de igual manera se debilitaron los muros laterales que llego a mostrar un mal aspecto, pero según las autoridades eso no afectaba al funcionamiento estructural del puente. Con todos los aspectos para el año 2017 decidieron demolerlo y construirlo nuevamente para el bien de la ciudadanía, con un mejor diseño que abarque las nuevas normas de la construcción y un mejor aspecto. En el proyecto RADIUS, en su estudio de los puentes de la ciudad, esta estructura no se encontraron daños, pero si estaba ubicado en un suelo suave, en la zona de intensidad que se encontraba, en cualquier momento que sucediera un sismo como el que adopto RADIUS, este puente por estar sobre ese suelo colapsaría o presentaría algunos daños en sus estructuras, lo que se sucedió luego del sismo del 16 abril del año 2016, siendo semejante al que adopto RADIUS, el puente también cumplió sus años de vida útil y no se hicieron los mantenimientos correctos.



Ilustración 48. Parte del muro lateral que colapsó del puente de la calle G. Extraído del diario el Telégrafo.

## 4.2. Comportamiento de los puentes luego del proyecto RADIUS.

- El puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena, se encuentra en la zona de intensidad VII, con un tipo de suelo II de transición, el diseño de este puente no fue realizado con las normas sísmicas correspondientes, ya que no se encontraban establecidas aun en esa época, no realizaron un buen estudio de suelo, no perforaron profundamente y no observaron la existencia de la roca blanda, que luego al pasar los años esto sería un gran factor que provocara el descenso de los pilotes. En el año de 1997 se realizó la primera intervención en el puente, se realizó la reparación de una de las pilas, por fallas en la cimentación de sus pilotes, esa pila fue reforzada con ocho pilotes nuevos, luego en el 2007 ya se presentaban hundimientos en una de las pilas que se encontraba en el lado derecho y en otra pila, en el 2010 que estaban realizando mantenimiento en el puente la parte central de la estructura se hundió, también existían corrosión por lo que se encontraba sobre el estero salado, por la gran salinidad existente. Realizaron la demolición correspondiente en las vigas, hicieron un estudio de suelo profundo donde observaron las fallas, los pilotes fueron colocados más profundos y la vida útil será más de 40 años desde su reconstrucción. Cuando sucedió el sismo del 16 de abril del año 2016, el cual era semejante al adoptado en RADIUS, la estructura no presento daños.



Ilustración 49. Colapso del puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído del diario El Universo.

- El paso a desnivel en la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala, se encuentra en la zona de intensidad VII, con un suelo tipo II de transición, este paso a desnivel fue uno de los primeros construido en la ciudad de Guayaquil en el año de 1974, en ese tiempo no existía una normativa sísmica estándar y para su diseño se basaron en varias filosofías de otros países. El proyecto RADIUS, recomendó que esta estructura que ya tenía mucho tiempo se debía realizar una evaluación, para ver si cumplía para resistir un evento sísmico, como el adoptado en RADIUS. No se pudo obtener información sobre este puente si realizaron la evaluación, tuvo el mantenimiento correcto, algún refuerzo realizado, pero sabemos que, en el sismo del 16 de abril del año 2016, que tuvo una magnitud de 7.8 Mw, este puente no fue afectado.



Ilustración 50. Paso a desnivel de la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala. Extraído de Google Earth

- El paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, en la evaluación que realizaron en el proyecto RADIUS en los puentes de la ciudad, esta estructura presentaba una torsión por irregularidad geométrica, ya que su curva producía una gran torsión sobre una de sus pilas, la cual en ese tiempo debía ser reforzada por las fisuras que presentaba, la torsión de la curvatura de la losa del puente hacia que las placas de neopreno estén deformadas, también describían en el proyecto de RADIUS que este puente no cumplía con la redundancia estructural en el diseño de las pilas de apoyo de las vigas, ya que no

presentaba seguridad la estructura, por lo que solo usaban una columna para resistir las fuerzas verticales y algún evento sísmico, dependían de un solo elemento, era recomendable usar dos o más columnas. En este se producen varios accidentes por la geometría que tiene su curva ya que es muy pronunciada. Este puente se encuentra en un tipo de suelo y una intensidad, no tan favorable, esta estructura pudo colapsar en el evento sísmico de magnitud de 7.8 Mw en el año 2016, pero no presentó ningún daño. No se pudo encontrar información actualizada de este puente, para saber si le realizaron el mantenimiento adecuado o algún reforzamiento, antes del sismo de gran magnitud.



Ilustración 51. Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto. Extraído de Google Earth

- El paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena, se encuentra en la zona de intensidad VII, con un suelo tipo II de transición, en la evaluación que realizó el proyecto RADIUS en los puentes, encontraron en esta estructura las juntas ya deterioradas, presentando desniveles y huecos, por su mal diseño que no consideraron un gran tráfico que pasaría por el puente. Si hubiera pasado durante ese tiempo un sismo de gran magnitud sus juntas hubieran sido destruidas y un gran impacto entre vigas y elementos de la estructura. RADIUS realizó varias recomendaciones para prevenir algunos daños en este puente, que debían realizar mantenimientos y reforzamientos para que en un futuro este puente no presentara algún daño en un evento sísmico de gran magnitud como el adoptado en el proyecto RADIUS. No encontramos información

que nos ayude a saber si este puente le realizó todos sus mantenimientos correctos, al momento que sucedió el sismo de gran magnitud que fue de 7.8 Mw, en el año 2016, luego de este sismo realizaron una evaluación a ciertos puentes, esta estructura fue una de ellas y no presento algún daño.



Ilustración 52. Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena. Extraído de Google Earth.

- El puente 5 de Junio, sobre el estero Salado, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, esta estructura forma parte del estudio que realizaron el Proyecto RADIUS en 1998- 1999, sobre la vulnerabilidad de los puentes de la ciudad de Guayaquil, no describieron las recomendaciones para esta estructura, pero dieron a conocer en qué tipo de suelo y en qué zona de intensidad se encontraba, en el sismo que ellos adoptaron este puente sufriría daños. Cuando sucedió el sismo de gran magnitud de 7.8 Mw en el año 2016, este puente no presento daños. En el año de 1872 construyeron este puente, pero fue de madera que al pasar el tiempo colapso, luego lo reconstruyeron de cemento, era muy angosto y no tenía dos carriles, en 1958 volvieron a reconstruirlo, pero de una forma más moderna, ya de hormigón armado. En el año 1995 este puente se realizaron una ampliación para que tenga más carriles y repararon daños que se venían presentando. Los mantenimientos que se realizaron fueron los que ayudaron para que este puente no sufra las consecuencias luego, ya que su diseño sísmico no era el correcto ya que no teníamos no existía una norma sísmica en nuestro país y se cogía como ejemplo las de otros países.



Ilustración 53. Puente 5 de Junio, sobre el estero Salado. Extraído de Google Earth.

- El puente Rafael Mendoza Avilés, hoy denominado puente de la Unidad Nacional, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, en la evaluación que realizó el proyecto RADIUS de los puentes de la ciudad de Guayaquil este fue uno de ellos, detallaron los problemas que presentaba esta estructura, las fallas en los apoyos de las losetas, al diseñarlo no estimaron el gran flujo de tráfico que pasaría por este puente, luego de su inauguración colocaron apoyos metálicos en los apoyos móviles de las losetas, pero no fue una gran solución al problema que se presentaba, porque la falla se repitió. Realizaron varios mantenimientos en la loseta, luego observaron que algunas losetas se encontraban apuntaladas con 9 puntales, observaron que el problema era muy crítico y no encontraban solución. Luego presento más daños, la corrosión en algunas varillas de las pilas y caballetes, se observaba que el recubrimiento de hormigón presentaba fisuras por la avanzada corrosión. Los parterres también presentaban daños. El proyecto RADIUS recomendó una gran lista de estudios que debían realizar en este puente para ver en qué estado se encontraba en ese tiempo la estructura. Este puente no fue diseñado con los coeficientes sísmicos adecuados, no estaba apto para un sismo de gran magnitud como el adoptado en el proyecto RADIUS. En el año 2002 a este puente se le realizó un reforzamiento, el cual consistía en la construcción de anillos de hormigón en las zapatas del puente, el cual ayudaría al puente a soportar un sismo de magnitud de 8 Mw. En el 2007

se le realizó la ampliación de las zapatas y un mantenimiento en las fisuras que presentaba. En el año 2016, cuando se presentó un sismo de gran magnitud de 7.8 Mw, este puente no presentó daño, ya que se le realizó los reforzamientos adecuados años anteriores y se encontraba adoptado para un sismo de esta gran magnitud.



Ilustración 54. Puente Rafael Mendoza Avilés (puente de la Unidad Nacional). Extraído de Google Earth.

- El puente de la Calle Portete, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, esta estructura se encontraba dentro de la evaluación que realizaron en el proyecto RADIUS, no describieron si este puente tenía algún daño, pero si señalaron en que zona de intensidad se encontraba y en qué tipo de suelo. Este puente fue remodelado en el 2013, para esto realizaron varios estudios para determinar cuáles eran sus daños, su vida útil ya había cumplido. En ese puente se encontraba cuarteado en algunas zonas, presentaba oxidación y algunas losas estaban separadas. Le realizaron el reforzamiento en 12 pilotes, instalaron 16 vigas, concluyeron con la instalación de un tablero de hormigón para estabilizar el puente. Así también el puente pudo soportar el tráfico de mayor carga. Si este puente no le hubieran hecho esos reforzamientos, en el sismo del año 2016 que fue de magnitud de 7.8 Mw, se pudieron haber presentado daños o colapsado, ya que esta estructura se encontraba dentro de una zona de gran intensidad señalada por RADIUS.

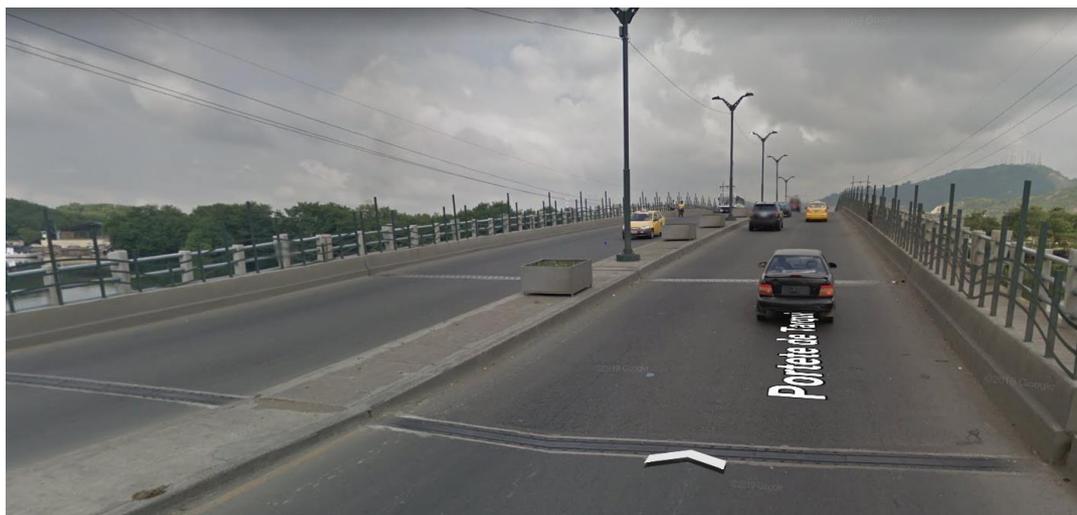


Ilustración 55. Puente de la Calle Portete. Extraída de Google Earth.

- El paso a desnivel de la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas, frente a diario Expreso, se encuentra en la zona de intensidad VII, con un suelo tipo II de transición, este puente se encontraba dentro en la evaluación que realizó el proyecto RADIUS a los puentes de la ciudad de Guayaquil, no describieron los daños que presentaba en esa poca o los mantenimientos necesarios, pero dieron a conocer en qué tipo de suelo y en qué zona de intensidad se encontraba esta estructura. A medida que paso el tiempo este puente demostraba falta de mantenimiento, en el año 2003 se observaron los mantenimientos que se le realizaba, ya que presentaba deterioro en las juntas de las losetas, formando un hueco entre los dos carriles. Luego en el año 2015 se volvieron a presentar daños la estructura, ahora en los cauchos en la primera unión de la estructura, y en diferentes lugares se observaron fisuras, otros cauchos salidos y hundidos. Realizaron el mantenimiento correcto a esos daños que se presentaron en ese tiempo. En el año 2016 se presentaron similares daños en las juntas, su plancha metálica se movía cuando los vehículos transitaban, sucedía continuamente estos deterioros en las juntas, por no realizar un mantenimiento adecuado a la estructura. EL deterioro que se presentó en el año 2016, no fue provocado por el evento sísmico de gran magnitud de 7.8 Mw, si no por la falta de refuerzos o mantenimientos que no se hacía adecuadamente en este puente.



Ilustración 56. Paso a desnivel de la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas, frente a diario Expreso. Extraído de Google Earth.

- El paso a desnivel del Viaducto la Prosperina, se encuentra en la zona de intensidad VI, con un suelo tipo I firme o rocoso, se encuentra dentro del estudio que realizaron en el proyecto RADIUS de los puentes de la ciudad de Guayaquil, no describieron si presentaba daño, pero si identificaron en qué tipo de suelo y zona de intensidad se encontraba. No se pudo obtener mucha información de este puente, no se sabe si le realizaron los mantenimientos adecuados. En el año 2011 este puente presentaba resquebrajamientos en la parte inferior de la viga central, ya que su altura era de 4,80 metros y no estaba diseñado para los carros pesados los cuales tenían esa altura, al pasar raspaban se iba desgasto el hormigón y cada vez más. Procedieron a realizar un estudio y un nuevo diseño para aumentar su altura, para que sea 6 metros los carros pesados no logren topar la viga del puente cuando pasen por la parte superior de la estructura. Se realizaron mantenimientos en juntas que prestaron pequeños desgastes. En el sismo del año 2016 que fue de magnitud 7.8Mw no presento daños.



Ilustración 57. Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina. Extraído de Google Earth.

- El paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez Concha, (Miraflores), se encuentra en la zona de intensidad VII, con un suelo tipo II de transición, se encontraba dentro de la lista de puentes que estudiaron en el Proyecto RADIUS de los puentes de la ciudad de Guayaquil, no describieron que daños tenía, o si estaba bien diseñado, pero si dieron a conocer en qué tipo de suelo y en qué zona de intensidad se encontraba. En el año 2010 realizaron una inspección a todos puentes que se conectaban a Urdesa, esta estructura era la que presentaba mayor desgaste, en algunas partes se observaron varillas descubiertas, alta corrosión en la estructura ya que se encontraba sobre una parte del estero salado, donde se concentra mayormente la salinidad. No encontramos información de este puente, si le realizaron un mantenimiento adecuado en su tiempo, reforzamiento necesario, lo que sí sabemos es que este puente no presentó algún daño luego del sismo del año 2016, que fue de una gran magnitud.



Ilustración 58. Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez Concha, (Miraflores). Extraído de Google Earth.

- El paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, en el estudio que realizaron en el proyecto RADIUS dieron a conocer que estaba mal en este puente, su mal diseño de las pilas de apoyo de las vigas, ya que solo ese encontraba una columna resistiendo la fuerza vertical, era recomendable una dos o más columnas, si sucedía un sismo de gran magnitud como el adoptado por RADIUS este puente hubiera sufrió un gran daño, hasta su colapso. En este puente no realizaban los mantenimientos adecuados, ya que presentaba daños, sus varillas se encontraban sin recubrimiento, las bases del puente estaban desgastadas y las vigas que componían el armazón de la vía estaban sin recubrimiento, estaban visible, esto presento en el año 2015, realizaron trabajo de mantenimiento del puente que necesitaba. Luego en el siguiente año, en el año 2016 repararon las vigas del puente, fueron reemplazadas doce vigas, las cuales se encontraban deterioradas, daños en sus torones. Si no realizaban a tiempo la reparación del puente hubiera sufrido un colapso ya que sus cables metálicos que trabajan a compresión eran los que habían sufrido mayormente. No presento daños cuando sucedió el sismo de gran magnitud de 7.8 Mw, en el año 2016.



Ilustración 59. Paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio. Extraído de Google Earth.

- El paso peatonal del estadio Barcelona, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, este puente forma parte del estudio que realizaron en el proyecto RADIUS, no describieron que daños encontraron, o si no estaba bien su diseño, pero si identificaron en qué tipo de suelo y en qué zona de intensidad se encontraba este

punto. Esta estructura se encontraba sobre el estero salado, no le dieron el mantenimiento correcto que necesitaba el puente, por eso se observaba la corrosión en las vigas de acero por la salinidad que existía y el deterioro en las bases de concreto. En el año 2005, una parte del paso peatonal colapso, por el paso de exceso de personas trotando sobre el puente, se produjo un efecto de resonancia por el golpe cíclico. La falta de mantenimiento a la estructura ayudó a su colapso, ya que si hubieran hecho su mantenimiento a tiempo el puente no hubiera colapsado. Luego procedieron a reconstruirlo, es una nueva estructura, ya no entraría en nuestro estudio que realizamos, porque ya colapsó la que fue construida en el año 1993 y analizada por RADIUS.



Ilustración 60. Paso peatonal del estadio Barcelona. Extraído de Google Earth.

- El puente de la calle A (Pío López Lara), se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, este puente forma parte del estudio que realizaron en el proyecto RADIUS de los puentes de la ciudad de Guayaquil, no lo describieron si presentaba falla o su diseño tenía algún error, pero si identificaron su tipo de suelo y la zona de intensidad donde se encontraba ubicado el puente. En el año 2009 ya encontraron fallas estructurales, deterioro y con riesgo de colapsar. Se encontraba un estribo con falla y realizaron un estudio a este puente si era posible una solución o realizar otro. La presencia de corrosión en el acero se presentaba por la alta salinidad ya que se encontraba sobre el estero y deterioro en el hormigón. Su diseño geométrico no mostraba factores de seguridad vial, no consideraron en el diseño la carga vehicular, los desechos cerca del puente aceleraba la oxidación y deformación del

hormigón. Procedieron a desmontarlo y construirlo. Esta estructura ya no forma parte en nuestro estudio, ya que la estructura que estudiamos fue demolida.



Ilustración 61. Puente de la calle A (Pío López Lara). Extraído de Google Earth.

- El paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca, se encuentra en la zona de intensidad VIII, con un suelo tipo III flexible o suave, este puente forma parte del estudio que realizaron en el proyecto RADIUS de los puentes de la ciudad de Guayaquil, no lo describieron si presentaba falla o su diseño tenía algún error, pero si identificaron su tipo de suelo y la zona de intensidad donde se encontraba ubicado. Este puente lo construyeron en el año 1995, luego procedieron a desmontarlo ya que necesitaba ser más ancho, para que fluya el tráfico, en el desmontaje solo perdieron 10% de la construcción anterior y lo otro lo reutilizaron. En el año 2011 se presentaron daños en el puente donde observaron un hueco que luego fue reparado, realizaron el mantenimiento de las juntas. Este puente presentaba deterioro y recomendaron que dos veces al año deberían hacerle mantenimiento especialmente en las uniones de las calzadas del puente. Luego del sismo del año 2016 que fue de una gran magnitud de 7.8Mw, no sabemos si este puente sufrió algún daño, no se encontró información al respecto.



Ilustración 62. Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca. Extraído de Google Earth.

### 4.3. Análisis estadístico

Los puentes analizados por el proyecto RADIUS son 61, de los cuales hemos tomados los hechos relevantes que han suscitado a lo largo de los años, se ha recolectado información en artículos de diarios e investigaciones, para presentar los siguientes resultados.

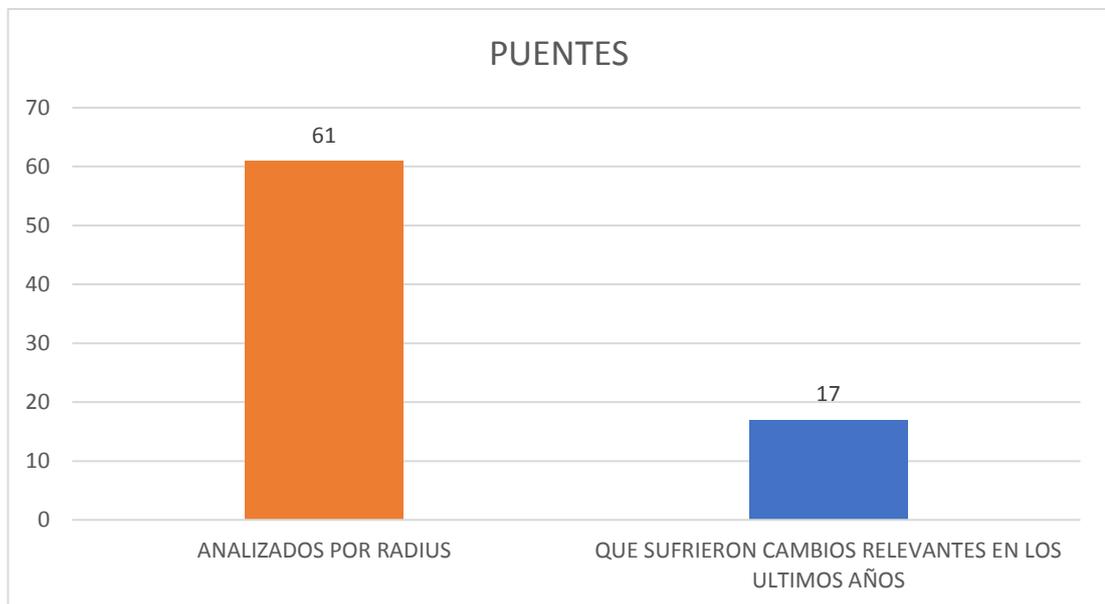


Ilustración 63. Puentes analizados por RADIUS y los que sufrieron cambios relevantes en los últimos años.

De esos 17 puentes que sufrieron cambios a lo largo de los años posteriores al proyecto “RADIUS” se van a diferenciar por el tipo de reparación al que fueron sometidos a lo largo de esos años.



Ilustración 64. Puentes que han sido reconstruido y reforzados.

Después vamos analizar el tipo de suelo que se encuentran debajo de esos puentes y vamos a clasificar para así encontrar una relación de los puentes que fueron más afectados durante todos estos años y si el tipo de suelo tiene algo que ver.

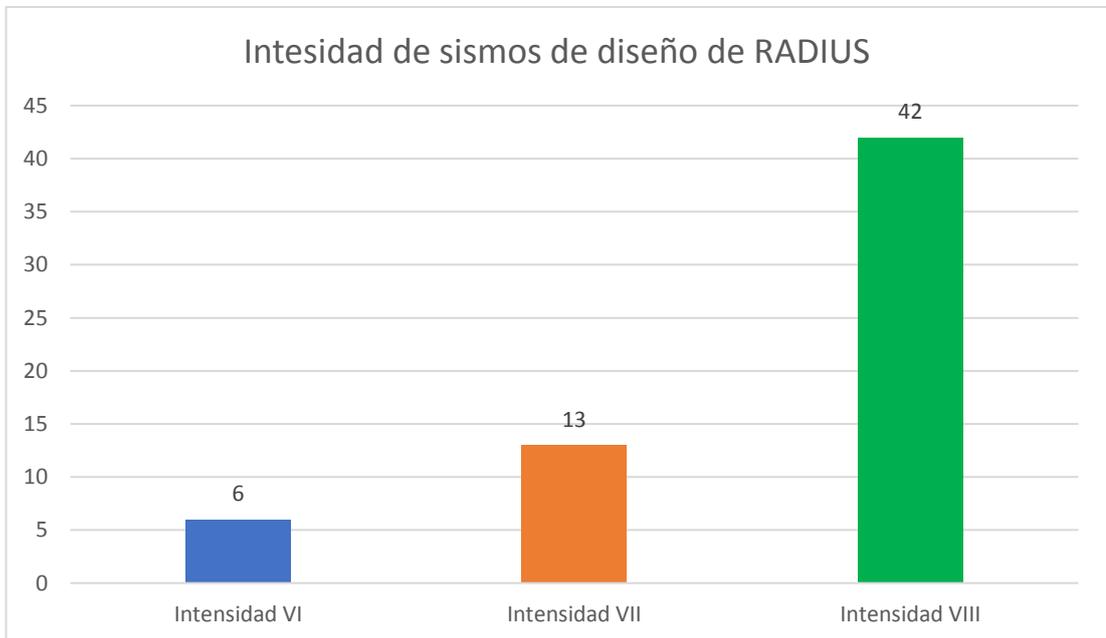


Ilustración 65. Intensidad de sismos de diseño de RADIUS.

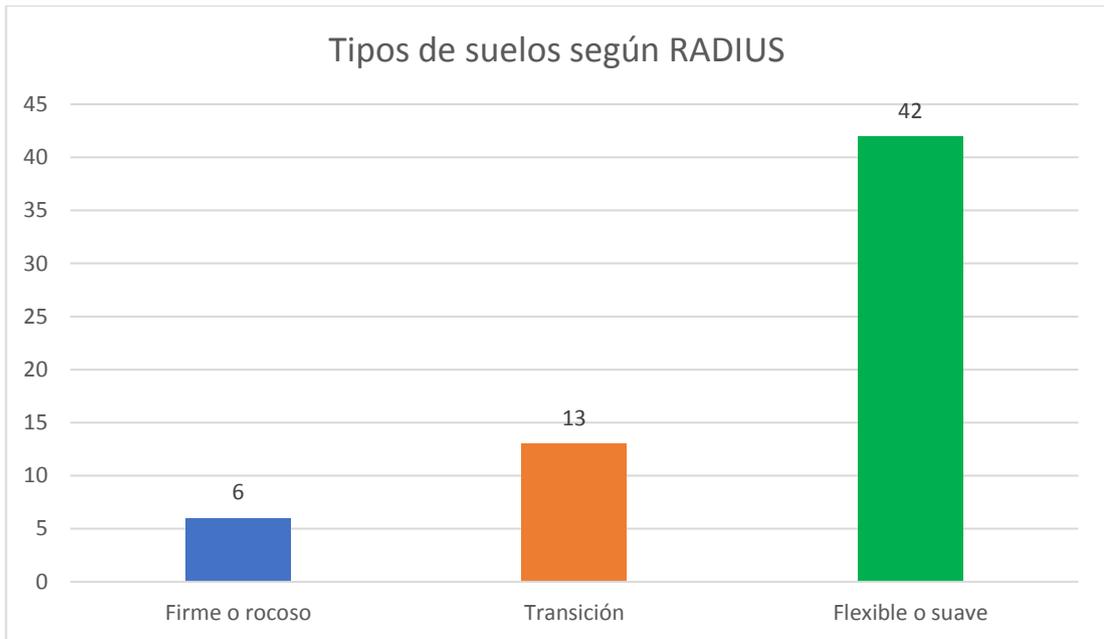


Ilustración 66. Tipos de suelos según RADIUS.

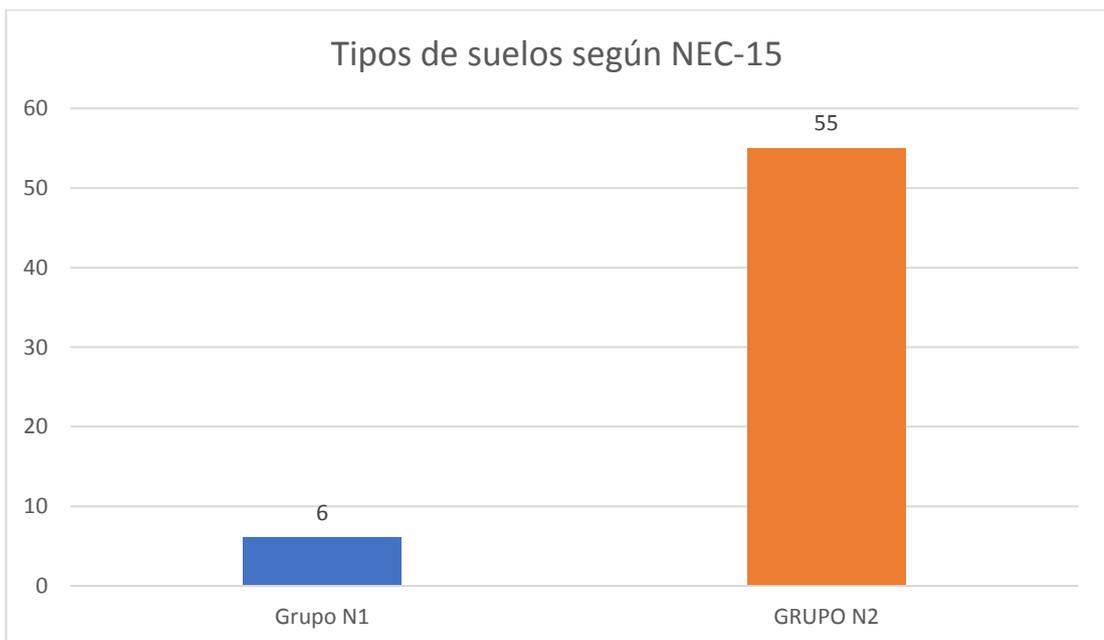


Ilustración 67. Tipo de suelos según NEC-15.

Para los 17 puentes analizados, se deben encontrar una relación con el tipo de suelo, que para el caso de estudio se clasificarán según la NEC, en grupo N1 y N2, en el que el grupo N1 se encuentran las piedras rocosas de los suelos A, B y C, y en el suelo tipo N2 se encuentran arena suave, limo y arcillas, del tipo de suelo D, E y F, esta es la que se va hallar a continuación. Los puentes que se encuentran en el tipo de suelo firme o rocoso, son los siguientes:

- Paso a desnivel del Viaducto la Prosperina (la Perimetral).

Los puentes que se encuentran en el tipo de suelo de Transición, son los siguientes:

- Paso a desnivel de la Av. Carlos Julio Arosemena con la Av. Las Monjas.
- Paso a desnivel en la Av. Julián Coronel y las Avenidas Quito y Machala.
- Paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena.
- Puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena.

Los puentes que se encuentran en el tipo de suelo flexible o suave, son los siguientes:

- Puente Rafael Mendoza Avilés (Guayaquil – Samborondón).
- Paso a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy (Coliseo modelo).
- Puente de la Calle Portete.
- Puente 5 de Junio.
- Paso a desnivel que conecta la Av. Ignacio Cuesta con la Jorge Pérez Concha, sobre el estero salado.
- Paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio.
- Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente al Aeropuerto.
- Paso peatonal del estadio Barcelona.
- Paso a desnivel en la Av. De las Américas, frente a la Policía y Universidad Laica.
- Puente de la G.
- Puente de la calle A (Pío López Lara).
- Paso a desnivel en la Av. Pedro Menéndez Gilbert a la altura del Hospital Solca.

El proyecto RADIUS hace un análisis de los puentes de los cuales se debería prestar atención en los años posteriores del proyecto. En el estudio de RADIUS consideraron un sismo de diseño, muy próximo en lo que podía ocurrir en los próximos años y sucedió. En abril del año 2016 con un sismo

de intensidad de VII en Guayaquil, que era el escenario propuesto por este proyecto y muchos de los puentes en los que se llaman la atención de RADIUS, fueron afectados. La relación que encontró RADIUS es que el tipo de suelo de Guayaquil, es un problema al diseñar construcciones de alto impacto, como es el caso de los puentes. El tipo de suelo flexible o suave y el de transición, provoca que cuando haya un evento sísmico las propiedades cambien y se crea un problema, lo que fue que sucedió en abril del año 2016.

## **Conclusiones**

Los puentes, pasos a desnivel y pasos peatonales, en la ciudad de Guayaquil han sufrido grandes cambios a lo largo de estos 30 años, la ciudad ha ido evolucionando y la carga tráfico ha aumentado, por lo tanto, estos puentes necesitan, mayor mantenimiento y cuidado. La M.I. Municipalidad de Guayaquil se ha encargado de estos mantenimientos, pero la tarea le ha costado trabajo ya que no cuenta con un sistema eficaz para tratar a estas importantes estructuras de la ciudad.

El abandono, la desorganización y la falta de educación de sus ciudadanos, han provocado que estas estructuras sufran de más. Los pasos a desniveles y los pasos peatonales, han sufridos daños estéticos y más no existen tantos casos de daños estructurales, lo que afecta uno de los indicadores que los ingenieros debemos considerar al momento de diseñar y construir una estructura, la servicialidad.

El sismo del 16 de abril del año 2016, nos dio una importante lección al demostrarnos la importancia que debemos tener en el mantenimiento de estas estructuras de la ciudad. En los años anteriores a este sismo, eran múltiples los llamados de atención por parte de la ciudadanía, hacia la alcaldía ya que no se realizaban los mantenimientos adecuados y varios de los puentes se encontraban en estado de deterioro.

El proyecto RADIUS afirma que los puentes: Paso a desnivel de la Av. 25 de Julio, paso a desnivel en la Av. De las Américas frente al Aeropuerto, paso a desnivel de la Av. De las Américas frente a la Policía y la Universidad Laica, paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena, paso a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy, puente que conecta la Av. Las Monjas con la Av. Carlos Julio Arosemena y puente Rafael Mendoza Avilés (Puente de la Unidad Nacional) eran los puentes con los que se debía tener mayor precaución en el futuro debido a la sismicidad del terreno y el tipo del suelo del mismo. Esto fue lo que sucedió en el sismo del año 2016, cuando se evidencio el colapso el puente de la Av. De las Américas frente a la Policía y la Universidad Laica, y se tuvo que reforzar varios de los puentes ya mencionados.

Los hechos más relevantes serán demostrados a continuación:

Tabla 7. Comparación de las expectativas de los daños más relevantes.

<b>Expectativa de daños en los puentes analizados por RADIUS.</b>	<b>Mejoras hechas por los organismos pertinentes a lo largo de los años.</b>
<p>La pérdida del presfuerzo de los cables con los que fueron tensadas las vigas, en el puente en la intersección de las Av. De Las Américas con la Av. Kennedy.</p>	<p>En el paso a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy, fue sometido a un estudio la estructura porque ya había cumplido su ciclo de vida útil, si era necesario su reforzamiento o levantar una nuevo, en el 2007.</p> <p>Realizaron el reforzamiento de las pilas, con un encamisado con placas de acero, esto sucedió luego de sismo de magnitud 7.8 Mw, en el 2016.</p>
<p>Los coeficientes sísmicos, en ese tiempo no existía una norma sísmica estándar, todas las estructuras sean sometidas a un proceso de evaluación.</p>	<p>Los 61 puentes que fueron analizados por RADIUS, al momento que los diseñaron usaron los coeficientes sísmicos de normas de otros países, ya que no existía en nuestro país una norma sísmica estándar, luego al pasar los años recomendaron que estas estructuras sean sometidas a pruebas para su capacidad estructural durante un sismo, como el que adopto RADIUS.</p>
<p>La falta de redundancia estructural,</p>	<p>El paso a desnivel de la Av. 25 de</p>

<p>el diseño de las pilas de apoyo de las vigas, puente en la intersección de la Av. 25 de Julio con la vía Perimetral y el de la Av. De las Américas frente al Aeropuerto.</p>	<p>Julio, no le realizaban el mantenimiento adecuado, la estructura presentaba varios daños, sus varillas estaban expuestas a la intemperie y el desgaste en las bases del puente. En el año 2016 realizaron la reparación de las vigas del puente. Los torones se habían debilitados.</p> <p>El paso a desnivel en la Av. De las Américas frente al Aeropuerto, cuando realizaron el análisis de los puentes RADIUS, en este notaron que una columna resistía las fuerzas sísmicas, la cual recomendaban de dos o más columnas y una torsión excesiva sobre sus pilas.</p>
<p>El mal diseño de las trabas sísmicas, en la Av. De las Américas frente a la Policía y la Universidad Laica.</p>	<p>El paso a desnivel de la Av. De las Américas frente a la Policía y la Universidad Laica, en el año 2016 cuando ocurrió el sismo de 7.8 Mw, las pilas centrales de esta estructura colapsaron, dejando en el aire la estructura central, dos de sus pilas fallaron debido a la carga sísmica y sus juntas sísmicas no eran funcionales.</p>
<p>La torsión por irregularidad geométrica, puente de la Av. De las Américas frente al Aeropuerto.</p>	<p>El paso a desnivel en la Av. De las Américas frente al Aeropuerto, en el año 1999 cuando RADIUS realizó la evaluación de los puentes, en esta</p>

	<p>estructura ya se notaban fisuras en las secciones superiores de las pilas y daños en las placas de neopreno, luego realizaron el mantenimiento adecuado.</p>
<p>El deterioro de las juntas de dilatación por mal diseño, puente que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena, el puente de la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy.</p>	<p>El paso a desnivel que conecta la Ciudadela Bellavista con la Av. Carlos Julio Arosemena, le realizaron un mantenimiento correcto y a tiempo, como los daños ya se eran visibles cuando fue este puente analizado por RADIUS.</p> <p>El paso a desnivel en la intersección de la Av. De las Américas con la Av. Kennedy, en el 2001 realizaron un mantenimiento en sus juntas porque se observaban daños.</p>

La ciudad de Guayaquil está formada geológicamente básicamente de depósitos aluviales, de arena suave, limos y arcillas, como a lo largo de la historia esta ciudad se fue abriendo paso, expandiéndose y buscando nuevo sector donde a de sentarse. Esto provoco que la población vaya aumentando, lo que obligo a la Municipalidad buscar soluciones viales, de acuerdo a la necesidad. Así que, toco eruir estos puentes en medio de la urbe y sobre cargar estos terrenos, de que por si no eran muy estables.

Para terminar debemos analizar que los suelos de la ciudad de Guayaquil, tenemos que de los 61 puentes, 42 se encuentran en los suelos flexibles o suaves, que al momento de un sismo pueden encontrarse hasta con intensidad VIII, RADIUS afirma que estos puentes son los más susceptibles a daños y en cuanto a los que sufrieron daños relevantes en los últimos años tenemos 17 puentes de los 61, que nos da un porcentaje menor ya que se hicieron muchos cambiones, remodelaciones s lo largo de estos últimos

años, lo que permitió que el diagnóstico de RADIUS no sea tan cebero y no tengamos esas consecuencias hoy en día.

Tabla 8. Clasificación de los puentes según su intensidad y tipo de suelos

# de puentes	Intensidad	Tipo de suelo
6	VI	Firme o rocoso
13	VII	Transición
42	VIII	Flexible o suave

Tabla 9. Clasificación de puente analizados por RADIUS y los que sufrieron daños en los últimos años.

# de puentes analizados por RADIUS	# de puentes que sufrieron daños relevantes en los últimos años.
61	17

Tabla 10. Clasificación de los puentes analizados por RADIUS, que fueron reconstruidos y reforzados a pasar los años.

Puentes reconstruidos	Puentes reforzados
6	11

Tabla 11. Clasificación de los puentes reconstruidos y reforzados, según su intensidad.

# de puentes reforzados	# de puentes reconstruidos	Intensidad
1	-	VI
4	1	VII
6	5	VII

Tabla 12. Clasificación de los puentes que sufrieron daños con el sismo de 7.8 Mw.

# de puentes que sufrieron daños con	3
--------------------------------------	---

el sismo de 7.8Mw del 2016.	
-----------------------------	--

## **Recomendaciones**

Los puentes de la ciudad representan una solución más viable para el problema del tránsito en el cantón, pero aquí en adelante se debe construir con responsabilidad y adaptando tecnologías más actuales que permitan que estas estructuras se mantengan firmes por muchos años más.

Se debería (si aún no se realiza) realizar inspecciones trimestrales tanto de la estructura del puente, como el suelo que lo soporta. No solo por problemas estructurales, si no para darle la calidad visual que necesita el usuario para sentirse seguro.

Los informes de esas inspecciones deberían ser digitalizadas y publicados en las paginas M.I. Municipalidad de Guayaquil o del organismo que lo organiza.

## Bibliografía

Argudo, et al. (1999). *Diagnostico de vulnerabilidad y estimación de daños en los sistemas vitales de Guayaquil en el escenario de un terremoto de intensidad VIII*. Guayaquil. Obtenido de <https://www.jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-IV-DIAGNOSTICO-VULNERABILIDAD-DAÑOS-EN-LOS-SISTEMAS-VITALES-EN-GUAYAQUIL-EN-EL-ESCENARIO-DE-UN-TERREMOTO-DE-INTENSIDAD-VIII.pdf>

Argudo, et al. (1999). *Estudio amenazas sísmicas*. Guayaquil. Obtenido de <https://www.jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-II-ESTUDIO-AMENAZA-SISMICA.pdf>

Argudo, et al. (1999). *Estudio de vulnerabilidad de edificaciones*. Guayaquil. Obtenido de <https://www.jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-III-ESTUDIO-VULNERABILIDAD-EDIFICACIONES.pdf>

El Comercio. (15 de Mayo de 2016). *Bases de dos puentes son reforzadas con acero en Av. de Las Américas de Guayaquil*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/puentes-reforzadas-acero-guayaquil-sismo.html>

El Comercio.(15 de 05 de 2016).*Bases de dos puentes son reforzadas con acero en Av. de Las Américas de Guayaquil*. Obtenido de Bases de dos puentes son reforzadas con acero en Av. de Las Américas de Guayaquil

El Telégrafo.(6 de Abril de 2012).*El puente de Las Monjas tendrá una vida útil de cuarenta años*. Obtenido de <https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/1/el-puente-de-las-monjas-tendra-una-vida-util-de-cuarenta-anos>

- El Telégrafo.(16 de Abril de 2017).*En Guayaquil, un puente colapsó y dos personas perdieron la vida.* Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/38/10/en-guayaquil-un-puente-colapso-y-dos-personas-perdieron-la-vida>
- El Telégrafo.(16 de Abril de 2017).*En Guayaquil, un puente colapsó y dos personas perdieron la vida.* Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/1/en-guayaquil-un-puente-colapso-y-dos-personas-perdieron-la-vida>
- El Telégrafo.(22 de Junio de 2012).*Cierre de paso a desnivel por mantenimiento al norte.* Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/2/cierre-de-paso-a-desnivel-por-mantenimiento-al-norte>
- El Telégrafo.(17 de Abril de 2015).*Pasos a desnivel y puentes olvidados por el Cabildo.* Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/1/pasos-a-desnivel-y-puentes-olvidados-por-el-cabildo>
- El Telégrafo.(1 de Junio de 2017).*El acelerado deterioro del puente de la G se debe al alto grado de salinidad.* Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/2/el-acelerado-deterioro-del-puente-de-la-g-se-debe-al-alto-grado-de-salinidad>
- El Universo.(2 de Diciembre de 1999).*Inauguración del paso a desnivel de la Av. Veinticinco de Julio .*
- El Universo.(29 de Mayo de 2000).*Ampliación y reparación del puente 5 de Junio.*
- El Universo.(7 de Julio de 2001).*Deterioro en juntas de los puentes .*
- El Universo.(9 de Julio de 2002).*Contratista retoma obras en paso que empata la calle Julián Coronel con la Av. Machala.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2002/07/09/0001/18/A9C85A50FB944AFEAE08FAE52765C048.html/>

El Universo.(23 de 05 de 2005).*El puente Cinco de Junio, un referente histórico de la ciudad.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2005/05/23/0001/18/C1903EBA145E45AFB1E44249319774AB.html>

El Universo.(10 de Enero de 2007).*El distribuidor de tráfico de av. de las Américas, a estudio.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2007/01/10/0001/18/0F54288B1F2B4DCCB9D399BF76DAE103.html/>

El Universo.(15 de Diciembre de 2010).*Para el 2011 se remodelará el puente de la calle Portete.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2010/12/15/1/1445/2011-remodelara-puente-calle-portete.html/>

El Universo.(5 de Septiembre de 2011).*Se encareció en \$ 200.000 puente de Las Monjas por nuevas vigas.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2011/09/05/1/1445/encarecio-200000-puente-monjas-nuevas-vigas.html>

El Universo.(11 de Junio de 2011).*Antiguo puente de la A se desmontará desde el lunes.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2011/06/11/1/1445/antiguo-puente-desmontara-desde-lunes.html/>

El Universo.(11 de Junio de 2011).*Se elevará altura de puente en Perimetral.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2011/06/11/1/1445/elevara-altura-puente-perimetral.html/>

El Universo.(29 de Noviembre de 2013).*El puente de la avenida Portete, reparado, tiene camineras.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2013/11/29/nota/1842446/puente-av-portete-reparado-tiene-camineras/>

El Universo.(5 de Junio de 2015).*Viaductos son trampas en algunas zonas de Guayaquil.* Obtenido de

<https://www.eluniverso.com/noticias/2015/06/05/nota/4942845/via-ductos-son-trampas-algunas-zonas/>

El Universo.(11 de Noviembre de 2016).*Desvío de buses en la av. 25 de Julio.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/11/11/nota/5896987/desvio-buses-av-25-julio/>

El Universo.(10 de Enero de 2019).*Cierre nocturno del paso a desnivel de la avenida Pedro Menéndez, por obras.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/01/10/nota/7132496/cierre-nocturno-paso-desnivel-avenida-pedro-menendez-obras/>

El Universo.(7 de Marzo de 2003).*Graves daños en el paso elevado de Av. Arosemena.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2003/03/07/0001/18/38A7548951154624B86C6F037B290DDA.html/>

El Universo.(23 de Junio de 2005).*El olvido tumbó puente peatonal de Av. Barcelona.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2005/06/23/0001/18/E6F15D3AC8D94951A3ED6F744E706235.html/>

El Universo.(24 de Septiembre de 2007).*Lento avance de obra en el puente.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2007/09/24/0001/18/ABC870176987418182F0501880E1E654.html/>

El Universo.(16 de Diciembre de 2010).*En puentes urge revisión.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2010/12/16/1/1534/puentes-urge-revision.html>

El Universo.(5 de Marzo de 2011).*Se retomaron trabajos en el puente de Las Monjas.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2011/03/05/1/1445/retomaron-trabajos-puente-monjas.html/>

- El Universo.(24 de Enero de 2011).*Se hará estudio en paso elevado de av. Pedro Menéndez Gilbert.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2011/01/24/1/1445/hara-estudio-paso-elevado-av-pedro-menendez-gilbert.html/>
- El Universo.(29 de Abril de 2016).*Ponen vigas para sostener las losas de paso a desnivel de Guayaquil.* Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/29/nota/5550297/pon-en-vigas-sostener-losas-paso-desnivel/>
- Expreso.(28 de Mayo de 2011).*Construcción del nuevo viaducto sobre el estero.*
- Expreso.(9 de Noviembre de 2016).*Para elevarlo, cerraran un puente vital del sur.* Obtenido de <https://www.expreso.ec/actualidad/elevarlo-cerraran-puente-vital-sur-49344.html>
- Expreso.(10 de Mayo de 2016).*Aplican "encamisado" a las columnas de dos puentes.*
- Instituto Geofísico.(2016).*Observaciones del sismo de 16 de abril de 2016 (mw7.8) en la ciudad de Guayaquil.* Guayaquil. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1330-informe-sismico-especial-n-19-2016>
- Jones, Argudo.(2020).ON THE COLLAPSE OF THE LAS AMERICAS OVERPASS DURING THE PEDERNALES EARTHQUAKE IN ECUADOR, ON APRIL 16, 2016. *17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE.* Guayaquil.
- La Hora.(24 de Agosto de 2007).*Puente Rafael Mendoza Avilés, en riesgo.* Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/610158/home>
- NEC.(2015).*PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE.* Guayaquil: Norma Ecuatoriana de la Construcción. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>

Vera,X.(2011).*Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: GEOESTUDIOS.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Nieto Fuentes, Naravely Isabel**, con C.C: #120742462-1 autor/a del trabajo de titulación: **Comportamiento de puentes de la ciudad de Guayaquil durante sismos** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 15 de septiembre de 2021

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Naravely Isabel Nieto Fuentes**

C.C: 120742462-1



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Comportamiento de puentes de la ciudad de Guayaquil durante sismos.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Naravely Isabel Nieto Fuentes		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Alex Raúl, Villacres Sánchez, M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniera Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	15 de septiembre de 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	101
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Estructuras, Ingeniería Sísmica.		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Puentes, Sismos, Daños, Proyecto RADIUS, Tipo de Suelos, Evaluación.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>En la ciudad de Guayaquil a partir de la década de los 60 del siglo XX, se empezaron a construir puentes, pasos elevados, pasos peatonales, a lo largo de la urbe. En el trabajo se analizarán 61 de estos puentes y se vera la influencia que tuvieron los sismos del 18 de agosto de 1980 y el del 16 de abril de 2016. Se recopilan datos técnicos brindados por los organismos competentes como la M.I. Municipalidad de Guayaquil (Dirección de OO.PP.MM.,2016) y el proyecto RADIUS (UCSG, Argudo et al, 1999).</p> <p>Con los datos obtenidos se realiza una recopilación de información que identifica cuales son los daños causados en los puentes dependiendo el tipo de suelo en el sector, nos da una mirada más amplia de porque ocurrieron los daños y como prevenir esos errores en el futuro. Dependiendo el tipo de suelo y los daños efectuados por los sismos se generan dos grupos donde se evalúa puentes que tengan las mismas características del suelo y así se obtienen una comparación adecuada de estos.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO AUTOR/ES:</b>	<b>CON</b>	<b>Teléfono:</b> +593-5-2948568	<b>E-mail:</b> narita_nieto98@hotmail.com
<b>CONTACTO INSTITUCIÓN (COORDINADOR PROCESO UTE):</b>	<b>CON LA DEL</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>	
		<b>Teléfono:</b> +593-4-2206956	
		<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			