



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

Influencia del sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de
Bahía de Caráquez en el sismo de 2016.

AUTOR:

Morillo Moreno, Carlos Andrés

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.sc

Guayaquil, Ecuador

28 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Morillo Moreno, Carlos Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Villacrés Sánchez, Alex Raúl, M.sc

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther

Guayaquil, a los 28 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Morillo Moreno, Carlos Andrés.

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Influencia del sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016**, previo a la obtención del título de **Ingeniero 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 28 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____

Morillo Moreno Carlos Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Morillo Moreno, Carlos Andrés.

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Influencia del sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

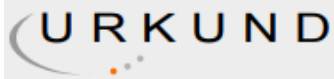
Guayaquil, a los 28 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____

Morillo Moreno Carlos Andrés

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: MORILLO_CARLOS_FINAL.docx (D112903661)
Submitted: 9/19/2021 1:51:00 PM
Submitted By: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 8 %

Sources included in the report:

guillermoriverapablogregorio_81386_4228744_Analisis Riesgo Sismico(bahia de Caráque z).pdf (D93365745)
Aguilar_Jorge_final.docx (D55220272)
Trabajo de titulo Gabriela Chucuyan.pdf (D40966878)
<http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads//2017/10/5.pdf>
<https://docplayer.es/105175697-Universidad-internacional-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-civil-trabajo-de-titulacion-previa-a-la-obtencion-del-titulo-de-ingeniero-civil.html>
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2199/1/T-UIDE-1248.pdf>
<http://201.159.223.180/bitstream/3317/13830/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-307.pdf>
<http://192.188.52.94/bitstream/3317/15744/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-370.pdf.pdf>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13833/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-310.pdf>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7646/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-194.pdf>

Instances where selected sources appear:

Activar Window
Ir a Configuración de

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a Dios por haberme dado la oportunidad de culminar mi etapa universitaria, darme la serenidad de aceptar las cosas que no puedo cambiar, paciencia para superar cualquier obstáculo que se me haya presentado en el camino, y sobre todo darme la fuerza para no decaerme en mis momentos más difíciles y así ayudarme a salir adelante.

En segundo lugar, le agradezco a mi padre el Ing. Carlos Enrique Morillo Haro, M.Sc. y a mi madre la Ing. Mónica Celeste Moreno Zuriaga por haberme dado la oportunidad de formarme en tan prestigiosa institución como lo es la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, sin ellos no hubiese podido lograr todo lo que he logrado; por inculcarme con el ejemplo los valores de respeto, bondad, responsabilidad y honestidad; por con dedicación y esfuerzo ayudarme a culminar mi carrera universitaria y darme todo su apoyo para no decaer cuando todo se ponía difícil o complicado, son el mejor ejemplo de entrega y amor. A mi hermana por todos los consejos brindados y ser fiel reflejo de autosuperación.

Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Alex Raúl Villacrés Sánchez, M.Sc. por su valioso apoyo en el desarrollo de este trabajo, quien con su conocimiento y experiencia me orientó a lo largo de todo el proceso en la Unidad de Titulación. A todos los docentes que tuve durante mi período en la UCSG que me vieron crecer como persona y gracias a sus conocimientos impartidos en el aula de clases fueron pieza clave en mi formación académica.

Finalmente quisiera agradecer a mi novia María Cristina Ojeda Ludeña por acompañarme en mis noches de desvelo, estudiando para las pruebas o realizando proyectos, su ayuda fue fundamental, gracias por estar conmigo en los momentos más turbulentos, este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. A mis amigos y a todas las personas que me han acompañado en cada paso que he dado, que han estado en todos los momentos ya sean buenos o malos y que en todos estos años me han brindado su apoyo desinteresado.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico con todas mis fuerzas a mi Papá el Ing. Carlos Enrique Morillo Haro que a pesar de que ya no esté a mi lado, fue mi pilar fundamental para poder lograr este objetivo, fue mi apoyo a lo largo de toda mi vida. Y por supuesto también se lo dedico con todo mi corazón a mi Mamá la Ing. Mónica Celeste Moreno Zuriaga, pues sin ella no lo hubiese logrado. Dios me premió con los mejores padres, les debo todo lo que soy.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

ING. VILLACRES SANCHEZ ALEX RAÚL, M.Sc.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ALEXANDRA CAMACHO, M.Sc

DECANO

f. _____

ING. XAVIER CASAL RODRIGUEZ

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

ING. CHON DIAZ CARLOS, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I	7
1.1. Bahía de Caráquez.....	7
1.2. Sismo de bahía de Caráquez. 4 de agosto de 1998	9
1.3. Asignación de intensidades.....	11
1.4. Condiciones geotécnicas y de suelos de bahía de Caráquez	13
CAPÍTULO II	17
2.1. Daños presentados en las edificaciones de Bahía de Caráquez después del sismo del 4 de agosto de 1998.....	17
2.2. Aspectos Estructurales.....	18
2.3. Características de las construcciones en la zona afectada	20
2.3.1. Problemas estructurales en las edificaciones en Bahía de Caráquez	21
2.4. Edificaciones Evaluadas	25
2.4.1. Nombre: Edificio El Vigía.....	25
2.4.2. Nombre: Edificio Las Brisas	25
2.4.3. Nombre: Edificio Horizonte.....	25
2.4.4. Nombre: Edificio Dos hemisferios.....	26
2.4.5. Nombre: Edificio Cabo Coral	26
2.4.6. Nombre: Iglesia María Auxiliadora	27
2.4.7. Nombre: Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro	28
2.4.8. Nombre: Edificio Marun Jalil.....	29
2.4.9. Nombre: Edificio Torre Mar	29
2.4.10. Nombre: Edificio El Delfín	30
2.4.11. Nombre: Edificio El Almirante.....	31
2.4.12. Nombre: Edificio Punta Norte.....	31
2.4.13. Nombre: Edificio Neptuno	32
2.4.14. Nombre: Edificio Mikonos.....	32
2.4.15. Nombre: Edificio Vista Mar	33
2.4.16. Nombre: Edificio El Pirata	34
2.4.17. Nombre: Edificio Salango	34
2.4.18. Nombre: Edificio Nautilus	35
2.4.19. Nombre: Edificio Banco Nacional de Fomento	36
2.4.20. Nombre: Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre.....	36
2.4.21. Nombre: Edificio El Centinela	37
2.4.22. Nombre: Hotel Italia.....	37

2.4.23.	Nombre: Hotel El Portal	38
2.4.24.	Nombre: Edificio Karina	39
2.4.25.	Nombre: Edificio Las Gaviotas	39
2.4.26.	Nombre: Edificio Los Corales	40
2.4.27.	Nombre: Colegio La Inmaculada	40
2.4.28.	Nombre: Cuerpo de Bomberos	41
2.4.29.	Nombre: Edificio Spondylus	42
2.4.30.	Nombre: Edificio en esquina Av. Riofrío y Salinas	42
2.4.31.	Nombre: Hospital Miguel H. Alcívar.....	43
CAPÍTULO III		46
3.1.	Sismo del 16 de abril del 2016	46
3.2.	Efectos del terremoto del 16 de abril de 2016 en la dinámica social y económica de Bahía de Caráquez.	48
3.3.	Dimensionamiento general del terremoto del 16 de abril del 2016 en Bahía de Caráquez.	50
3.4.	Edificaciones que se construyeron después de 1998 y que sufrieron daño en 2016. 52	
3.4.1.	Edificio Agua Marina	52
3.4.2.	Edificio Akuaba.....	54
3.4.3.	Edificio Torre Molino.....	57
3.4.4.	Edificio Cariló	59
3.4.5.	Edificio El Faro.....	61
3.4.6.	Hotel Ocean Bay Towers	63
3.4.7.	Hotel Patricio's.....	64
3.4.8.	Edificio Bahía de Caráquez.....	65
CAPÍTULO IV		67
4.1.	Clasificación de la muestra	67
4.1.1.	Afectados por el sismo de 1998, Demolidos o inhabilitados.....	67
4.1.2.	Grupo 1	67
4.1.3.	Grupo 2	68
4.2.	Análisis estadístico	69
4.2.1.	Edificios dañados en ambos sismos (1998 y 2016)	69
4.2.2.	Edificaciones que se construyeron después de 1998 y que sufrieron daño en 2016. 70	
4.3.	Memoria de cálculo	71
CAPÍTULO V		77
5.1.	CONCLUSIONES.....	77

5.2. RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Localización epicentral según agencias internacionales.....	10
Tabla 2: Distribución de grados de daño en edificaciones de hormigón armado y mampostería en el área de Bahía de Caráquez.....	17
Tabla 3: Distribución de edificaciones inspeccionadas según número de niveles y zonas urbanas de Bahía	18
Tabla 4: Clasificación de los edificios dañados en ambos sismos y los edificios construidos después del sismo de 1998 que sufrieron daño por el sismo de 2016, cada uno con su respectivo nivel de daño.	71
Tabla 5: Clasificación de los cuatro grados de daño (Tratamientos) y los sismos estudiados (Bloques).	72
Tabla 6: Parámetros iniciales para el proceso de cálculo.....	73
Tabla 7: Cuadrados de la tabla de clasificación de los cuatro grados de daño (Tratamientos) y los sismos estudiados (Bloques).....	74
Tabla 8: Tabla resumen de Análisis de Variancia para un diseño de bloques aleatorizado	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación geográfica de Bahía de Caráquez	7
Ilustración 2: ubicación geográfica de Bahía de Caráquez	8
Ilustración 3: La ciudad de Bahía de Caráquez.....	9
Ilustración 4: Localización epicentral según agencia internacional.....	11
Ilustración 5: Mapa de Isosistas elaborado en base a intensidades asignadas en diferentes localidades del país.....	12
Ilustración 6: Geología del área de Bahía de Caráquez	15
Ilustración 7: Sección vertical de las formaciones pre-molasica	15
Ilustración 8: Irregularidades arquitectónicas. A la derecha el Edificio El Almirante (irregularidad en planta), a la izquierda Edificio sin nombre (Irregularidad en elevación).....	22
Ilustración 9: Pisos blandos en construcciones. A la derecha el Edificio Salango, a la izquierda el Nautilus	23
Ilustración 10: Concentración de masas en el edificio Cabo Coral. A la derecha jacuzzi en octava planta, a la izquierda piscina en la segunda planta	23
Ilustración 11: Incompatibilidad de materiales en edificación de Bahía	24
Ilustración 12: Edificio Dos hemisferios luego del sismo de 1998.....	26
Ilustración 13: Edificio Cabo Coral luego del sismo de 1998	27
Ilustración 14: Iglesia María Auxiliadora luego del terremoto de 1998	28
Ilustración 15: Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro luego del terremoto de 1998.....	28
Ilustración 16: Edificio Marun Jalil luego del terremoto de 1998	29
Ilustración 17: Edificio Torre Mar luego del terremoto de 1998	30
Ilustración 18: Edificio El Delfín luego del terremoto de 1998.....	30
Ilustración 19: Edificio El Almirante luego del terremoto de 1998.....	31
Ilustración 20: Edificio Neptuno luego del terremoto de 1998.....	32
Ilustración 21: Edificio Mikonos luego del terremoto de 1998	33

Ilustración 22: Edificio Vista Mar luego del terremoto de 1998	33
Ilustración 23: Edificio El Pirata luego del sismo de 1998.....	34
Ilustración 24: Edificio Salango luego del terremoto de 1998.....	35
Ilustración 25: Edificio Nautilus luego del terremoto de 1998.....	35
Ilustración 26: Banco Nacional de Fomento luego del sismo de 1998.....	36
Ilustración 27: Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre luego del terremoto de 1998	37
Ilustración 29: Hotel El Portal luego del terremoto de 1998	38
Ilustración 30: Edificio Karina luego del terremoto de 1998.....	39
Ilustración 31: Edificio Los Corales luego del terremoto de 1998	40
Ilustración 32: Colegio La Inmaculada luego del terremoto de 1998.....	41
Ilustración 33: Cuerpo de Bomberos luego del terremoto de 1998	41
Ilustración 34: Edificio Spondylus luego del terremoto de 1998.....	42
Ilustración 35: Edificio Av. Riofrío y Salinas luego del terremoto de 1998.....	43
Ilustración 36: Hospital Miguel H. Alcívar, mala práctica en la fundición de las columnas, después del terremoto del 4 de agosto de 1998.	44
Ilustración 37: Hospital Miguel H. Alcívar, después del terremoto del 4 de agosto de 1998.....	44
Ilustración 38: Hospital Miguel H. Alcívar, fallo en columnas perimetrales de planta baja, después del terremoto del 4 de agosto de 1998.	45
Ilustración 39: Parámetros del terremoto del 16 de abril del 2016	46
Ilustración 40: Mapa de intensidades en la escala EMS-98 causadas por el terremoto en el territorio ecuatoriano. Se indican además las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades.	48
Ilustración 41: Resultado del estudio de la afectación del terremoto en las edificaciones de Bahía de Caráquez.....	51
Ilustración 42: Mapa de semaforización de las edificaciones en Bahía de Caráquez. Impacto del terremoto del 16 de abril del 2016.	52

Ilustración 43: Vista lateral del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	53
Ilustración 44: Vista lateral del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	53
Ilustración 45: Vista frontal del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	54
Ilustración 46: Daños en mampostería en el Edificio Akuaba después del terremoto del 16 de abril del 2016.	55
Ilustración 47: Daños en mampostería en el Edificio Akuaba después del terremoto del 16 de abril del 2016.	55
Ilustración 48: Vista frontal del Edificio Akuaba, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	56
Ilustración 50: Vista lateral del Edificio Torre Molino, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	57
Ilustración 51: Vista lateral del Edificio Torre Molino, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	58
Ilustración 52: Entrada principal del Edificio Torre Molino.	58
Ilustración 53: Daños en mampostería en el Edificio Cariló después del terremoto del 16 de abril del 2016.	59
Ilustración 54: Vista lateral del Edificio Cariló, reparado del terremoto del 16 de abril del 2016.	59
Ilustración 55: Entrada principal antes de la reparación del Edificio Cariló.	60
Ilustración 56: Entrada principal después de la reparación del Edificio Cariló.	60
Ilustración 57: Vista frontal del Edificio Cariló después del terremoto del 16 de abril del 2016.	61
Ilustración 58: Vista lateral del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	62
Ilustración 59: Vista frontal del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.	62

Ilustración 60: Vista posterior del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.....	63
Ilustración 61: Vista frontal del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.....	63
Ilustración 62: Vista lateral del Hotel Ocean Bay Towers después del terremoto del 2016.....	64
Ilustración 63: Vista frontal del Hotel Patricio´s después del terremoto del 2016. ...	64
Ilustración 64: Vista lateral del Hotel Patricio´s después del terremoto del 2016.	65
Ilustración 65: Edificio Bahía de Caráquez luego del terremoto del 2016.	65
Ilustración 66: Vista lateral del Edificio Bahía actualmente.....	66
Ilustración 67: Vista lateral del edificio Bahía de Caráquez actualmente.	66
Ilustración 68: Notación de los resultados para un experimento de bloques aleatorizados.....	72
Ilustración 69: Fórmulas para cálculos en el diseño de Bloques aleatorizados.	74
Ilustración 70: Análisis de Variancia para un diseño de bloques aleatorizado	75

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se realizó una revisión de la influencia que tuvo el sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016. Se pudo obtener información sobre daños en los edificios de Bahía de Caráquez durante los sismos del 4 de agosto de 1998 y 16 de abril de 2016. Mediante la investigación realizada se determinó que la muestra estuvo constituida por todos los edificios en hormigón armado de Bahía de Caráquez que sufrieron algún daño o efecto adverso durante uno o dos de los sismos referidos. La recopilación de la información se dio mediante la exploración en campo y lo expuesto en diarios, publicaciones técnicas, tesis de grado y trabajos de titulación. Se determinó el tipo y grado de daño experimentado en ambos sismos por los edificios que sufrieron tanto el evento de 1998 como el de 2016. Se separó este grupo en dos subgrupos, de acuerdo a si fueron objeto o no de reforzamiento estructural post-terremoto. Se determinó el tipo y grado de daño experimentado durante el sismo de 2016 por aquellos edificios construidos después del evento de 1998. Posteriormente se determinó, usando técnicas estadísticas, si las diferencias en grado de daño de los dos grupos de edificios son o no significativos.

Palabras claves: Eventos sísmicos, análisis estadístico, tipo de suelo, problemas estructurales, procesos constructivos, peligro sísmico.

ABSTRACT

In this degree work, a review was made of the influence that the 1998 earthquake had on the behavior of the buildings in Bahía de Caráquez in the 2016 earthquake. Information about damage to the buildings in Bahía de Caráquez was obtained during the earthquakes of August 4, 1998, and April 16, 2016. Through the investigation carried out, it was determined that the sample consisted of all the reinforced concrete buildings in Bahía de Caráquez that suffered some damage or adverse effect during one or two of the referred earthquakes. The compilation of the information took place through field exploration and what was exposed in newspapers, technical publications, degree thesis and degree work. The type and degree of damage experienced in both earthquakes by the buildings that suffered both the 1998 and 2016 events were determined. This group was separated into two sub-groups, according to whether or not they were subjected to post-structural reinforcement. earthquake. The type and degree of damage experienced during the 2016 earthquake by those buildings built after the 1998 event was determined. Subsequently, it was determined, using statistical techniques, if the differences in the degree of damage of the two groups of buildings are significant or not.

Keywords: Seismic events, statistical analysis, soil type, structural problems, construction processes, seismic hazard

INTRODUCCIÓN

El peligro sísmico en Ecuador se rige principalmente por dos fuentes las cuales son: subducción y las de tipo corticales o superficiales. En Ecuador, la causa más común de los terremotos son los procesos tectónicos de las amplias zonas de subducción a lo largo de las costas del Océano Pacífico. Ecuador es un país alto en actividad sísmica, por lo tanto, es una zona geológicamente muy dinámica debido a que se encuentra ubicado en el cinturón de Fuego del Pacífico. Las regiones que están ubicadas en el cinturón de Fuego del Pacífico son más susceptibles de experimentar efectos por terremotos y erupciones volcánicas. En la historia del Ecuador han ocurrido varios sismos de magnitud alta, los cuales han representado invaluable pérdidas económicas y dolorosas pérdidas humanas. En este trabajo de titulación se tratarán los dos últimos sismos más importantes que ha sufrido Bahía de Caráquez, los eventos del 4 de agosto de 1998 y del 16 de abril del 2016.

El 4 de agosto de 1998 a las 13:59 pm se registró un sismo frente a la ciudad de Bahía de Caráquez el cual alcanzó una magnitud de 7,1 en la escala de Richter, su epicentro fue en el poblado de Canoa. El terremoto que ocurrió en Bahía dejó a la ciudad sumergida en pérdidas económicas debido al colapso de algunas edificaciones, el 10% de las edificaciones de hormigón armado tuvieron daños importantes y en las zonas suburbanas el 50% de las estructuras presentaron daños graves. El sector turístico de la ciudad de Bahía fue el más afectado ya que la mayoría de los hoteles estaban inhabilitados y por ende los turistas no podían visitar la ciudad, además del miedo que sentía la ciudadanía con respecto a la ciudad de Bahía de Caráquez.

En Ecuador, el día 16 de abril del 2016 a las 18:58 pm ocurrió un sismo que tuvo una magnitud de 7,8 en la escala de Richter, su epicentro fue el noroeste de Ecuador. Las provincias más afectadas por este evento sísmico fueron Esmeraldas, Manabí, Guayas, Santa Elena, Santo Domingo y Los Ríos, estas provincias fueron declaradas en estado de emergencia. Este evento sísmico fue considerado como el sismo más

destrutivo en los últimos 67 años ya que causó la pérdida de 663 personas, pérdidas económicas, sociales y gran afectación en el medio ambiente.

Antecedentes:

La ciudad de Bahía de Caráquez (Manabí) ha experimentado sismos importantes en varias ocasiones durante los siglos XX y XXI. Los eventos de 1942, 1956, 1964, 1998 y 2016, causaron daños desde leves a graves (incluyendo el colapso) en los edificios de la ciudad.

En particular, el terremoto del 4 de agosto de 1998 causó daños de importancia en varios edificios de altura en hormigón armado, que incluyó el colapso total del edificio Calypso y daños de consideración en el Hospital Miguel H. Alcívar, edificio de la CFN y varios otros condominios y hoteles, así como varios edificios de servicio público (Municipio, Cuartel de Bomberos, IETEL, etc..).

Con excepción del Calypso y el Cabo Coral, según la información disponible, esos edificios fueron puestos nuevamente en servicio mediante diversos procedimientos, que incluyeron el sellado de fisuras o grietas, la demolición parcial y el reforzamiento estructural. No obstante, se puede hipotizar que dichas estructuras resultaron con esfuerzos y deformaciones residuales después del evento de 1998.

La lista de los edificios de Bahía de Caráquez que fueron afectados por el terremoto del 4 de agosto de 1998 y que se incluirán en el estudio es la siguiente:

- Edificio El Vigía.
- Edificio Las Brisas.
- Edificio Horizonte.
- Edificio Dos Hemisferios.
- Edificio Cabo Coral.
- Iglesia María Auxiliadora.
- Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro.
- Edificio Marun Jalil.
- Edificio Torre Mar.

- Edificio El Delfín.
- Edificio El Almirante.
- Edificio Punta Norte.
- Edificio Neptuno.
- Edificio Mikonos.
- Edificio Vista Mar.
- Edificio El Pirata.
- Edificio Salango.
- Edificio Nautilus.
- Edificio Banco Nacional de Fomento.
- Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre.
- Edificio El Centinela.
- Hotel Italia.
- Hotel El Portal.
- Edificio Karina.
- Edificio Las Gaviotas.
- Edificio Los Corales.
- Colegio La Inmaculada.
- Cuerpo de Bomberos.
- Edificio Spondylus.
- Edificio en esquina Av. Riofrio y Salinas.
- Hospital Miguel H. Alcívar

La denominación de los edificios es la que tenían durante el terremoto del 4 de agosto de 1998.

Fue notorio que esos mismos edificios resultaron entre los que mayor daño experimentaron en el terremoto del 16 de abril de 2016, siendo demolidos varios de ellos.

No existe un estudio sobre los métodos de recuperación usados en los edificios de Bahía de Caráquez después de los sismos de 1998 y 2016, ni de la influencia que los daños sufridos por dichos edificios en 1998 tuvieron en el comportamiento de los mismos en el año 2016.

Tampoco existe un estudio comparativo del comportamiento en el sismo de 2016 de los edificios que ya existían en 1998, versus el de aquellos construidos después de ese año.

Objetivos

- Determinar los casos de edificios de Bahía de Caráquez, que existían durante el terremoto de 1998 y de 2016; y que sufrieron algún grado de daño en ambos sismos.
- Determinar los casos de edificios de Bahía de Caráquez, que fueron construidos después del sismo del 4 de agosto de 1998 y que sufrieron algún grado de daño en el sismo del año 2016.
- Determinar diferencias entre los daños sufridos por los edificios del primer y segundo grupo, a fin de determinar estadísticamente la influencia de los daños sufridos por esos edificios durante el evento de 1998, en los daños observados por los mismos en el sismo del año 2016.

Metodología:

Se obtendrá la información sobre daños en edificios de Bahía de Caráquez durante los sismos del 4 de agosto de 1998 y 16 de abril de 2016, que apareció en diarios, publicaciones técnicas, tesis de grado y trabajos de titulación.

Se espera que la muestra esté constituida por todos los edificios en hormigón armado de Bahía de Caráquez que hayan sufrido algún daño o efecto adverso durante uno o dos de los sismos referidos.

Se determinará el tipo y grado de daño experimentado en ambos sismos por los edificios que sufrieron tanto el evento de 1998 como el de 2016 (Grupo No 1). Se separará este grupo en dos sub-grupos, de acuerdo a si fueron objeto o no de reforzamiento estructural post-terremoto.

Se determinará el tipo y grado de daño experimentado durante el sismo de 2016 por aquellos edificios construidos después del evento de 1998 (Grupo No 2).

Se determinará, usando técnicas estadísticas, si las diferencias en grado de daño de los dos grupos de edificios, son o no significativos.

Se finalizará precisando si el sismo del 4 de agosto de 1998 tuvo influencia en el comportamiento de los edificios de hormigón armado de Bahía de Caráquez durante el sismo del 16 de abril de 2016.

CAPITULO I

1.1. Bahía de Caráquez

La ciudad de Bahía de Caráquez pertenece al cantón Sucre el cual está situado al norte de la provincia de Manabí, en la desembocadura del río Chone. Bahía de Caráquez es considerada la octava urbe más grande y poblada de Manabí. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, tiene una población estimada de 51.159 habitantes. Se encuentra en una zona costera tropical y cuenta con un clima subtropical seco y húmedo. Tiene dos estaciones las cuales son verano e invierno, el invierno inicia en diciembre y finaliza en mayo, en estos meses el clima es caluroso debido a la corriente del Niño, el verano inicia en el mes de junio hasta diciembre y el clima es menos caluroso debido a la corriente fría de Humboldt. En la Ilustración 1 se muestra la ubicación geográfica de Bahía de Caráquez.

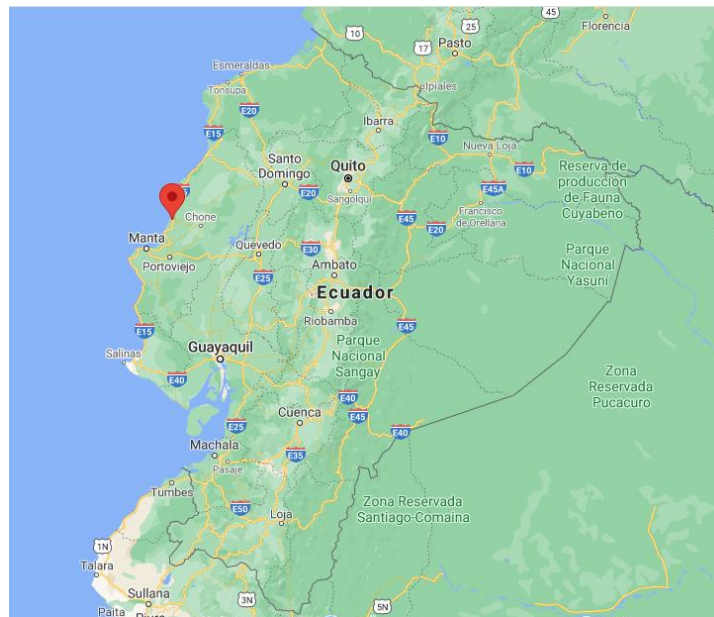


Ilustración 1: Ubicación geográfica de Bahía de Caráquez

Fuente: Google Maps

Fue fundada en 1624 con el nombre “San Antonio de las Caracas”, pero era conocida como Caralozbez, así la llamaban los nativos de esa época. Bahía de Caráquez se encuentra con dirección norte-noroeste y está constituida por suelos de reciente

deposición, se ha visto inmersa en grandes cambios que han impactado en la línea de la costa. Las zonas urbanizadas van desde el extremo norte hacia el suroeste, en este punto las cotas son más elevadas. (Yepes, y otros, 1998). En 1995 recibió la denominación de “ciudad patrimonial” gracias a los bienes históricos, arquitectónicos y culturales que posee la ciudad.

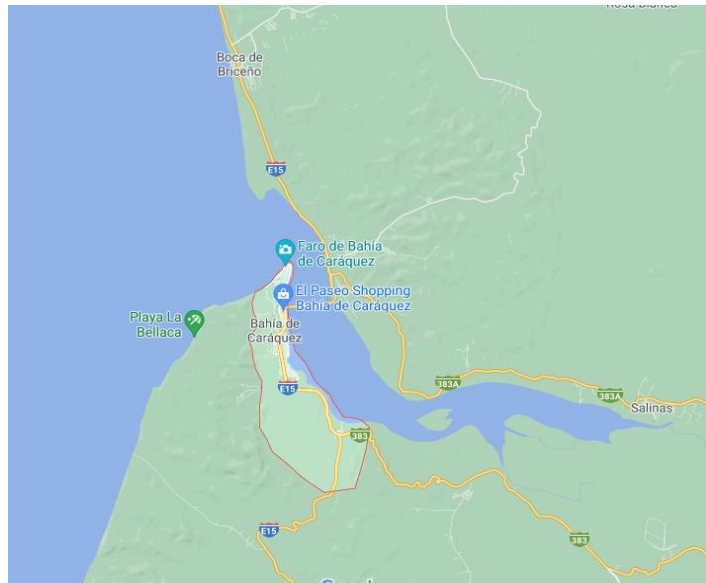


Ilustración 2: ubicación geográfica de Bahía de Caráquez

Fuente: Google Maps

En la ciudad se desarrollan constantemente proyectos que buscan cuidar el medio ambiente y para la conservación de la flora y fauna, desde el 23 de febrero de 1999 fue declarada ecociudad. Los proyectos ecológicos que se desarrollan son la separación de la basura, reserva de vegetación de bosque seco, el reciclaje del papel, la reforestación de los manglares y los taxis ecológicos. Bahía de Caráquez posee varias características que hacen que sea considerada una hermosa ciudad llena de atractivos turísticos.

Las actividades productivas se basan en la agricultura, turismo, pesca, ganadería, acuicultura y la artesanía, las personas dedicadas a la artesanía trabajan joyas con corales y conchas las cuales son muy cotizadas. La ciudad cuenta con varios lugares turísticos que atraen a las personas y por esto una de las actividades productivas más

importantes es el turismo. Los lugares turísticos más visitados son: El faro, mirador La Cruz, Bosque Seco, puente Los Caras y sus playas además que cuentan con lugares comerciales donde se puede consumir la gastronomía típica de la ciudad y así mismo la artesanía. Pese a todas las riquezas que posee la ciudad, ha sido afectada por los fenómenos naturales ocurridos en Ecuador, lo cual ha significado una gran pérdida económica y la migración de varios habitantes hacia otras partes del Ecuador.



Ilustración 3: La ciudad de Bahía de Caráquez

Fuente: Diario El Universo (Diario El Universo, 2019)

1.2.Sismo de bahía de Caráquez. 4 de agosto de 1998

El 4 de agosto de 1998 dos sismos que tuvieron epicentro en el mar, a pocos kilómetros de la ciudad de Bahía de Caráquez, en la provincia de Manabí, dejaron severamente afectada la zona costera central del Ecuador. A las 12:35 (tiempo local) se registró el primer sismo de una magnitud de 5.7 grados en la escala de Richter que causó varios daños y alarma pública, posteriormente a las 13:59 (tiempo local) ocurrió un segundo sismo con características de terremoto, este en cambio de 7.1 grados a una profundidad de 39 kilómetros y con intensidad de VII en la escala modificada de Mercalli, su duración fue de 11 segundos. (IG-EPN , 2011). El movimiento telúrico fue localizado a 190 km. al Norte de Guayaquil, a 220 km. al

Oeste de Quito y a 55 km. al norte de Portoviejo. Los datos obtenidos por algunos centros de investigación sismológica son mostrados en la tabla 1.

AGENCIA	TIEMPO ORIGEN [hh:mm:ss]	LATITUD [°S]	LONGITUD [°W]	PROFUNDIDAD [km]
IG-EPN	18:59:17.87	0.547	80.534	39
NEIC	18:59:18.20	0.551	80.411	19
BERKELEY	18:59:20.10	0.593	80.393	33

Tabla 1: Localización epicentral según agencias internacionales

Fuente: El terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de agosto de 1998

Las ciudades y poblados más afectados fueron Portoviejo, Manta, Jama, Canoa, San Vicente, Bahía de Caráquez, siendo esta última la más afectada junto con la población de Canoa. Los reportes finales del evento mostraron varias personas heridas, tres fallecidos, más de doscientos edificios y viviendas destruidas, además de carreteras muy afectadas. Debido al temblor casi toda la provincia de Manabí quedó incomunicada por vía telefónica, principalmente la zona de Bahía de Caráquez y Portoviejo que también se enfrentaron al corte de la energía eléctrica. Las radios locales tampoco podían informar puesto que, al dañarse las repetidoras, no podían transmitir. (El Telégrafo, 1998)

Es preciso mencionar que en ese año la provincia de Manabí ya había sido golpeada por la naturaleza; el estado de las carreteras, los taludes y los servicios públicos en general eran inestables y precarios por los efectos ocasionados por el fenómeno de El Niño. Horas después del terremoto, quien en esa época ocupaba el cargo de Director de la Defensa Civil declaró alerta amarilla en las provincias de Manabí, Guayas y Esmeraldas, mientras que el presidente interino Fabián Alarcón declaró a Bahía de Caráquez zona de desastre. (Diario El Universo, 1998)

El terremoto fue percibido en casi todo el Ecuador y ciertas poblaciones ubicadas en el sur de Colombia. Se registraron alrededor de 200 réplicas hasta el fin de año, la mayor de las cuales tuvo una magnitud de 5.0 en la escala absoluta de Richter. Según la Red Nacional de Sismógrafos (RNS) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), el epicentro fue localizado en la latitud 0.5471°S , Longitud 80.5341°W , con una profundidad focal de 39 km. (Yepes, y otros, 1998). La localización epicentral según el Servicio Geológico de los Estados Unidos se muestra en la Ilustración 4.



Ilustración 4: Localización epicentral según agencia internacional

Fuente: (United States Geological Survey, 1998)

1.3. Asignación de intensidades

Debido al terremoto del 4 de agosto de 1998 la provincia de Manabí fue la más afectada. Se presentaron varios daños, pero los más graves fueron en Bahía de Caráquez, San Vicente y Canoa. Otras ciudades resultaron afectadas en menor proporción como Tosagua, Jama, Jipijapa, Portoviejo, Manta, Crucita, Chone, entre otras. En las provincias de Esmeraldas, Guayas, Bolívar y Chimborazo se presentaron daños menores en localidades específicas. En Bahía de Caráquez no solo se presentaron daños en las construcciones populares, pues los edificios modernos y caros de la ciudad tuvieron daños considerables.

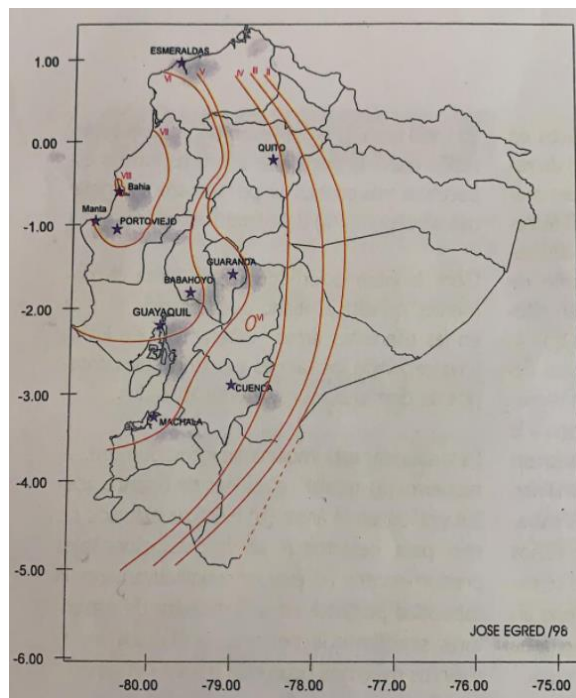


Ilustración 5: Mapa de Isosistas elaborado en base a intensidades asignadas en diferentes localidades del país

Fuente: El Terremoto de Bahía de Caráquez - Ecuador

En la ciudad de Bahía Caráquez todos los edificios estaban cuarteados en especial un edificio de 6 plantas (Calypso) que se derrumbó como castillo de naipes según los habitantes del sector, el edificio se encontraba deshabilitado por lo que no ocasionó pérdidas humanas. En Manta, algunas paredes y balcones de edificios se vinieron al suelo, el edificio Filanbanco sufrió daños en su estructura, dos ventanales cayeron al suelo y en el barrio Los Esteros se cayeron seis columnas de alumbrado público ocasionando pánico debido a que tenían temor de que suceda un tsunami o maremoto. (Expreso, 1998)

En Portoviejo, se presentaron daños considerables ya que algunos edificios resultaron con cuarteaduras como el Banco Continental, La Previsora, la Mutualista Manabí y varios locales comerciales sufrieron grandes pérdidas económicas ya que la mercancía se destruyó al caer al suelo. En otras provincias del Ecuador como Loja, Chimborazo, El Oro, Cotopaxi, Los Ríos y Ambato no sufrieron daños materiales, la

ciudadanía salió a las calles a buscar un refugio debido al pánico. En Esmeraldas hubo varias casas desplomadas en los cerros y barrios más pobres y edificaciones cuarteadas en el centro de la ciudad. (Expreso, 1998)

La gran mayoría de construcciones en la provincia de Manabí tipo viviendas y pequeños negocios, han sido construidas de manera artesanal. Estas construcciones por lo general son de uno o dos pisos y pocas hasta de tres pisos. La mayoría de las edificaciones son de tipo mixto, es decir, constan de una estructura de madera rellena con mampostería de ladrillos de aproximadamente diez centímetros de espesor, por lo que las paredes son inestables y delgadas. Las casas antiguas tienen paredes esbeltas con alturas de tres metros, con el fin de tener una mejor ventilación, su acoplamiento con la estructura es débil. Hay pocas estructuras con columnas de concreto, bloque de cemento o ladrillo y mampostería. Generalmente la mayoría de los pisos y tumbados son de madera, asentadas sobre vigas con espesor variable del mismo material. Las cubiertas por lo general son de cinc corrugado o de planchas de asbesto-cemento. Todas estas características las hacen vulnerables a los movimientos sísmicos, más aún por la calidad de los materiales y el deterioro de los mismos, en especial la madera. (Yepes, y otros, 1998).

Los daños más comunes que se dan en este tipo de estructuras son la caída parcial o total de paredes, tanto interiores como exteriores. Aquellas paredes que no colapsaron quedaron considerablemente afectadas por cuarteamientos severos por lo cual obligan al derrocamiento. En viviendas que han sido construidas con materiales de buena calidad, se presentaron muchos casos de fallas en los pilares de madera que sostienen el armazón. Las construcciones que constan de estructuras de concreto y mampostería de bloque de cemento o de ladrillo, no presentaron daños considerables solo paredes fisuradas.

1.4. Condiciones geotécnicas y de suelos de bahía de Caráquez

La cordillera costera que atraviesa esta región presenta terrenos con elevaciones que varían entre los 200 a 600 metros de altura, formadas por alrededor de un noventa

por ciento por rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias, con una estratigrafía indefinida, poco consolidadas y de aspecto fragmentado en las capas aflorantes por efecto de la actividad antrópica. Los principales tipos de rocas que conforman dicho territorio son: areniscas pobremente cementadas, lutitas, lutitas arcillosas, limolitas tobáceas, y en pocos sectores rocas ígneas-basálticas. (Freire & Lara Salazar, 2018).

Utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, los suelos más comunes en la provincia de Manabí son de tres diferentes tipos: arcillas inorgánicas de alta plasticidad, expansivas elásticas (CH); arenas muy finas y limos inorgánicos de baja plasticidad (ML); limos inorgánicos mezcla de limo, arcilla y arenas finas (MH). Las tres tipologías más el estado de saturación de agua del terreno por las lluvias de los días anteriores al terremoto, colaboraron a amplificar la magnitud de las ondas sísmicas y a causar el fenómeno de licuefacción en Manta, Canoa, Pedernales, Portoviejo, Bahía de Caráquez y más poblaciones de Manabí y Esmeraldas, como San José de Cachama y Muisne. (Grupo El Comercio, 2016)

Los efectos en el ámbito geotécnico tanto en cimentaciones como en superficies libres fueron evidentes frente al sismo ocurrido el 4 de agosto de 1998. Bahía de Caráquez se ubica en la parte central de la costa ecuatoriana, en la región noroccidental de la Provincia de Manabí. La geología del área se muestra en la ilustración 6, con su respectiva leyenda en la ilustración 7, ambas obtenidas de la hoja geológica de Bahía de Caráquez, publicada por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador.



Ilustración 6: Geología del área de Bahía de Caraquez

Fuente: (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 1980)

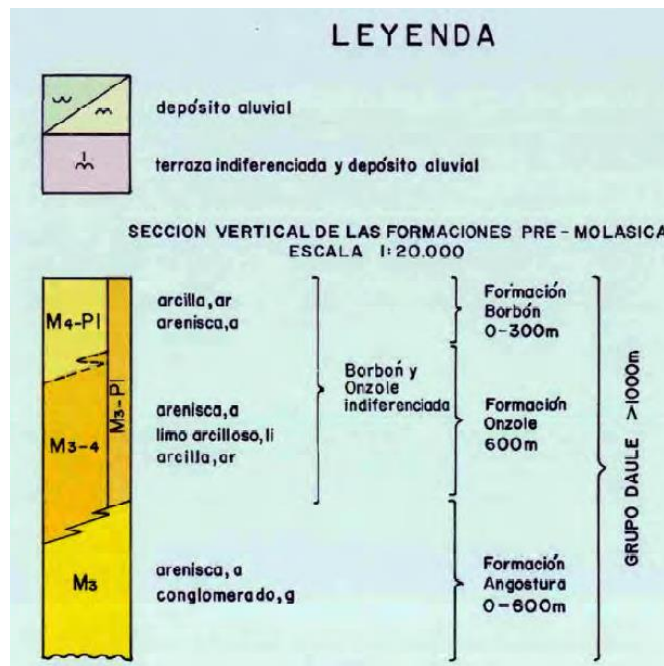


Ilustración 7: Sección vertical de las formaciones pre-molasica

Fuente: (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 1980)

Como se muestra en la ilustración 7 que trata sobre la sección vertical de las formaciones pre-molasica, el área la conforman rocas sedimentarias del terciario del grupo Daule, este grupo se subdivide en tres diferentes miembros; la formación

Borbón (Mioceno superior-Plioceno) formada por arcillas y areniscas; la formación Onzole (Mioceno medio-superior) constituida por limolitas laminadas con horizontes superiores bastante arenosos y arcillas; y la formación Angostura (Mioceno medio) consistente de areniscas y conglomerados. El cuaternario está conformado por depósitos aluviales y terrazas indiferenciadas.

Bahía de Caráquez está asentada sobre sedimentos aluviales y marinos, con espesores variados, correspondientes a la formación Borbón, compuesta principalmente de areniscas masivas (Reyes, 2013). Existen áreas donde se encuentran depósitos de arena media fina saturada sobre una base rígida conformada por una lutita gris verdosa, perteneciente a la Formación Onzole. Hacia el sur, existen depósitos cuaternarios y en la zona Norte se han realizado rellenos ganados al mar mediante la colocación de arena limosa en diferentes espesores.

En base a sondajes con ensayos de penetración estándar presentados por Bohórquez en 1995, se logró caracterizar geotécnicamente el subsuelo de Bahía. Se realizó sondajes para los estudios de los suelos de los edificios Bahía Blanca, Torre Marina y Calypso que terminó finalmente colapsado. Bohórquez también presentó información sobre valores de la velocidad de propagación de las ondas de corte en los sitios investigados, en los primeros diez metros de profundidad varían entre 145 y 213 m/s. También en dicho estudio se determinó, en base a distintas metodologías, que existía la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción de suelos.

Bahía de Caráquez se asienta sobre depósitos de arena fina limosa, en estado de saturación, que en la superficie se la encuentra suelta, pero conforme avanza en profundidad su compacidad va aumentando. La mayoría de las estructuras de los edificios se asientan sobre zapatas combinadas (en una o en dos direcciones), zapatas aisladas o losas de cimentación, todas estas clases de cimentación se encuentran en el grupo de cimentaciones superficiales. En la mayor parte de la ciudad, el nivel freático se localiza entre -1.80 y -2.30 metros y los niveles de las cimentaciones varían entre 0.90 y 3.70 metros.

CAPÍTULO II

2.1. Daños presentados en las edificaciones de Bahía de Caráquez después del sismo del 4 de agosto de 1998.

La Escuela Politécnica Nacional (1999), con el fin de calificar de manera subjetiva la intensidad de los daños de las edificaciones inspeccionadas en Bahía de Caráquez, determinó cuatro grados de daño cuya descripción es la siguiente:

Grado 0: No hay daños visibles; daños menores en la tabiquería y fisuración incipiente.

Grado 1: Daños generalizados en la tabiquería, desprendimiento y/o caída de trozos de paredes.

Grado 2: Algunos daños estructurales, volcamiento o grandes roturas en paredes divisorias. Destrucción de tabiquería.

Grado 3: Edificios colapsados. Daños importantes en los elementos estructurales que necesitan reparaciones y eventualmente su demolición.

La distribución de los grados de daño en 31 edificios de bahía de Caráquez que se presentan en esta sección están basadas en el anexo documental No.1 del informe técnico realizado por la Escuela Politécnica Nacional, CERESIS y UNESCO. Los 31 casos se los clasificó según el área en donde se encontraban y el grado de daño que sufrieron como se muestra en la tabla 2:

DISTRIBUCION DE GRADOS DE DAÑO EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y MAMPOSTERIA EN EL AREA DE BAHIA					
AREA	GRADO DE DAÑO				TOTAL
	0	1	2	3	
NE	2	2	10	5	19
SW	5	1	1	0	7
CENTRO	2	0	1	2	5
TOTAL	9	3	12	7	31

Tabla 2: Distribución de grados de daño en edificaciones de hormigón armado y mampostería en el área de Bahía de Caráquez

Fuente: El terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.2.Aspectos Estructurales

En Bahía de Caráquez se identificaron de 40 a 50 edificaciones de hormigón armado, construidas en los últimos 40 a 45 años. La tabla 3 muestra la distribución de 31 edificaciones inspeccionadas, separadas por alturas y tomando en consideración las tres zonas en las que se dividió el área urbana de Bahía. En la tabla mostrada a continuación, pent-house, sótanos y planta baja son considerados en los niveles de las edificaciones.

NUMERO DE EDIFICACIONES		ZONAS URBANAS DE BAHIA		
# DE PLANTAS	TOTAL	NE	SW	CENTRO
> 6	22	15	7	-
5 - 4	6	2	-	4
< 4	3	2	-	1
TOTAL	31	19	7	5

Tabla 3: Distribución de edificaciones inspeccionadas según número de niveles y zonas urbanas de Bahía

Fuente: El terremoto de Bahía de Caráquez – Ecuador. 4 de agosto de 1998

En esta sección, las observaciones que se presentan están basadas en el Anexo Documental No. 1, el cuál recopila los resultados de visitas de inspección realizadas los días 16, 17 y 18 de agosto en el área de Bahía de Caráquez por la Misión CERESIS. También se complementó con sugerencias y adiciones por parte de los docentes de la Escuela Politécnica Nacional, quienes empezaron los trabajos de campo los días posteriores al terremoto.

- i) La habitual fisuración de vigas y losas, así como los daños en tabiquerías, paredes interiores y exteriores, revelan flexibilidad excesiva en una buena parte de las estructuras soportantes.

- ii) La observación anteriormente mencionada tiene como agravante la debilidad de la tabiquería, en especial la que está conformada por bloques huecos hechos de un material muy parecido a la piedra pómez y su falta de vinculación a la estructura.
- iii) La disposición de tabiques de fachada no enmarcados por la estructura, apoyados en voladizos, sin elementos de fijación, es una grave amenaza debido al desprendimiento y caída libre de trozos de mampostería desde alturas considerables y ha ocasionado costosos daños.
- iv) En relación a los materiales utilizados, en el caso del hormigón, no se dispone de resultados de ensayos de compresión, pero si se ha comprobado defectos en su ejecución; en varias columnas se ha podido detectar focos avanzados de corrosión, que muy probablemente hayan comenzado por el uso indebido de arenas con cantidades inadmisibles de cloruros.
- v) En algunos casos constatados, la separación de estribos resulta inapropiado para lograr el confinamiento del hormigón y evitar el pandeo por compresión de la armadura principal.
- vi) En general, la frecuente disposición de piscinas en el primer nivel o en planta baja, no parecer haber influenciado en los daños constatados.
- vii) De acuerdo a información recaudada, en el caso particular del edificio Calipso, que terminó colapsado en su totalidad, parece ser que, de las tres columnas existentes en la fachada norte, la altura libre de las dos columnas adyacentes a la piscina difería sustancialmente de la tercera. Esto se pudo concluir ya que, el estado final de la edificación es compatible con la falla de las dos columnas más cortas.

- viii) Las edificaciones esquineras con pocas aberturas y con sus fachadas no visibles ciegas, han sufrido daños debido a excentricidades entre los centros de rigidez y los centros de masa. Por lo menos dos casos, el adosamiento de edificaciones de menor altura impidió la rotación en los niveles inferiores, esto trasladó los efectos desfavorables a los pisos superiores.
- ix) El empleo de grandes espesores de embonados y de recubrimientos incrementa de manera innecesaria la carga permanente y esto aumentó los daños no estructurales debido a la fragilidad de estos materiales, los cuales fueron aplicados probablemente por razones estéticas.
- x) Se produjeron colapsos parciales debido a las reducciones o cambios bruscos de rigideces en los pisos superiores, a causa de la respuesta dinámica de estructuras.

2.3. Características de las construcciones en la zona afectada

La zona epicentral tiene una distribución urbana que se clasifica en tres sectores. El primer sector está conformado por la punta norte y los alrededores de la avenida Virgilio Ratti, en este sector la mayoría de los edificios altos son de hormigón armado los cuales son usados como departamentos.

El segundo sector es el central, aquí se ubican las viviendas y pequeños negocios que constan de uno, dos y hasta tres pisos los cuales están construidos de una manera artesanal y poco segura por lo cual denotan antigüedad tanto en técnica y en la calidad de los materiales que se han utilizado para su construcción. Las viviendas de este sector tienen una característica similar, todas tienen portales hacia la calle. Las edificaciones de este sector tienen un estilo de tipo mixto, el cual consiste en una estructura de madera rellena con mampostería de ladrillos de aproximadamente diez centímetros de espesor, las paredes resultan muy delgadas. Otras viviendas tienen paredes de madera o de caña aplanada que puede ser con o sin recubrimiento. Las casas antiguas tienen paredes de por lo menos tres metros de altura, esto se da

con el objetivo de tener una mejor ventilación. En un bajo porcentaje se encuentran las estructuras con columnas de hormigón, bloques de cemento o ladrillos y mampostería de los materiales mencionados.

Los pisos y tumbados son de madera, generalmente de duelas, son colocadas sobre vigas de madera con un espesor variable de acuerdo con la dimensión de las habitaciones. En la gran mayoría las cubiertas son de cinc corrugado y en menor proporción son de planchas de asbesto-cemento.

El tercer sector está conformado por la zona suburbana de la ciudad, donde se pueden observar construcciones con materiales como la caña de guadua, madera y cubiertas de cinc, estos materiales son de baja resistencia. La zona suburbana se encuentra ubicada en las estribaciones del cerro de la cruz.

2.3.1. Problemas estructurales en las edificaciones en Bahía de Caráquez

Los problemas que se encontraron en las visitas de campo realizadas diez años después, así también como las realizadas por equipos de evaluación post-terremoto, demuestran que la concepción arquitectónica todavía se mantiene, lo que podría ocasionar el mismo efecto ante futuros sismos de gran magnitud. En esta sección se hará referencia a las fallencias que se encontraron en la mayoría de las edificaciones en la ciudad de Bahía de Caráquez.

2.3.1.1. Irregularidad en planta y en elevación

La irregularidad arquitectónica predomina en edificaciones de gran tamaño y son en estas edificaciones donde los efectos son más perjudiciales. La particularidad de formas tanto en elevación como en planta hace que el comportamiento dinámico de la estructura se vea influenciado y ocurran efectos perjudiciales como la torsión, que puede producir fallas frágiles en los miembros por cortante. Como se muestra en la ilustración 8, en la punta norte de la ciudad, en los terrenos ganados al mar, se puede observar que el aspecto estético se impone frente a las recomendaciones de los códigos de la construcción. (Singaucho Armas, 2009).



Ilustración 8: Irregularidades arquitectónicas. A la derecha el Edificio El Almirante (irregularidad en planta), a la izquierda Edificio sin nombre (Irregularidad en elevación)

Fuente: (Singaicho Armas, 2009)

2.3.1.2. Pisos blandos y flexibilidad de la estructura

Este fue uno de los problemas que más se encontró en las edificaciones. Como Bahía de Caráquez es una ciudad turística con varios edificios altos que principalmente son utilizados para departamentos, en aquellos edificios por lo general los estacionamientos se ubican en la planta baja y en el nivel siguiente se encuentra una planta destinada a piscinas, dejando grandes alturas de entrepiso; los pisos superiores están cubiertos de mampostería confinada que rigidiza sustancialmente la estructura. En varios edificios predomina la estética sobre el aspecto estructural, siendo las paredes continuas en elevación, un piso presenta discontinuidad produciendo cambio de rigidez en el edificio y concentración de esfuerzos en la zona discontinua. También se puede observar el mismo problema en estructuras de menor altura, mayormente viviendas; la planta baja presenta portales a la calle y genera grandes balcones soportados por columnas esbeltas. Existen casos en el que el piso inferior se lo utiliza para comercio por lo que hay grandes vanos entre soportes de piso. (Singaicho Armas, 2009).



Ilustración 9: Pisos blandos en construcciones. A la derecha el Edificio Salango, a la izquierda el Nautilus

Fuente: (Singaicho Armas, 2009)

2.3.1.3. Concentración de masas

Este problema se encuentra fundamentalmente en los edificios de departamentos en la punta norte de la ciudad. Algunos edificios cuentan con una planta de piscina, que generalmente es en el nivel posterior al parqueadero (segunda planta), y una planta de cisterna. El efecto de concentrar las masas de manera puntual ocasiona que los modos de vibración del conjunto se vean alterados, en consecuencia, la distribución del cortante basal incrementa en cada piso. Un gran ejemplo de esta práctica es el edificio Cabo Coral, el mismo presentaba un jacuzzi en el octavo nivel y una piscina en el lado oeste del primer piso. (Singaicho Armas, 2009)



Ilustración 10: Concentración de masas en el edificio Cabo Coral. A la derecha jacuzzi en octava planta, a la izquierda piscina en la segunda planta

Fuente: (Singaicho Armas, 2009)

2.3.1.4. Procesos constructivos, calidad de materiales y mano de obra

Era innegable que las construcciones de vivienda popular, que son construidas sin ninguna dirección técnica y normalmente de manera artesanal casi en su totalidad, debían sufrir daños severos. La falta de control en los procesos constructivos conlleva a una disposición inapropiada tanto de elementos no estructurales como estructurales. Se pudo determinar que la calidad del hormigón en varios edificios construidos de hormigón armado era tan mala que éste pudo disgregarse sin resistencia alguna o sin mucha dificultad. (Varela & Aguiar, 1998). A pesar de las recomendaciones de los códigos de la construcción y de las normativas de calidad que actualmente están vigentes, se siguen ignorando condiciones sensibles y tan elementales que intervienen en el correcto desempeño de la estructura frente cargas laterales. (Singaicho Armas, 2009).

2.3.1.5. Incompatibilidad de materiales constructivos

Estos problemas se observan comúnmente en las viviendas de la zona suburbana de la ciudad de Bahía de Caráquez. La combinación de materiales frágiles y a la misma vez rígidos como el ladrillo con materiales flexibles como la madera, hace que el conjunto no sea capaz de resistir cargas externas ni distribuir adecuadamente los esfuerzos que se generan por dichas cargas. Como resultado, los elementos frágiles presentarán los mayores daños como se muestra en la ilustración 11. En la figura también se puede observar otro caso muy común en Bahía, enlucir paredes de caña con mortero de cemento produce deterioro en la caña y durante el sismo es muy común que se desprenda el enlucido. (Singaicho Armas, 2009)



Ilustración 11: Incompatibilidad de materiales en edificación de Bahía

Fuente: www.Flickr.com

2.4.Edificaciones Evaluadas

2.4.1. Nombre: Edificio El Vigía

Ubicación: Calle Salinas con circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 7 plantas + planta baja + 2 sótanos

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: Agrietamientos solo en tabiquerías y ventanas.

Intervención: Se trabajó en el reforzamiento de algunas vigas porque el tiempo las desmejoró.

2.4.2. Nombre: Edificio Las Brisas

Ubicación: Barrio “La Equitativa”

Número de pisos: 8 plantas + planta baja + 2 sótanos

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: Daños menores.

Intervención: Reparado.

2.4.3. Nombre: Edificio Horizonte

Ubicación: Calle Abdón Calderón, barrio La Equitativa.

Número de pisos: 10 plantas + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: Sin daños visibles.

Intervención: Reparado.

2.4.4. Nombre: Edificio Dos hemisferios

Ubicación: Zona SW

Número de pisos: 10 plantas + 1 pent-house

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Severo

Daños observados: Se presentaron daños en un alto porcentaje en la mampostería del segundo hasta el séptimo piso, además de fisuración de losas en dirección del armado de estas. Del octavo al décimo piso y el pent-house los daños son leves. Solo una viga de la primera planta estaba fisurada en su centro de luz.

Intervención: Reparado



Ilustración 12: Edificio Dos hemisferios luego del sismo de 1998

Fuente: (Alva Hurtado, 2018)

2.4.5. Nombre: Edificio Cabo Coral

Ubicación: Zona Noreste

Número de pisos: 9 plantas + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Daño severo en todos los niveles

Daños observados: Daños generalizados en la tabiquería interior y exterior. Vigas y losas agrietadas por la falta de resistencia a la flexión, se presentaron fisuras en losas junto a columnas con dirección paralela de armado de la losa

Intervención: Al edificio no se le hizo ninguna intervención después del sismo de 1998, la edificación no estaba operativa desde 1998, actualmente se encuentra demolida.



Ilustración 13: Edificio Cabo Coral luego del sismo de 1998

Fuente: (Alva Hurtado, 2018)

2.4.6. Nombre: Iglesia María Auxiliadora

Ubicación: Av. Bolívar con calle Mateus

Número de pisos: Planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Colapso

Daños observados: Parte del techo cayó. Base de las columnas de madera degradada por efecto de la humedad.

Intervención: Demolido



Ilustración 14: Iglesia María Auxiliadora luego del terremoto de 1998

Fuente: (Serrano, 1998)

2.4.7. Nombre: Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro

Ubicación: Av. Bolívar y calle Mateus

Número de pisos: 4 niveles + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Colapso en los dos últimos niveles.

Daños observados: Inestabilidad de los niveles 3 y 4. El mecanismo resultante en el cuerpo B, dejó las losas del cuarto nivel más al oeste que la de tercer nivel. En el cuerpo A, pareciera que las columnas de soporte del cuarto nivel punzaron sus elementos de apoyo. Daños en mampostería en el primer nivel y pocos daños en segundo y tercer nivel.

Intervención: Reparado



Ilustración 15: Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.8. Nombre: Edificio Marun Jalil

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 5 plantas + planta baja + pent house

Tipo de suelo: Tipo D

Grado de daño: Severo

Daños observados: Se presentaron daños pronunciados en la mampostería que se extendían desde la planta baja hasta el nivel 5. La marquesina del último nivel colapsó.

Intervención: Reforzado



Ilustración 16: Edificio Marun Jalil luego del terremoto de 1998

Fuente: (Guzmán, 1998)

2.4.9. Nombre: Edificio Torre Mar

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 7 niveles + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Moderado en los primeros cuatro niveles

Intervención: Reparado



Ilustración 17: Edificio Torre Mar luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.10. **Nombre: Edificio El Delfín**

Ubicación: Av. Horacio Gostalle

Número de pisos:

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Severo, necesitó reparación de columnas y suprimir el efecto de piso blando.

Daños observados: En la parte inferior de las columnas se presentaron agrietamientos y en el primer nivel fisuras de vigas. Hasta el cuarto nivel presentaban daños generalizados en la tabiquería. Agrietamiento en losas del primer y segundo nivel. Asentamientos visibles en cercanías de pórticos exteriores.

Intervención: Reparado



Ilustración 18: Edificio El Delfín luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.11. Nombre: Edificio El Almirante

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 7 niveles + planta baja + sótano

Tipo de suelo: Tipo D

Grado de daño: Severo

Daños observados: Destrucción total de gran parte de la mampostería de los cuatro niveles y decrecientes hacia los niveles superiores. En los niveles inferiores se presentaron algunas fisuras por flexión en las vigas.

Intervención: Reparado



Ilustración 19: Edificio El Almirante luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.12. Nombre: Edificio Punta Norte

Ubicación: Av. Octavio Viteri

Número de pisos: 8 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: leve

Daños observados: Daños muy limitados.

Intervención: Reparado.

2.4.13. Nombre: Edificio Neptuno

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 5 pisos + planta baja + cisterna

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: Daños en las escaleras y en la mampostería hasta el nivel 3. La mampostería es muy débil. Uno de los muros perimetrales de lindero volcó hacia el este. Puntos de corrosión avanzada en las columnas de la planta baja.

Intervención: Reparado



Ilustración 20: Edificio Neptuno luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.14. Nombre: Edificio Mikonos

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 10 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: En las plantas inferiores la tabiquería del norte y del noreste estaban muy dañadas. En las primeras cuatro plantas se presentaron fisuraciones en las losas en voladizo.

Intervención: Reparado



Ilustración 21: Edificio Mikonos luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.15. Nombre: Edificio Vista Mar

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti.

Número de pisos: 7 pisos + planta baja + sótano + cisterna

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: Daños en las vigas, en la tabiquería a nivel del sótano se presentaron grietas. En la fachada los daños fueron muy limitados.

Intervención: Reparado



Ilustración 22: Edificio Vista Mar luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.16. Nombre: Edificio El Pirata

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti Muñoz Dávila.

Número de pisos: 6 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: leve

Daños observados: En la parte exterior se visualizaron fisuras aisladas.

Intervención: Reparado.



Ilustración 23: Edificio El Pirata luego del sismo de 1998

Fuente: (Alva Hurtado, 2018)

2.4.17. Nombre: Edificio Salango

Ubicación: Calle Daniel Hidalgo con Horacio Gostalle

Número de pisos: 9 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: El edificio Salango sufrió daños importantes en su fachada y en la mampostería interior hasta el nivel nueve. Presentó pequeñas fisuras en diafragmas y columnas y mayor a nivel de losas.

Intervención: Fue reforzado estructuralmente.



Ilustración 24: Edificio Salango luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.18. Nombre: Edificio Nautilus

Ubicación: Horacio Gostalle, Circunvalación Virgilio Ratti y Cingnato Estrada.

Número de pisos: 8 pisos + planta baja + pent house

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: Se produjeron importantes daños en la tabiquería en los seis niveles inferiores. Se presentaron agrietamientos en la losa junto a las vigas de soporte de los grandes voladizos, así como también agrietamientos en losa desde los extremos de la pared de corte que se extienden hasta los márgenes opuestos de ese panel de losa.

Intervención: Reparado



Ilustración 25: Edificio Nautilus luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.19. Nombre: Edificio Banco Nacional de Fomento

Ubicación: Malecón Alberto Santos, Calle Peña y Calle Bolívar.

Número de pisos: 5 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Moderado hasta el penúltimo nivel

Daños observados: En los muros de la fachada se produjeron agrietamientos. No hubo daños estructurales.

Intervención: Reparado.



Ilustración 26: Banco Nacional de Fomento luego del sismo de 1998

Fuente: (Alva Hurtado, 2018)

2.4.20. Nombre: Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre

Ubicación: Av. Bolívar con Riofrio

Número de pisos: 3 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: En la tabiquería de la fachada de la planta baja se presentaron daños leves.

Intervención: Reparado



Ilustración 27: Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.21. Nombre: Edificio El Centinela

Ubicación: Calle Mejía con Calle Eloy Alfaro, Barrio San Roque.

Número de pisos: 6 pisos + planta baja + sótano

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Moderado

Daños observados: Caída de revocos y agrietamientos hasta el cuarto piso.

Intervención: Reparado

2.4.22. Nombre: Hotel Italia

Ubicación: Calle Checa con Av. Bolívar

Número de pisos: 3 pisos + planta baja + techo liviano en la platabanda.

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Severo

Daños observados: Las columnas periféricas sufrieron daños hacia los extremos superiores, principalmente hacia la esquina, noroeste del edificio.

Intervención: Reparado.



Ilustración 28: Hotel Italia luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.23. Nombre: Hotel El Portal

Ubicación: Calle Montufar con Calle Arenas

Número de pisos: 3 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Severo en los últimos niveles

Daños observados: Los pisos 2 y 3 presentaron daños muy visibles en la fachada.

Intervención: Reparado



Ilustración 29: Hotel El Portal luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.24. Nombre: Edificio Karina

Ubicación: Calle Alfonso Laennen con Av. Horacio Gostalle.

Número de pisos: 3 pisos + planta baja + pent house

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Severo

Daños observados: Daños generalizados, hasta en los elementos de confinamiento.

Intervención: Demolido



Ilustración 30: Edificio Karina luego del terremoto de 1998

Fuente: Aguiar (2011)

2.4.25. Nombre: Edificio Las Gaviotas

Ubicación: Av. Horacio Gostalle.

Número de pisos: 4 pisos + planta baja.

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: No se visualizaron daños desde lo exterior.

Intervención: Reparado.

2.4.26. Nombre: Edificio Los Corales

Ubicación: Av. Horacio Gostalle.

Número de pisos: 5 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Colapso

Daños observados: Las columnas de la planta baja sufrieron daños estructurales importantes. Mayoritariamente en los extremos superiores, fallas frágiles por ser columnas cortas. En los dos primeros niveles se presentaron daños considerables en la tabiquería.

Intervención: Demolido



Ilustración 31: Edificio Los Corales luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.27. Nombre: Colegio La Inmaculada

Ubicación: Av. Cecilio Intriago.

Número de pisos: 1 piso + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: En la planta baja se constató una grieta solo en una pared, en la planta alta se produjeron caídas de objetos sueltos y volcamientos de algún estante.

Intervención: Reparado.



Ilustración 32: Colegio La Inmaculada luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.28. Nombre: Cuerpo de Bomberos

Ubicación: Malecón Alberto Santos.

Número de pisos: 1 piso + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Colapso

Daños observados: El muro de la fachada colapsó ocasionando daños a uno de los carros bomba debido a su caída.

Intervención: Demolido



Ilustración 33: Cuerpo de Bomberos luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.29. Nombre: Edificio Spondylus

Ubicación: Circunvalación Virgilio Ratti con Calle Plaza Acosta. Al lado del edificio Albastro.

Número de pisos: 8 pisos + planta baja + pent house + cisterna alta.

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: severo

Daños observados: La fachada sufrió agrietamientos y desprendimientos en la mampostería. Agrietamiento en losa dirección paralela al eje 1. Focos de corrosión incipiente.

Intervención: Fue reforzado estructuralmente.



Ilustración 34: Edificio Spondylus luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.30. Nombre: Edificio en esquina Av. Riofrío y Salinas

Ubicación: Av. Riofrío con Calle Salinas.

Número de pisos: 5 pisos + planta baja

Tipo de suelo: Tipo C

Grado de daño: Leve

Daños observados: No se visualizaron daños.

Intervención: Reparado.



Ilustración 35: Edificio Av. Riofrío y Salinas luego del terremoto de 1998

Fuente: El terremoto Bahía de Caráquez- Ecuador. 4 de agosto de 1998

2.4.31. Nombre: Hospital Miguel H. Alcívar

Ubicación: Malecón Alberto F. Santos y Av. Velasco Ibarra

Número de pisos: El edificio se componía por un bloque de 5 pisos en forma de “T”. A esta estructura se le adosaban tres bloques, dos en forma de “L” de dos pisos y un bloque con forma rectangular de un solo piso a un lado de la fachada frontal.

Tipo de suelo: D

Grado de daño: Severo

Daños observados: Se produjeron daños estructurales solamente en las columnas del primer piso y planta baja donde fallaron por lo menos cuatro columnas por acción del cortante sísmico; los daños no estructurales también fueron graves en planta baja y primer piso. Hubo daños importantes en áreas de Cirugía, Neonatología, Esterilización y Hospitalización. Daños muy intensos en las áreas de Emergencia, Administración, Rayos X, Consulta Externa, Lavandería de la Planta baja y Cocina.

Intervención: Reforzado estructuralmente.



Ilustración 36: Hospital Miguel H. Alcívar, *mala práctica en la fundición de las columnas, después del terremoto del 4 de agosto de 1998.*

Fuente: (Ing. Jaime F. Argudo, 1998)



Ilustración 37: Hospital Miguel H. Alcívar, *después del terremoto del 4 de agosto de 1998.*

Fuente: (Ing. Jaime F. Argudo, 1998)



Ilustración 38: Hospital Miguel H. Alcívar, fallo en columnas perimetrales de planta baja, después del terremoto del 4 de agosto de 1998.

Fuente: (Ing. Jaime F. Argudo, 1998)

CAPÍTULO III

3.1.Sismo del 16 de abril del 2016

El sábado 16 de abril del 2016, a las 18H47 (Tiempo local), frente a las costas de Cojimíes ocurría un movimiento telúrico de magnitud Mw 4.8 que fue sentido en varias poblaciones de la costa ecuatoriana, este sismo fue tan solo un premonitor de un terremoto que ocurrió once minutos más tarde. Exactamente a las 18H58 (Tiempo local), un terremoto que alcanzó una magnitud de 7.8 en la escala de Richter sacudió la costa ecuatoriana, se originó por un fenómeno de subducción debido a la liberación de energía en la zona de contacto entre el Bloque Norandino y las placas de Nazca, cuyo epicentro se ubicó frente a las costas de Muisne y Pedernales. (IG-EPN, 2018). En la ilustración 39 se muestra los parámetros del terremoto del 16 de abril del 2016:

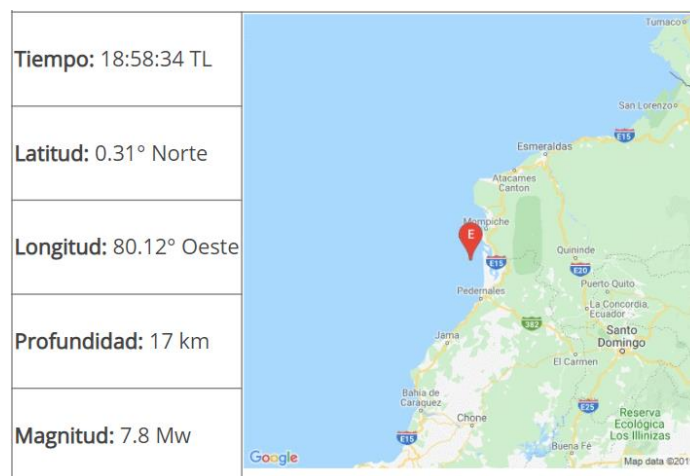


Ilustración 39: Parámetros del terremoto del 16 de abril del 2016

Fuente: (IG-EPN, 2020)

El terremoto fue sentido por todo el Ecuador y también en localidades muy alejadas como Cajamarca en Perú y Bogotá en Colombia, se convirtió en el evento más catastrófico en Ecuador en lo que va del siglo 21, tuvo una magnitud de momento Mw 7.8 y una intensidad máxima de IX en la Escala macro sísmica europea, EMS-98. El terremoto causó gran destrucción en especial en la Costa norte y centro del

Ecuador, así como también una gran cantidad de víctimas. (IG-EPN, 2020). Según los reportes finales emitidos por las autoridades, el evento causó pérdidas económicas estimadas en alrededor de tres mil millones de dólares, así mismo ocasionó que 663 personas fallecieran, 12 desaparecidas, más de 28.000 personas pierdan sus inmuebles y se queden sin hogar, miles de edificaciones destruidas y más de siete mil heridos. (El Telégrafo, 2021)

En el lugar del terremoto, la placa oceánica de Nazca (más pesada) subduce o se introduce hacia el este por debajo de la placa Sudamericana a una velocidad de 61 mm/año. En la zona donde dos placas se encuentran en contacto existe un fuerte rozamiento continuo y, por lo tanto, existe acumulación de energía elástica debido a este rozamiento, la misma que en algún momento es liberada por una ruptura súbita que produce ondas que se propagan en el interior de la Tierra hasta llegar a la superficie, donde ocasionan daños importantes. Generalmente los terremotos se representan como puntos, pero un sismo de esta magnitud es preciso describirlo de manera más apropiada como deslizamiento sobre un área de falla. En el caso del terremoto del 16 de abril del 2016, la ruptura se originó a una profundidad de 20 kilómetros, abarcó una superficie de alrededor de 40 kilómetros en dirección perpendicular y 110 kilómetros en dirección longitudinal entre Cabo Pasado al sur hasta Punta Galera al norte. (IG-EPN, 2020)

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional presentó un informe en donde detalla las intensidades generadas por el terremoto registrado el 16 de abril del 2016 en diferentes localidades. La intensidad sísmica es una descripción cualitativa que mide los efectos de un sismo en las personas y las edificaciones, en las personas la intensidad se mide de acuerdo a su percepción (cómo sintieron el sismo) y en las edificaciones se basa en la cuantificación de los daños materiales y económicos sufrido a causa del evento; para determinar los niveles de intensidad se utiliza la Escala Macro sísmica Europea (EMS-98) que posee una escala del 1 al 12 y es una actualización de la Escala de Mercalli. En la ilustración 40 se muestra Mapa de intensidades en la escala EMS-98 causadas por el terremoto en el territorio

ecuatoriano, se indican además las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades. (IG-EPN, 2016).

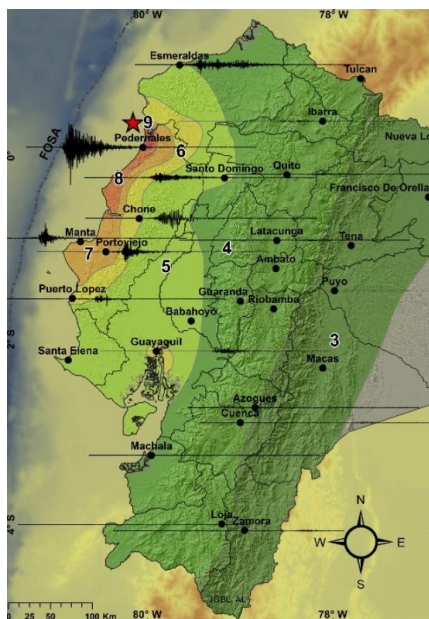


Ilustración 40: Mapa de intensidades en la escala EMS-98 causadas por el terremoto en el territorio ecuatoriano. Se indican además las señales de los acelerógrafos en las distintas localidades.

Fuente: (IG-EPN, 2020)

En la imagen se puede observar que los mayores daños se concentraron en la provincia de Manabí. En otras provincias como Guayas, Esmeraldas, Santa Elena, Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas se produjeron daños menores. La máxima intensidad que se produjo fue de 9 en la escala EMS-98 en zonas específicas de Manabí (Pedernales y Chamanga). En las provincias de la sierra el sismo se sintió ampliamente, por lo que la intensidad máxima llegó a 4 EMS-98. En la ciudad de Guayaquil específicamente se determinó una intensidad de 6 EMS-98, mientras que en Manta y Portoviejo se estimó una intensidad de 8 EMS-98. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016).

3.2.Efectos del terremoto del 16 de abril de 2016 en la dinámica social y económica de Bahía de Caráquez.

La actividad comercial de Bahía de Caráquez se vio seriamente afectada por el terremoto del 16 de abril del 2016. Antes del terremoto, el comercio en Bahía se

ubicaba en el centro de la ciudad esto cambió a raíz del desastre natural donde se produjeron cambios que llevaron a que el comercio se traslade a la parroquia Leonidas Plaza. Una de las consecuencias del cambio mencionado es el abandono de la ciudadela norte y la consolidación de la actividad comercial en la parroquia. Los ciudadanos cambiaron su lugar de trabajo y de residencia a causa de la falta de políticas públicas que les motiven a permanecer en Bahía de Caráquez. Muchos ciudadanos afirman que la parroquia Leonidas Plaza es el nuevo corazón comercial de Bahía.

La ubicación de la zona comercial de Bahía de Caráquez se encuentra junto al conjunto urbano patrimonial que sufrió graves daños por el terremoto. En esta zona se ubican las estructuras que eran usadas para el comercio en la planta baja y para vivienda en la planta alta. Esta zona era muy visitada tanto por los ciudadanos como por los visitantes ya que se encontraban las principales edificaciones públicas como: el municipio, mercado, etc. Una de las edificaciones públicas que ayudan al desarrollo de la economía es el Museo del Banco Central ya que en este lugar se permitía la oferta de otros servicios como: panaderías, restaurantes, tiendas, entre otros.

Luego del terremoto, se necesitaba evaluar la condición de todas las edificaciones en Bahía de Caráquez, por lo cual la situación de los edificios como hoteles era incierta. El gobierno debió financiar estos gastos para realizar la evaluación de cada edificio. Los propietarios de varios edificios decidieron recibir dinero de los seguros para poder invertirlos en otros negocios que tuvieran un menor porcentaje de sufrir daños por fenómenos naturales. Los hoteles se mantuvieron inhabilitados por lo cual representaban una pérdida para sus propietarios ya que no les podían generar ningún ingreso.

La actividad hotelera y el comercio son las principales fuentes de empleo en Bahía de Caráquez. El terremoto ocasionó que la actividad hotelera se vea muy afectada y tenga que cambiar su oferta ya que quedaron 11 hoteles operativos de los 20 hoteles

que tiene Bahía, es decir, el 45% del total. La ciudad dejó de recibir aproximadamente 18.000.000 USD anuales esto se debe a la ausencia de turistas luego de que ocurriera el terremoto. Cabe destacar que el turismo fomenta el empleo tanto formal como informal, los ciudadanos que se dedican a esta actividad se vieron afectados ya que sus actividades se suspendieron. Las actividades en la playa, los restaurantes permitían que los ciudadanos que se dedicaban a estas actividades tengan su fuente de ingreso y más aún en vacaciones y feriados.

El gobierno y las autoridades municipales propusieron y llevaron a cabo varias acciones para recuperar la economía de Bahía a través del turismo. Una de las estrategias que se plantearon fue los espectáculos artísticos y deportivos, conciertos que atrajeran a las personas para que visiten Bahía. La recuperación de la infraestructura hotelera fue muy importante ya que permitió que las autoridades municipales y el sector hotelero pongan en marcha sus estrategias para de esta manera atraer a los turistas. El miedo y la sensación de pánico eran pilares fundamentales para que los turistas no quieran visitar Bahía de Caráquez, con el tiempo la situación fue cambiando.

3.3.Dimensionamiento general del terremoto del 16 de abril del 2016 en Bahía de Caráquez.

El gobierno nacional con ayuda de entidades nacionales como el Ministerio de Inclusión Social (MIES), el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), el Instituto Geográfico Militar (IGM), la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR), así como entidades internacionales como la ONU HABITAT, intervinieron en el proceso de cuantificar los daños ocasionados por el terremoto del 16 de abril del 2016.

La entidad autorizada para la transmisión de los daños y su posicionamiento espacial en cada localización geográfica fue el IGM. La metodología que se utilizó para evaluar los daños materiales comenzó de un análisis mediante fotos aéreas que

permitió registrar gráficamente la afectación en el lugar mediante la observación de las vistas superiores de cada edificación antes y después del terremoto, después de haber realizado este proceso se realizaron varias visitas en campo. Como se muestra en la ilustración 41, los resultados obtenidos de la afectación en las construcciones por el terremoto del 2016 fueron que en bahía de Caráquez el 34.56% por ciento se vieron afectadas o destruidas con respecto al total de la localidad. (IGM, 2017).

Localidad	No. construcciones totales	No. construcciones afectadas o destruidas	No. construcciones destruidas	No. construcciones afectadas	Porcentaje construcciones Destruidas	Porcentaje construcciones afectadas	Porcentaje construcciones afectadas o destruidas con respecto al total de la localidad
Bahía de Caráquez	9 482	3 277	455	2 822	4,80	29,76	34,56

Ilustración 41: Resultado del estudio de la afectación del terremoto en las edificaciones de Bahía de Caráquez.

Fuente: (IGM, 2017)

La entidad gubernamental encargada de reconocer el estado de las edificaciones luego del terremoto y conforme su nivel de vulnerabilidad fue el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), se utilizó un sistema de semaforización para cada edificación inspeccionada, donde cada color tenía su respectivo código y significado: El color verde significaba que las edificaciones eran seguras. El color amarillo identificaba el uso restringido que sometía a las edificaciones a una nueva inspección técnica para resolver fallas puntuales y que esas edificaciones no se conviertan en un riesgo para los usuarios. Finalmente, el color rojo fue designado a las edificaciones inseguras, las mismas que deberían ser derrocadas por su alto riesgo de colapsar. Se inspeccionaron un total de 994 edificaciones, los datos de ese registro determinaron un 20% en código verde (seguras), 39% con código amarillo (de uso restringido) y 41% de edificaciones con código rojo (inseguras). De acuerdo a los resultados, las zonas más afectadas fueron las inmediaciones del centro histórico y en la punta como se muestra en la ilustración 42.

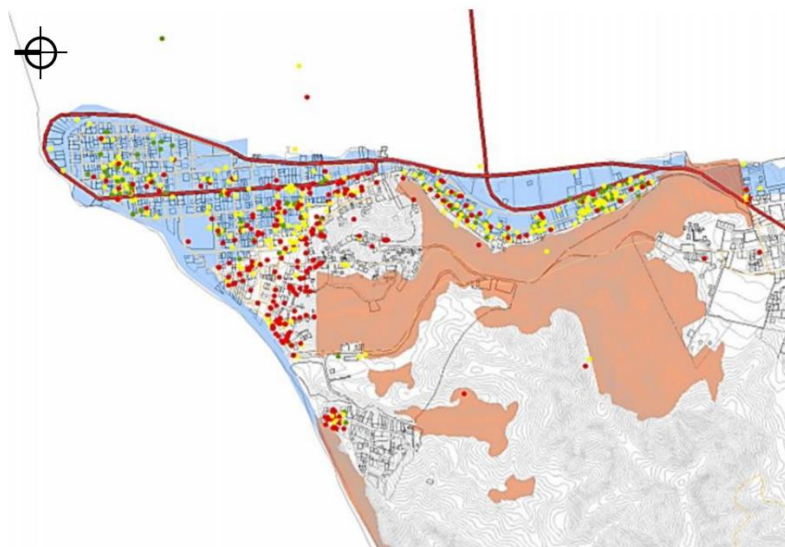


Ilustración 42: Mapa de semaforización de las edificaciones en Bahía de Caráquez. Impacto del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: (Unidad de Diseño Urbano Post-terremoto Ecuador 2016 #2, 2016)

La situación después del terremoto que vivió la ciudad fue muy particular debido a la gran cantidad de edificaciones con código amarillo (de uso restringido) y con código rojo (inseguro), que sumados representaban el 80% del total inspeccionado. El cambio morfológico de Bahía respecto a la afectación de las manzanas fruto de los derrocamientos ocasionados por el terremoto es del 84%, lo que significa que, de las 526 manzanas existentes, 443 sufrieron una afectación considerable. La estimación de la población afectada en Bahía fue de 10.652 habitantes, que vendría a ser el 41% del total de la población. (IGM, 2017).

3.4. Edificaciones que se construyeron después de 1998 y que sufrieron daño en 2016.

3.4.1. Edificio Agua Marina

Dirección: Av. Simón Bolívar y Calle Sergio Plaza. Norte de Bahía de Caráquez

Número de pisos: 5 pisos + planta baja

Grado de daño: Moderado

Intervención: Reforzado.



Ilustración 43: Vista lateral del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 44: Vista lateral del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 45: Vista frontal del Edificio Agua Marina, está siendo reforzado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Edificio Akuaba

Dirección: Av. Virgilio Ratti y Calle Marañón. Norte de Bahía de Caráquez

Número de pisos: 8 pisos + planta baja

Grado de daño: Moderado

Intervención: Reparado

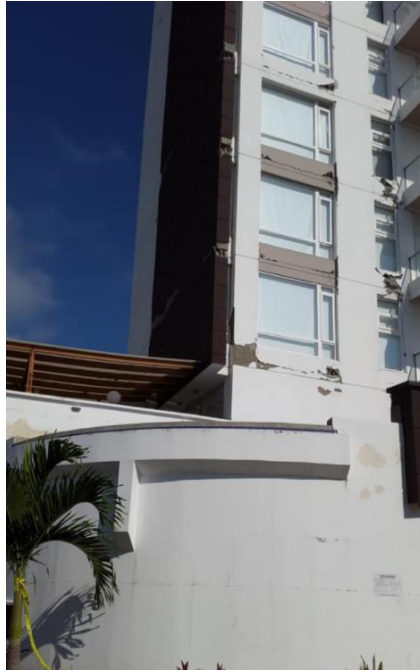


Ilustración 46: Daños en mampostería en el Edificio Akuaba después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Ing. Alex Villacrés, Msc.



Ilustración 47: Daños en mampostería en el Edificio Akuaba después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Ing. Alex Villacrés, Msc.



Ilustración 48: Vista frontal del Edificio Akuaba, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 49: Vista lateral del Edificio Akuaba, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Edificio Torre Molino

Dirección: Av. Circunvalación Virgilio Ratty y Padre Laenen. Norte de Bahía de Caráquez

Número de pisos: 9 pisos + planta baja

Grado de daño: Leve.

Intervención: No sufrió daños ya que tenía un diseño sismorresistente



Ilustración 50: Vista lateral del Edificio Torre Molino, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 51: Vista lateral del Edificio Torre Molino, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 52: Entrada principal del Edificio Torre Molino.

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Edificio Cariló

Dirección: Av. Virgilio Ratty. Norte de Bahía de Caráquez

Número de pisos: 8 pisos + planta baja

Grado de daño: Leve.

Intervención: Reparado



Ilustración 53: Daños en mampostería en el Edificio Cariló después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Ing. Alex Villacrés, Msc.



Ilustración 54: Vista lateral del Edificio Cariló, reparado del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 55: Entrada principal antes de la reparación del Edificio Cariló.

Fuente: Ing. Alex Villacrés, Msc



Ilustración 56: Entrada principal después de la reparación del Edificio Cariló.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 57: Vista frontal del Edificio Cariló después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Edificio El Faro

Dirección: Circunvalación Virgilio Ratty. Norte de Bahía de Caráquez

Fecha de Inicio de Actividades: 04/05/2016

Número de pisos: 9 pisos + planta baja

Grado de daño: Moderado

Intervención: Reparado



Ilustración 58: Vista lateral del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 59: Vista frontal del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 60: Vista posterior del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 61: Vista frontal del Edificio El Faro, reparado después del terremoto del 16 de abril del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Hotel Ocean Bay Towers

Dirección: Av. Virgilio Ratti y Cecilio Intriago frente al Hotel la Piedra, Sur de Bahía de Caráquez, Bahía de Caráquez

Número de pisos: 9 pisos + planta baja

Grado de daño: Leve

Intervención: Reparado



Ilustración 62: Vista lateral del Hotel Ocean Bay Towers después del terremoto del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Hotel Patricio's

Dirección: Calle salina y arenas esquina, Bahía de Caráquez

Número de pisos: 9 pisos + planta baja

Grado de daño: Colapso en una de sus torres de seis pisos, en la otra torre se observan severos daños estructurales y no estructurales.

Intervención: Ninguno, la torre que quedó en pie sigue inhabilitada



Ilustración 63: Vista frontal del Hotel Patricio's después del terremoto del 2016.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 64: Vista lateral del Hotel Patricio's después del terremoto del 2016.

Fuente: Elaboración propia

3.4.8. Edificio Bahía de Caráquez

Dirección: Calle Riofrío y Abdón Calderón

Número de pisos: 6 pisos + planta baja

Grado de daño: Leve

Intervención: Ninguna. Actualmente se encuentra pintado de otros colores.



Ilustración 65: Edificio Bahía de Caráquez luego del terremoto del 2016.

Fuente: Ing. Alex Villacrés, Msc.



Ilustración 66: Vista lateral del Edificio Bahía actualmente.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 67: Vista lateral del edificio Bahía de Caráquez actualmente.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4.1. Clasificación de la muestra

La presente muestra está constituida por todos los edificios de hormigón armado en Bahía de Caráquez que sufrieron algún tipo de daño durante los sismos del 4 de agosto de 1998 y 16 de abril del 2016. Los edificios que fueron demolidos o inhabilitados después del sismo de 1998 serán mostrados, pero no entran a formar parte de la estadística.

4.1.1. Afectados por el sismo de 1998, Demolidos o inhabilitados

- Edificio Cabo Coral
- Iglesia María Auxiliadora
- Edificio Karina
- Edificio Los Corales
- Cuerpo de Bomberos

4.1.2. Grupo 1

Se determinó el tipo y grado de daño experimentado en ambos sismos por los edificios que sufrieron tanto el evento de 1998 como el de 2016, a estos se los clasificó como Grupo No 1. Se separó este grupo en dos sub-grupos, de acuerdo a si fueron objeto o no de reforzamiento estructural post-terremoto.

4.1.2.1. Afectados por el sismo de 1998, Reforzados

- Edificio El Vigía
- Edificio Salango
- Edificio Spondylus
- Hospital Miguel H. Alcivar
- Edificio Marun Jalil

4.1.2.2. Afectados por el sismo de 1998, no reforzados

- Edificio Las Brisas

- Edificio Horizonte
- Edificio Dos hemisferios
- Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro
- Edificio Torre Mar
- Edificio El delfín
- Edificio El Almirante
- Edificio Punta Norte
- Edificio Neptuno
- Edificio Mikonos
- Edificio Vista Mar
- Edificio El Pirata
- Edificio Nautilus
- Edificio Banco Nacional de Fomento
- Ilustre Municipalidad del Cantón Sucre
- Edificio El Centinela
- Hotel Italia
- Hotel El Portal
- Edificio Las Gaviotas
- Colegio La Inmaculada
- Edificio en esquina Av. Riofrio y Salinas

4.1.3. **Grupo 2**

Se determinó el tipo y grado de daño experimentado durante el sismo de 2016 por aquellos edificios construidos después del evento de 1998, a estos se los clasificó como Grupo No 2.

- Edificio Agua Marina
- Edificio Akuaba
- Edificio Torre Molino
- Edificio Cariló
- Edificio El Faro
- Edificio Ocean Bay Towers

- Hotel Patricio's
- Edificio Bahía de Caráquez

4.2.Análisis estadístico

Se van a comparar cuatro grados de daño en edificios de Bahía de Caráquez, para los sismos de 4 de agosto de 1998 y 16 de abril de 2016. Para poder comenzar el proceso estadístico se deberá en primer lugar clasificar los edificios dañados por ambos sismos y los edificios construidos después del sismo de 1998 y que sufrieron daño por el sismo de 2016.

4.2.1. Edificios dañados en ambos sismos (1998 y 2016)

4.2.1.1.Grado de daño Leve:

- Edificio El Vigía
- Edificio Las Brisas
- Edificio Horizonte
- Edificio Punta Norte
- Edificio El Pirata
- Ilustre Municipalidad del Catón Sucre
- Edificio Las Gaviotas
- Colegio La Inmaculada
- Edificio en esquina Av. Riofrío y Salinas

4.2.1.2.Grado de daño Moderado:

- Edificio Torre Mar
- Edificio Banco Nacional de Fomento
- Edificio El Centinela

4.2.1.3.Grado de daño Severo:

- Edificio Dos hemisferios
- Edificio Cabo Coral

- Edificio Marun Jalil
- Edificio El delfín
- Edificio El Almirante
- Edificio Neptuno
- Edificio Mikonos
- Edificio Vista Mar
- Edificio Salango
- Edificio Nautilus
- Hotel El Portal
- Edificio Karina
- Edificio Spondylus
- Hospital Miguel H. Alcívar
- Hotel Italia

4.2.1.4. Grado de daño Colapso:

- Iglesia María Auxiliadora
- Edificio Extensión Universidad Eloy Alfaro
- Edificio Los Corales
- Cuerpo de Bomberos

4.2.2. Edificaciones que se construyeron después de 1998 y que sufrieron daño en 2016.

4.2.2.1. Grado de daño Leve:

- Edificio Bahía de Caráquez
- Edificio Torre Molino
- Edificio Cariló
- Hotel Ocean Bay Towers

4.2.2.2. Grado de daño Moderado:

- Edificio Agua Marina
- Edificio Akuaba
- Edificio El Faro

4.2.2.3.Grado de daño Severo:

- Ninguna

4.2.2.4.Grado de daño Colapso:

- Hotel Patricio's

4.3.Memoria de cálculo

Se decide aplicar el método de comparaciones múltiples y comparación de varianzas entre el grupo de edificios que fueron dañados por el sismo de 1998 (Bloque 1) y el número acumulado de edificios dañados en ambos sismos (Bloque 2). Se busca encontrar si los edificios de ambos bloques pueden considerarse como del mismo grupo o si existen diferencias entre bloques. Si fuera el segundo caso, la diferencia conocida es que el segundo bloque incluye edificios construidos después del sismo de 1998. En la tabla 4 se muestra la clasificación de los edificios dañados en ambos sismos y los edificios construidos después del sismo de 1998 que sufrieron daño por el sismo de 2016, cada uno con su respectivo nivel de daño.

Sismos	Grados de daño			
	Leve	moderado	Severo	colapso
Edificios dañados en ambos sismos (1998 y 2016).	9	3	15	4
Edificios construidos después del sismo de 1998 y dañados por el sismo de 2016.	4	3	0	1

Tabla 4: Clasificación de los edificios dañados en ambos sismos y los edificios construidos después del sismo de 1998 que sufrieron daño por el sismo de 2016, cada uno con su respectivo nivel de daño.

Fuente: Elaboración propia

En el método de Comparaciones múltiples y Comparación de varianzas se diferenciarán dos bloques. El bloque 1 conformado por los edificios que fueron dañados por el sismo de 1998 y el Bloque 2 constituido por el número acumulado de edificios dañados en ambos sismos. En la ilustración 68 se muestra la notación de los

resultados para un experimento de bloques aleatorizados. En la tabla 5 se presenta la clasificación de los cuatro grados de daño (Tratamientos) y los sismos estudiados (Bloques), según la notación que se deberá utilizar para el método.

Notación de los resultados para un experimento de bloques aleatorizados

		Tratamientos				
		1	2	...	k	Totales
Bloques	1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}	B_1
	2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}	B_2

	b	y_{b1}	y_{b2}	...	y_{bk}	B_b
Totales		T_1	T_2	...	T_k	

Tamaño total de la muestra = $n = bk$
 Total de la muestra general = $\sum y = T_1 + T_2 + \dots + T_k$
 $= B_1 + B_2 + \dots + B_b$
 Promedio general de la muestra = $\sum y/n$
 Suma de cuadrados de las n mediciones = $\sum y^2$
 Nótese que hay k tratamientos y b bloques

Ilustración 68: Notación de los resultados para un experimento de bloques aleatorizados

Fuente: (Scheaffer & McClave, 2003)

		Grados de daño			
		LEVE	MODERADO	SEVERO	COLAPSO
Sismos	1	9	3	15	4
	2	13	6	15	5
TOTAL		22	9	30	9

Tabla 5: Clasificación de los cuatro grados de daño (Tratamientos) y los sismos estudiados (Bloques).

Fuente: Elaboración propia

El resultado es un diseño de bloques aleatorizado con cuatro tratamientos y dos bloques. En la tabla 6 se muestra los parámetros iniciales para el proceso de cálculo.

b=	2	Número de sismos
k=	4	Número de grados de daño

Tabla 6: Parámetros iniciales para el proceso de cálculo.

Fuente: Elaboración propia

Se explicará de manera detallada el proceso de cálculo especificado por el método de Comparaciones múltiples y Comparación de varianzas empleado para la resolución de la hipótesis. A continuación, se presentan los cálculos:

$$T1 = 9+13=22$$

$$T2 = 3+6=9$$

$$T3 = 15+15=30$$

$$T4 = 4+5=9$$

$$B1 = 9+3+15+4=31$$

$$B2 = 13+6+15+5=39$$

- Tamaño total de la muestra: $n = bk = 2(4) = 8$
- Total, de la muestra general: $\sum y = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 22 + 9 + 30 + 9 = 70$

$$\sum y = B_1 + B_2 = 70$$

- Promedio general de la muestra: $\frac{\sum y}{n} = \frac{70}{8} = 8,8$

- Suma de cuadrados de las n mediciones = $\sum (y^2)$

$$B: \sum (y^2) = B1^2 + B2^2 = (31)^2 + (39)^2 = 2482$$

$$T: \sum (y^2) = T1^2 + T2^2 + T3^2 + T4^2 = (22)^2 + (9)^2 + (30)^2 + (9)^2 = 1546$$

		Grados de daño			
Sismos	1	LEVE	MODERADO	SEVERO	COLAPSO
			81	9	225
	2	169	36	225	25
TOTAL		250	45	450	41

Tabla 7: Cuadrados de la tabla de clasificación de los cuatro grados de daño (Tratamientos) y los sismos estudiados (Bloques).

Fuente: Elaboración propia

$$\sum y^2 = 250 + 45 + 450 + 41 = 786$$

La suma total de cuadrados (TSS) se puede seccionar en una suma de cuadrados de bloques (SSB), una suma de cuadrados de tratamiento (SST) y una suma de error al cuadrado (SEC). En la ilustración 69 se muestran las fórmulas para cálculos en el diseño de bloques aleatorizados.

Fórmulas para cálculos en el diseño de bloques aleatorizados

$$TSS = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$SST = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^k T_i^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$SSB = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^b B_i^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$SEC = TSS - SST - SSB$$

$$MST = \frac{SST}{k - 1} \quad MSB = \frac{SSB}{b - 1}$$

$$MSE = \frac{SEC}{n - k - b + 1} = \frac{SEC}{(b - 1)(k - 1)}$$

Ilustración 69: Fórmulas para cálculos en el diseño de Bloques aleatorizados.

Fuente: (Scheaffer & McClave, 2003)

$$TSS = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 786 - \frac{(70)^2}{8} = 173.50$$

$$SST = \frac{1}{b} (\sum_{t=1}^k T_i^2) - \frac{(\sum y)^2}{n} = \frac{1}{2} (1546) - \frac{(70)^2}{8} = 160.50$$

$$SSB = \frac{1}{k} (\sum_{i=1}^b B_i^2) - \frac{(\sum y)^2}{n} = \frac{1}{4} (2482) - \frac{(70)^2}{8} = 8$$

$$SEC = TSS - SST - SSB = 173.50 - 160.50 - 8 = 5$$

$$MST = \frac{SST}{K - 1} = \frac{160.50}{4 - 1} = 53.50$$

$$MSB = \frac{SSB}{b - 1} = \frac{8}{2 - 1} = 8$$

$$MSE = \frac{SEC}{n - k - b + 1} = \frac{5}{8 - 4 - 2 + 1} = 1.67$$

En la ilustración 70 se presenta la tabla resumen de análisis de variancia para un diseño de bloques aleatorizado y en la tabla 7 se muestra los valores obtenidos en el procedimiento.

En la Tabla 11.6 se presenta la tabla resumen de análisis de variancia, para un diseño de bloques aleatorizado.

TABLA 11.6
Análisis de variancia para un diseño de bloques aleatorizado

Fuente	Grados de libertad	SS	MS	Relación F
Tratamientos	$k - 1$	SST	MST	MST/MSE
Bloques	$b - 1$	SSB	MSB	MSB/MSE
Errores	$(b - 1)(k - 1)$	SEC	MSE	
Total	$b(k - 1)$	TSS		

Ilustración 70: Análisis de Variancia para un diseño de bloques aleatorizado

Fuente: (Scheaffer & McClave, 2003)

Fuente	GDL	SS	MS	F
Tratamientos	3	160.50	53.50	32.10
Bloques	1	8.00	8.00	4.80
Error	3	5.00	1.67	
Totales	7	173.50		

Tabla 8: Tabla resumen de Análisis de Variancia para un diseño de bloques aleatorizado

Fuente: Elaboración propia

Según estos presupuestos, ¿Se tiene evidencia de que los promedios de los tratamientos son distintos? Emplear $\alpha=0.05$

a) Ho: Los promedios de los tratamientos son iguales

Fa [(k-1), (b-1) (k-1)] = 9.28 < 32.10 Rechazar Ho

Conclusión: El cambio en el grado de daño de los edificios entre los sismos de 1998 y 2016 es significativo. El daño recibido por los edificios en 1998 influyó en su comportamiento en 2016. El daño en 2016 fue significativamente mayor al de 1998, a pesar de las nuevas construcciones. Hubo daño remanente del sismo de 1998.

b) Ho: Los promedios de los bloques son iguales

Fa [(b-1), (b-1) (k-1)] = 10.13 < 4.80 Aceptar Ho

Conclusión: El cambio en el número de edificios dañados entre los sismos de 1998 y 2016 no es significativo. No hubo un incremento relevante en el número de edificios dañados entre 1998 y 2016.

CAPÍTULO V

5.1.CONCLUSIONES

En el presente trabajo de titulación, se realizó una revisión de la influencia que tuvo el sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016. Se pudo obtener información sobre daños en los edificios de Bahía de Caráquez durante los sismos del 4 de agosto de 1998 y 16 de abril de 2016, que apareció en diarios, publicaciones técnicas, tesis de grado, trabajos de titulación y exploración en campo. Mediante la investigación realizada se determinó que la muestra estuvo constituida por todos los edificios en hormigón armado de Bahía de Caráquez que sufrieron algún daño o efecto adverso durante uno o dos de los sismos referidos. Finalizado este trabajo de investigación se puede aportar las siguientes conclusiones:

- 1) El cambio en el grado de daño de los edificios entre los sismos de 1998 y 2016 es significativo. El daño recibido por los edificios en 1998 influyó en su comportamiento en 2016. El daño en 2016 fue significativamente mayor al de 1998, a pesar de las nuevas construcciones. Hubo daño remanente del sismo de 1998.
- 2) El cambio en el número de edificios dañados entre los sismos de 1998 y 2016 no es significativo. No hubo un incremento relevante en el número de edificios dañados entre 1998 y 2016.
- 3) Las características del suelo tuvieron mucha influencia en los daños experimentados por las estructuras de Bahía de Caráquez y zonas aledañas. Según la información recopilada se puede observar que todos los edificios que forman parte de la muestra se asientan sobre suelos clasificados según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) como tipo C y D.
- 4) En la punta norte de la ciudad, en los terrenos ganados al mar, se puede observar que el aspecto estético se impone frente a las recomendaciones de los códigos de la construcción, la irregularidad arquitectónica predomina en

edificaciones de gran tamaño. La particularidad de formas tanto en elevación como en planta hace que el comportamiento dinámico de la estructura se vea influenciado y ocurran efectos perjudiciales como la torsión, que puede producir fallas frágiles en los miembros por cortante.

- 5) Como Bahía de Caráquez es una ciudad turística con varios edificios altos que principalmente son utilizados para departamentos, uno de los problemas que siguen presentando sus estructuras actualmente y que no han sido corregidos por parte de los diseñadores, es el problema de los pisos blandos y flexibilidad en las estructuras. En la mayoría de las edificaciones, por lo general los estacionamientos se ubican en la planta baja y en el nivel siguiente se encuentra una planta destinada a piscinas, dejando grandes alturas de entrepiso. Otro problema anexo es el de concentración de masas, por el mismo hecho de contar con una planta de piscinas y otra planta de cisterna.
- 6) En relación con los materiales utilizados, en el caso del hormigón armado, en Bahía de Caráquez se ha comprobado defectos en su ejecución, en varias estructuras se detectó focos de corrosión avanzados, estos muy probablemente hayan empezado por la utilización indebida de arenas con cantidades inadmisibles de cloruros.
- 7) La distribución de mampostería en fachadas apoyadas en voladizos que no son enmarcados por la estructura ha tenido como consecuencia daños muy costosos. También resulta ser una grave amenaza por la caída de trozos de mampostería desde grandes alturas. Lo anteriormente mencionado, más los diseños estructurales muy flexibles, acentuaron los daños no estructurales en la ciudad.

5.2.RECOMENDACIONES

Los terremotos de Bahía de Caráquez del 4 de agosto de 1998 y del 16 de abril de 2016, se pueden considerar los sismos más importantes en Ecuador desde el punto de vista de los daños producidos a las edificaciones. Estos terremotos afectaron a varias provincias de todo el Ecuador, siendo la ciudad de Bahía de Caráquez una de las más afectadas por ambos sismos, una ciudad con varios edificios nuevos y otros más antiguos, en cuyos proyectos participaron ingenieros y arquitectos de gran prestigio en el país, la mayoría de Quito por su cercanía, por lo que refleja grandes errores en los conceptos ingenieriles. Todas las lecciones que se derivaron de estos lamentables terremotos deben de ser tomadas en cuenta para poder estimar en un futuro lo que podría pasar con otras ciudades ecuatorianas que tienen muchos más edificios que Bahía de Caráquez. Finalizado este trabajo de investigación se puede aportar las siguientes recomendaciones:

- 1) Antes de planificar, diseñar o ejecutar una obra civil en cualquier parte del Ecuador, se debe realizar el correspondiente estudio de suelo, para así poder conocer y tener claro el perfil estratigráfico en el cual se asentará el proyecto.
- 2) Al conocer los problemas comunes detectados en las prácticas utilizadas en el amplio campo de la construcción, se recomienda llevar a cabo estudios de vulnerabilidad sísmica en las ciudades apegadas al mar y en las ciudades más grandes del Ecuador. Así también, revisar la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente al momento de realizar un diseño, con el fin de respetar cada inciso.
- 3) Calificar con mayor rigor la calidad de materiales de construcción, realizar ensayos con frecuencia antes de su respectiva utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva Hurtado, D. E. (2018). *XIII Simposio sobre prevención de desastres. Sismos y sistemas no convencionales en la construcción*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería-Facultad de Ingeniería Civil.
- Diario El Universo. (5 de Agosto de 1998). Alerta amarilla en 3 provincias. *EL UNIVERSO*, pág. 3.
- Diario El Universo. (7 de abril de 2017). *Diario El Universo*. Obtenido de 30 días para demoler un hospital en Bahía de Caráquez: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/04/07/nota/6126686/30-dias-demoler-hospital/>
- Diario El Universo*. (3 de noviembre de 2019). Obtenido de Diario El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/03/nota/7587005/bahia-celebra-promesas-obras-e-inicio-hospital/>
- El Telégrafo. (05 de Agosto de 1998). Naturaleza se ensaña contra Manabí. *El Telégrafo*, pág. 9.
- El Telégrafo. (16 de Abril de 2021). *Hoy se cumplen 5 años del terremoto del 16A*. Obtenido de El Telégrafo: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/hoy-se-cumplen-5-anos-del-terremoto-que-azoto-ecuador>
- Expreso. (5 de Agosto de 1998). Bahía, otra vez víctima de la naturaleza. *Expreso*, pág. 7.
- Freire, C., & Lara Salazar, D. (2018). *Estudio geológico, geotécnico e hidrológico, en el tramo de referencia coordenadas X: 561834 Y: 9944756, a la altura de la comunidad "Brinceño" de la Parroquia Canoa del cantón San Vicente*. Manabí: TAI AO Gestión y Consultoría Ambiental.
- Grupo El Comercio. (14 de Mayo de 2016). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/terrenos-suelos-ondas-terremoto-edificaciones.html>
- Guzmán, J. (5 de Agosto de 1998). Terremoto sacudió a Bahía. *El Universo*, pág. 1.

- IG-EPN . (5 de agosto de 2011). Obtenido de IG-EPN:
<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/457-sismo-de-bah%C3%ADa-de-car%C3%A1quez-4-de-agosto-de-1998>
- IG-EPN. (06 de Mayo de 2016). *El Intituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional informa sobre los efectos causados por el terremoto*. Obtenido de Intituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN):
<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1325-el-instituto-geofisico-de-la-escuela-politecnica-nacional-informa-sobre-los-efectos-causados-por-el-terremoto>
- IG-EPN. (16 de abril de 2018). *Dos años después del terremoto de Pedernales: Actualización sísmica*. Obtenido de Intituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN): <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-actualizacion-sismica>
- IG-EPN. (16 de Abril de 2020). *Cuatro años después del terremoto de Pedernales: Un testimonio sobre el peligro sísmico en el Ecuador*. Obtenido de Intituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN):
<https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1810-cuatro-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-un-testimonio-sobre-el-peligro-sismico-en-el-ecuador>
- IGM. (16 de abril de 2017). *Atlas del sismo. Ecuador 16 de abril del 2016*. Obtenido de Instituto Geográfico Militar:
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/atlas-sismo-ecuador-16a/>
- Ing. Jaime F. Argudo, P. (1998). *Evaluación de los daños del Hospital Miguel H. Alcivar de la ciudad de Bahía de Caráquez, Ecuador durante el Terremoto del 4 de Agosto de 1998*. Guayaquil.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético*. (1980). Obtenido de Instituto de Investigación Geológico y Energético:
<https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- Narvárez Chunguan, E. J. (2015). *Daños que se presentaron en edificaciones de hormigón armado después de un evento sísmico. (Terremoto de Bahía de*

Caráquez). *Aislación sísmica con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo*. . Quito: Universidad Internacional Del Ecuador.

Perez, J. C. (10 de Diciembre de 2017). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/historias-habitantes-bahiadecaraquez-viviendas-sismos.html>

Reyes. (Noviembre de 2013). *Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional: <https://www.igepn.edu.ec/va-informes/17426-estimacion-de-las-frecuencias-de-resonancia-de-los-suelos-en-varias-ciudades-de-la-provincia-de-manabi-con-medidas-de-ruido-del-ambiente>

Scheaffer, & McClave. (2003). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería*. GRUPO EDITORIAL IBEROAMERICANO.

Secretaría de Gestión de Riesgos. (16 de 05 de 2016). *Informe de situación N. 65 - Terremoto 7.8-Pedernales*. Obtenido de Secretaría de Gestión de Riesgos: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>

Serrano, V. (5 de Agosto de 1998). *Diario El Telégrafo*.

Singaicho Armas, J. C. (2009). *Mapa de máximas intensidades sísmicas del Ecuador. Criterios estructurales para mejorar la estimación de intensidades*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Unidad de Diseño Urbano Post-terremoto Ecuador 2016 #2. (2016). *Plan iniciativa de desarrollo urbano. Bahía de Caráquez*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

United States Geological Survey. (1998). Obtenido de United States Geological Survey: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0008ssb/map>

Varela, F., & Aguiar, R. (1998). *El sismo de Bahía*. Quito: CEINCI-ESPE.

Vizconde Campos, A., & Delgado Suárez, R. (31 de Mayo de 2018). *Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones existentes en la Isla Isabela, Galápagos*. Obtenido de Journal of Science and Research: Revista Ciencia e

Investigación, 3(ICCE), 102-109.: <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp108-122p>

Yepes, H., Campos, J., Valverde, J., Alva, J., Gachet, P., Giuliani, H., . . . Grases, J. (1998). *El terremoto de Bahía de Caráquez - Ecuador. 4 de agosto de 1998*. Quito, Pichincha, Ecuador: PUBLIasesores.

ANEXOS



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Morillo Moreno Carlos Andrés**, con C.C: # **0923393227** autor/a del trabajo de titulación: **Influencia del sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016** previo a la obtención del título de **Ingeniero 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, 28 de septiembre de 2021

f. _____

Nombre: **Morillo Moreno Carlos Andrés**

C.C: **0923393227**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Influencia del sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016		
AUTOR(ES)	Morillo Moreno Carlos Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Villacrés Sánchez Alex Raúl		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Estructuras		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Eventos sísmicos, análisis estadístico, tipo de suelo, problemas estructurales, procesos constructivos, peligro sísmico.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En el presente trabajo de titulación, se realizó una revisión de la influencia que tuvo el sismo de 1998 en el comportamiento de los edificios de Bahía de Caráquez en el sismo de 2016. Se pudo obtener información sobre daños en los edificios de Bahía de Caráquez durante los sismos del 4 de agosto de 1998 y 16 de abril de 2016. Mediante la investigación realizada se determinó que la muestra estuvo constituida por todos los edificios en hormigón armado de Bahía de Caráquez que sufrieron algún daño o efecto adverso durante uno o dos de los sismos referidos. La recopilación de la información se dio mediante la exploración en campo y lo expuesto en diarios, publicaciones técnicas, tesis de grado y trabajos de titulación. Se determinó el tipo y grado de daño experimentado en ambos sismos por los edificios que sufrieron tanto el evento de 1998 como el de 2016. Se separó este grupo en dos sub-grupos, de acuerdo con si fueron objeto o no de reforzamiento estructural post-terremoto. Se determinó el tipo y grado de daño experimentado durante el sismo de 2016 por aquellos edificios construidos después del evento de 1998. Posteriormente se determinó, usando técnicas estadísticas, si las diferencias en grado de daño de los dos grupos de edificios son o no significativos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4- (registrar teléfonos)	E-mail: Carlos_morillo_12@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Glas Cevallos Clara		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			