



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y
QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TEMA:

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL
CANTÓN ROCAFUERTE TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN
EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016, MODELACIÓN
EN EL SOFTWARE “ETABS”**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AUTORES:

**AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI
GARCÍA CARRIÓN CESAR ISRAEL**

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. ALCÍVAR MOREIRA STALIN, MG.

**PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR
2017**

DEDICATORIA

A mis padres, José Alberto Avilez e Igrí Irlanda Macías, que son la motivación principal del alcance de esta meta en mi vida, con un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por el apoyo moral y estímulo brindados con infinito amor y confianza, por infundir en mí, ese camino que inició con responsabilidad que representa el término de mi carrera profesional. Por su apoyo constante, su guía moral y sus sentimientos de responsabilidad hacia mí, los sentimientos de agradecimientos, de inmenso amor, y mis valores de honra, nobleza, lealtad, confianza, cortesía, responsabilidad hacia ellos, muchas gracias.

A mi novia que ha sido mi compañía, apoyo emocional de mi vida, que estuvo junto a mí en los momentos importantes de la vida universitaria, por su apoyo académico para la obtención de mi título, por su hincapié y motivación para la culminación de este trabajo de titulación, mi gratitud, respeto y amor siempre para ella.

A mi amigo y compañero en este trabajo, Cesar García; mi especial sentimiento de amistad y gratitud, por su presencia desde el primer día de clases, a el éxito de este trabajo.

Daniel Avilez M.

DEDICATORIA

A mi abuela, Lina Armanda Bazurto B., por ser mi guía y ejemplo a seguir durante gran parte de mi niñez, por los valores inculcados por ella durante la mayor parte de mi juventud.

A mi madre, María Armanda Carrión B., y mi segundo padre, Rondan Istahel Rua C. quienes han estado conmigo brindándome su apoyo día con día para hacer de mí un hombre de bien.

A mi padre Cesar Adalberto García G., y mi segunda madre, Karin Alicia Velásquez L. quienes con mucho amor me han dado ánimos, fortaleza y encaminado hacia este destino final.

A mi familia, en general quienes me han llenado de lo más importante que es el afecto y el calor familiar.

A mis amigos, quienes han inferido en mí y mi personalidad y con quienes he compartido momentos agradables.

Al Ing. Ricardo Roberto Tubay Z., quien me dio la oportunidad de desempeñar mi conocimiento en el ámbito laboral y quien me enseñó que se goza más cuando el camino a la meta es más difícil.

A los docentes, quienes forjaron el eslabón final para desarrollar mis aptitudes como ingeniero civil y fomentaron la definición de mis actitudes como individuo profesionalista.

A la Universidad Técnica de Manabí, y a la Carrera de Ingeniería Civil, por formarme como un profesional con sólidos conocimientos científicos y tecnológicos.

Israel García C.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por apoyarnos en todos los momentos, ellos han sido fuente de motivación para poder alcanzar nuestro propósito de culminar nuestros estudios de titulación de tercer nivel.

A la Universidad Técnica de Manabí y nuestra Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, el alma mater de las enseñanzas adquiridas durante nuestra formación académica.

De manera especial al ingeniero Stalin Alcívar, tutor y guía de nuestro trabajo de Titulación, brindando sus conocimientos, experiencias y la buena voluntad para nuestra exitosa labor.

Al ingeniero Julio Zevallos Centeno, revisor y apoyo, colaborando con su experiencia en el desarrollo investigativo de nuestro trabajo.

Al ingeniero Carlos Centeno Mero, director de la Unidad de Titulación Especial, quien siempre estuvo al pendiente de instruirnos en el desarrollo y revisión de nuestro trabajo de investigación.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rocafuerte por la acogida de nuestro proyecto de investigación en la “*Inspección y Evaluación de las Estructuras del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte a causa del evento del 16A*”, que fue el propósito de este trabajo de titulación.

Daniel Avilez M.

Israel García C.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS
INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Quien suscribe la presente, señor Ing. Stalin Alcívar Moreira, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE TRAS LOS DAÑOS OCACIONADOS EN EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016, MODELACIÓN EN EL SOFTWARE ETABS”** desarrollada por los profesionistas: **AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI y GARCÍA CARRIÓN CESAR ISRAEL**; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes



Ing. Alcívar Moreira Stalin, Mg.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS
INGENIERÍA CIVIL

INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber revisado el trabajo de titulación, en la modalidad de investigación y que lleva por tema: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016, MODELACIÓN EN EL SOFTWARE ETABS”** desarrollado por los señores, **AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI** con cédula No. 131308250-3 y **GARCÍA CARRIÓN CESAR ISRAEL** con cédula No.130910694-4, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, bajo la tutoría y control del señor Ing. Alcívar Moreira Stalin, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del NUEVO REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, aprobada por el Honorable Consejo Universitario, el 21 de Julio del 2016 cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, sus autores:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- Han aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados.
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento no vinculante para los fines legales pertinentes.



Ing. Cevallos Centeno Julio
REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS
INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

Quienes firmamos la presente, profesionistas: **AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI** y **GARCÍA CARRIÓN CESAR ISRAEL**, en calidad de autores del trabajo de titulación realizado sobre “**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016, MODELACIÓN EN EL SOFTWARE ETABS**”, por la presente autorizamos a la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contienen este proyecto, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumimos con responsabilidad la descripción de las mismas.



Avilez Macías Daniel Alexi
AUTOR



García Carrión Cesar Israel
AUTOR

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE CUADROS	XIV
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
CAPÍTULO UNO	2
1. TEMA	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO DOS	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. BASES TÉCNICAS Y DEFINICIONES	4
2.2. LOS TERREMOTOS: SU ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS	5
2.3. EL MECANISMO DEL FENÓMENO SÍSMICO	7
2.4. LA SISMOLOGÍA Y EL PELIGRO SÍSMICO	10
2.5. SISMO 16 DE ABRIL DEL 2016 – ECUADOR	12
2.6. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS POST-SISMO	14
2.7. NORMATIVAS DE DISEÑO SÍSMICO	17
2.8. ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	19
2.9. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	20
2.10. REHABILITACIÓN DE EDIFICACIONES AFECTADAS POR EVENTOS SÍSMICOS DE GRAN MAGNITUD.	23
2.11. EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO A LA NEC 2015	25
2.12. ENSAYOS REQUERIDOS.	26
CAPÍTULO TRES	29
	VIII

3.	ALCANCE DEL ESTUDIO	29
3.1.	ELABORACIÓN DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES	29
3.1.1.	HIPÓTESIS	29
3.1.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	30
3.1.3.	VARIABLE DEPENDIENTE	31
3.1.4.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	32
	CAPÍTULO CUATRO	33
4.	DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	33
4.1.	OBJETIVOS	33
4.1.1.	OBJETIVO GENERAL	33
4.1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
4.2.	VERIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS	33
4.3.	INSPECCIÓN VISUAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE	34
4.3.1.	RESUMEN DE DAÑOS NO ESTRUCTURALES OBSERVADOS	36
4.3.2.	RESUMEN DE DAÑOS ESTRUCTURALES OBSERVADOS	51
4.4.	DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRAS	52
4.4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	52
4.4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
	CAPÍTULO CINCO	60
5.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	60
5.1.	MODELADO Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE DE DISEÑO ETABS	60
5.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
5.2.1.	PERIODOS, MODOS Y PROPIEDADES DINÁMICAS	67
5.2.2.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOMETIDA AL SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016	69
	CONCLUSIONES	74
5.2.3.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOMETIDA AL DISEÑO SÍSMICO SEGÚN LA NEC 2015	75
	CONCLUSIONES	81
5.2.4.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON REFORZAMIENTO EN COLUMNAS	81

5.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.3.1.	CONCLUSIONES	92
5.3.2.	RECOMENDACIONES	93
5.4.	PRESUPUESTO	94
5.5.	CRONOGRAMA VALORADO	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Corte de la corteza terrestre – composición de las capas de la tierra	7
Figura 2: Esquema del proceso de rebote elástico.	9
Figura 3: Ilustración de las deformaciones provocadas por las ondas de cuerpo	10
Figura 4: Ilustración de las deformaciones provocadas por las ondas superficiales.	11
Figura 5: Punto de choque entre dos placas tectónicas.	12
Figura 6: Registro de aceleración en tres direcciones ortogonales	12
Figura 7: Zonificación de afectación sísmica y de réplicas	14
Figura 8: Escala EMS 98 para intensidad del sismo del 16 de abril	15
Figura 9: Organigrama de clasificación de metodologías de inspección de edificaciones post-sismo.	16
Figura 10: Cortante basal	21
Figura 11: Métodos de análisis dinámico.	22
Figura 12: Método de determinación del espectro de respuesta.	23
Figura 13: Planta Baja de la edificación.	36
Figura 14: Planta Alta de la edificación.	36
Figura 15: Planta Baja de la edificación.	54
Figura 16: Planta Alta de la edificación.	54
Figura 17: Preparación del área de hormigón	55
Figura 18: Demarcación de estructura de acero	55
Figura 19: Proceso de extracción y transporte de núcleo	56
Figura 20: Comprobación de Carbonatación	56
Figura 21: Propiedades del hormigón	61
Figura 22: Propiedades de las varillas de acero	62
Figura 23: Sección de columnas	62
Figura 24: Sección de vigas.	63
Figura 25: Losa alivianada (Waffle).	63
Figura 26: Cubierta metálica	64
Figura 27: Componentes del cortante basal	65
Figura 28: Espectro de respuesta a las aceleraciones	65

Figura 29: Espectro elástico e inelástico del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte	67
Figura 30: Espectro de respuesta a las aceleraciones	67
Figura 31: Modo 1 – Periodo 0.381 seg	68
Figura 32: Modo 2 – Periodo 0.362 seg	69
Figura 33: Modo 3 – Periodo 0.336 seg	69
Figura 34: Desplazamientos máximos por piso para sismo 16/04/2016	71
Figura 35: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje X	72
Figura 36: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje Y	73
Figura 37: Comportamiento de elementos estructurales durante el sismo 16/04/2016	74
Figura 38: Pórtico C	75
Figura 39: Desplazamientos máximos por piso para carga sísmica	76
Figura 40: Desplazamientos máximos por piso para espectro sísmico de diseño	77
Figura 41: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje X	78
Figura 42: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico B – eje Y	79
Figura 43: Comportamiento de elementos estructurales sometidos al diseño sísmico	80
Figura 44: Pórtico C	81
Figura 45: Pórtico D	81
Figura 46: Sección de columna (Tubo metálico)	83
Figura 47: Modo 1 – Periodo 0.369 seg	83
Figura 48: Modo 2 – Periodo 0.348 seg	84
Figura 49: Modo 3 – Periodo 0.333 seg	84
Figura 50: Desplazamientos máximos por piso para carga sísmica	86
Figura 51: Desplazamientos máximos por piso para espectro sísmico de diseño	86
Figura 52: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje X	87
Figura 53: Diagramas de corte, momento y axial del pórtico B – eje Y	88
Figura 54: Comportamiento de elementos estructurales sometidos al diseño sísmico	89
Figura 55: Comportamiento de columnas reforzadas sometidas al sismo de diseño	91
Figura 56: Detalle de anclaje para el encamisado de columnas	91
	XII

Figura 57: Viga reforzada con FRP	92
Figura 58: Refuerzo en vigas de hormigón mediante componente de acero	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Cuadro de cargas vivas y muertas	64
Cuadro 2: Cuadro de combinaciones de cargas	68
Cuadro 3: Masas nominales participantes para cada modo	69
Cuadro 4: Resumen de masa nominales participantes	70
Cuadro 5: Cuadro de cargas vivas para evaluación sísmica.	71
Cuadro 6: Resumen de desplazamientos máximos por piso	72
Cuadro 7: Resumen de desplazamientos máximos por piso	77
Cuadro 8: Masas nominales participantes para cada modo	84
Cuadro 9: Resumen de masa nominales participantes	85
Cuadro 10: Resumen de desplazamientos máximos por piso	87

RESUMEN

Este trabajo nace por la necesidad del Gobierno Descentralizado del Cantón Rocafuerte, de atender el riesgo que implica reutilizar las Estructuras del Edificio Municipal después que el 16 de Abril del 2016, un sismo de magnitud 7.8 grados, afectará las instalaciones de esta Institución Pública, luego de un dialogo con la autoridad competente, el Alcalde Sr. Dimas Pacífico se llegó a un acuerdo en el cual se realizaría la “Inspección y Evaluación de la Estructura del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte”.

Como método de recolección de datos se realizó en primera instancia una inspección general de la edificación donde se identificó los daños estructurales y no estructurales adquiridos por consecuencia del evento sísmico, en segunda instancia se realizó la recolección de muestras y realización de ensayos con el fin de determinar las propiedades de los materiales existentes; con la tabulación de estos datos y mediante una modelación en el software de diseño ETABS se realizó una simulación en donde se puede observar el comportamiento de la edificación frente a esfuerzos sísmicos.

Del análisis realizado se pudo obtener los parámetros necesarios para realizar la verificación del cumplimiento de la norma sísmica y el desempeño sísmico del edificio Municipal del Cantón Rocafuerte con el fin de precautelar su integridad estructural frente a futuros eventos sísmicos de gran magnitud y asegurar que su ocupación actual es segura.

SUMMARY

This work was born due to the need of the Decentralized Government of Canton Rocafuerte to address the risk involved in reusing the Municipal Building Structures after a magnitude 7.8 earthquake on April 16, 2016 will affect the facilities of this Public Institution. Of a dialogue with the competent authority, the Mayor Mr. Dimas Pacific an agreement was reached in which the "Inspection and Evaluation of the Structure of the Municipal Building of the Rocafuerte Canton" would be carried out.

As a method of data collection, a general inspection of the building where structural and non-structural damages acquired as a result of the seismic event was carried out. In the second instance, the collection and sampling of samples were carried out in order to Determine the properties of existing materials; With the tabulation of these data and using a modeling in the ETABS design software, a simulation was performed in which the behavior of the building against seismic stresses can be observed.

From the analysis carried out, it was possible to obtain the necessary parameters to carry out the verification of the compliance of the seismic norm and the seismic performance of the Municipal building of the Rocafuerte Canton in order to protect its structural integrity against future major seismic events and to ensure that its occupation Current is safe.

CAPÍTULO UNO

1. TEMA

Evaluación estructural del edificio municipal del Cantón Rocafuerte tras los daños ocasionados en el terremoto del 16 de abril del 2016, modelación en el software “Etabs”.

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El 16 de abril del 2016 se convirtió en una fecha inolvidable tanto para la población manabita como para el Ecuador debido al fenómeno natural que tuvo incidencia principalmente en la franja costera cuyas provincias más afectadas fueron Manabí y Esmeraldas. Un sismo con magnitud 7,8 Mw sacudió desde sus cimientos al país dejando un incontable número de pérdidas humanas y materiales. La historia sísmica de nuestro país es muy amplia, sin embargo, este ha sido hasta la fecha el mayor suceso sísmico registrado en la última década.

En vista de las afectaciones a la integridad estructural que presentan varias de las edificaciones de uso público en nuestra provincia se ha hecho menester para nosotros como futuros profesionales y representando a nuestra alma mater, la Universidad Técnica de Manabí, intervenir en una de ellas como es el caso del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte, mediante una evaluación estructural siguiendo los parámetros sugeridos por la norma de construcción Ecuatoriana y apoyándonos en un modelado realizado en el software de análisis y diseño acorde a este propósito como es “Etabs”, respetando los parámetros que permitan conseguir una simulación lo más acertada a la realidad para conseguir valores cuantificables que se puedan interpretar y justificar.

1.2.ANTECEDENTES

Nuestro país registra una historia de 40 terremotos de intensidad igual o mayor al GRADO VIII según la escala MSK; entre los sismos documentados tenemos como primera catástrofe natural registrada en el año 1541 un sismo en Napo ocurrido cerca del Antisana, en el año 1906 se registró un sismo con epicentro cercano a las costas de

Esmeraldas el cual fue considerado el sismo más grande el mundo a partir de 1920 el periodo de retorno de los sismo se volvió más corto, se registraron 28 eventos sísmicos desde 1920 hasta el 4 de agosto de 1998 donde uno de ellos de 7,1 Mw con epicentro en Bahía de Caráquez provocó graves destrozos, desde esta fecha hasta el 2016 se registraron 4 eventos sísmicos de poca magnitud¹.

La noche de 16 de abril del 2016 ocurrió un sismo cerca de las costas ecuatorianas con epicentro cercano a la ciudad de Pedernales a 20 Km de profundidad siendo el resultado del desplazamiento de la placa de Nazca que se sumerge bajo la Placa Sudamericana.

El edificio municipal del Cantón Rocafuerte sufrió daños debidos al evento sísmico del 16 de abril, es por este motivo que se socializó con la autoridad encargada la posibilidad de realizar este tema de investigación cuyos resultados servirán a la institución para tomar las medidas correctivas en el saneamiento de los daños presentes y asegurar su funcionamiento a largo plazo.

1.3.JUSTIFICACIÓN

A partir del evento sísmico que se denominó 16A, son varios los estudios que se han realizado y se siguen elaborando respecto a las estructuras que no colapsaron pero presentan daños en su configuración, por lo cual resulta de interés y como una forma de vinculación con la comunidad por parte de la Universidad Técnica de Manabí representada en este caso por los autores de esta investigación colaborar con la evaluación estructural del edificio donde desempeña sus labores el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rocafuerte, el cual servirá para el desarrollo de las competencias en los departamento que conforman el GAD Rocafuerte así como una forma de estrechar lazos de amistad entre esta entidad y la Universidad Técnica de Manabí y facilitar el trabajo en conjunto en próximas oportunidades.

El fin específico de esta investigación es verificar que el desempeño sísmico del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte sea acorde a los parámetros inscritos en la norma ecuatoriana de la construcción para así asegurar su pleno uso a corto y largo plazo.

¹ (Quiroz 2016)

CAPÍTULO DOS

2. MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TÉCNICAS Y DEFINICIONES²

Sismo.- Movimiento vibratorio que se expande a lo largo de la corteza terrestre el cual es inducido por el paso de las ondas sísmicas que se dispersan desde un punto de origen o epicentro.

Epicentro.- Punto de la superficie terrestre situado en la vertical del foco o hipocentro de un movimiento sísmico y donde este adquiere su máxima intensidad.

Coordenadas hipocentrales.- Están conformadas por las coordenadas epicentrales y la profundidad focal cuya resultante es el foco sísmico.

Fuerza sísmica.- Vector producto del esfuerzo sísmico que incide en una estructura cualquiera, se produce debido a las fuerzas de inercia causadas por la aceleración del sismo.

Falla activa.- Punto de falla entre dos placas que presenta evidencias de desplazamientos recientes y continuos durante los últimos 10.000 años.

Magnitud.- Forma de cuantificar la energía que liberan los eventos sísmicos, hay diferentes escalas de medición que dependen del tipo de onda sísmica.

Amenaza sísmica.- Se refiere a la probabilidad de que ocurra un sismo de magnitud determinada en un lugar cualquiera en un tiempo determinado, esta probabilidad varía de un lugar a otro dependiendo de la zona donde concurren con más frecuencia los fenómenos sísmicos.

Aceleración sísmica.- Medida utilizada como referencia en los sismos para medir directamente la excitación que sufre la superficie del suelo.

Aceleración espectral.- es la aceleración máxima de un elemento oscilador libre de un grado de libertad frente a la excitación en su base con un periodo determinado.

Sismo de diseño.- La norma ecuatoriana lo define como un fenómeno con una probabilidad del 10% de excedencia y un periodo de retorno de 475 años, el cual es determinado basándose en datos referentes a una zona sísmica específica.

² (IMPRES, Manual de adiestramiento para la prevención sísmica 2013)

Periodo de retorno.- Es el tiempo (en años) de recurrencia entre eventos sísmicos de igual o mayor magnitud.

Periodo natural.- Tiempo de vibración libre fundamental y sin amortiguamiento el cual cumple un ciclo dependiendo de las características de la edificación a estudiar.

Daño global.- Daño general observado en la estructura a estudiar.

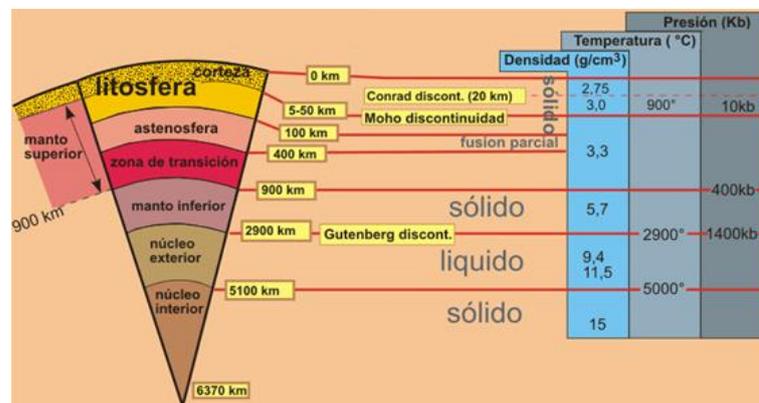
Daño local.- Daño puntual y localizado en miembros estructurales determinados o independientes.

Zonificación.- Es la división natural de territorios colindados por fallas geológicas determinadas de acuerdo a criterios sísmicos, tectónicos y geomorfológicos.

Espectro elástico de diseño.- Tabla de valores representada por una curva cuyos parámetros son tomados de una relación entre la aceleración del sismo de diseño y el periodo natural.

2.2. LOS TERREMOTOS: SU ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS³

Para muchos geólogos la respuesta más sencilla de porqué la tierra tiembla es deducir que lo hace porque está viva, puede ser no tan certero ni tan explícito en la actualidad pero es real o así lo hace parecer la fenomenología del movimiento de los continentes, los eventos sísmicos existen debido a la fenomenología del movimiento que realiza la corteza terrestre que a su vez es posible debido a los distintos estados físicos y de temperatura que presentan los estratos encontrados bajo el manto terrestre lo cual se detalla en la Figura 1⁴.



³ (Rivadeneira 2007)

⁴ (Silva 2006)

Figura 1
Corte de la corteza terrestre – composición de las capas de la tierra

En la corteza es donde se originan los terremotos, su espesor varía de 25 a 40 Km bajo los continentes, de 60 a 70 Km bajo las montañas y apenas 5 Km bajo los océanos, la corteza permanece en estado sólido y frío en la superficie; las capas principales de la tierra tal y como se describe en la figura 1 tienen un cambio brusco de sus propiedades mecánicas, a esto se lo denomina Discontinuidad de Moho⁵.

Basando la premisa de *“la tierra tiembla porque está viva”* en lo expuesto se asume que el hecho de que se presenten fenómenos sísmicos da la pauta a que existe la movilidad entre placas, está a su vez es fundamentada por la discontinuidad de Moho donde se expresa que existen separación de estratos por diferenciación de características mecánicas y físicas; lo único que se debe considerar como punto clave es que la movilidad solo se manifiesta en ciertas zonas a lo largo del planeta⁶.

Una teoría que se derivó de los estudios hechos por A. L. Wegener ahora propuesta por H. Hess indica que la corteza terrestre flota sobre un material caliente y de mayor densidad, esto origina un fenómeno de movimiento cortical el cual sirve de motor para la movilidad entre placas y funciona de la siguiente manera: por medio de los principios físicos de transmisión de calor en medios líquidos se sabe que hay un intercambio de energía entre un ente sólido y un líquido, entonces el material caliente del manto aflora en los océanos gracias a las grietas intercontinentales, el mismo que al enfriarse empuja los materiales consolidados en la superficie. Este proceso crea un flujo en forma del giro de un ventilador donde surge un estrato nuevo de un lado de la placa mientras que del otro lado un estrato viejo se sumerge bajo la corteza.

En la década de los 60 es acuñado como tal el término “placa tectónica” por el Geólogo canadiense John T. Wilson, el argumento en términos geológicos que: *“Una placa es una capa rígida de roca sólida en la corteza que conforma la superficie de la tierra”*, luego de esto los trabajos realizados por Le Pichon sobre la distribución de las placas tectónicas de la tierra complementaron la información geofísica que conocemos⁷.

Para entender un poco sobre el tamaño de un evento sísmico se debe entender

⁵ (Tarbuck 2015)

⁶ (SEQUEIROS 2002)

⁷ (Tarbuck 2015)

cómo actúa la energía liberada mediante el momento sísmico, además la rigidez del estrato rocoso circundante crea variaciones en la difuminación de esta energía; un sismo es un fenómeno que se puede comparar con otros de su misma clase al igual que las tormentas eléctricas, se puede hacer una comparación con mecanismos explosivos debido a que la forma en que dispersan la energía es similar⁸. La intensidad macrométrica es una de las primeras formas de medición usadas en los estudios de eventos sísmicos y consiste en una escala subjetiva basada en los criterios de evaluación y la su interpretación hecha por evaluadores en un perímetro definido.

2.3. EL MECANISMO DEL FENÓMENO SÍSMICO

La corteza terrestre es sólida debido a la atmósfera gaseosa de menor temperatura en su superficie, este endurecimiento en los límites de la placas tectónicas causan un efecto friccionante que a su vez las traba entre sí formando un freno temporal, durante el pasar de los años este proceso de endurecimiento prosigue, luego de un tiempo la resistencia del freno temporal no soportará el empuje creciente producido por el material líquido ascendente es a ahí cuando se produce la ruptura, si la ruptura es pequeña y no avanza demasiado se produce un sismo de poca magnitud como los que estamos acostumbrados a percibir cada 2 o 5 años por el contrario si la ruptura se extiende debida al excesivo empuje acumulado se produce un evento sísmico de gran magnitud, si no hay sismos de poca magnitud que ayuden a liberar energía en la unión de las placas tectónicas esta se acumulará produciendo al final un sismo de mayor magnitud⁹.

Debido al constante movimiento de las masas líquidas bajo las placas, éstas interactúan y chocan entres sí, casi siempre trabándose en los bordes y a su vez gestando un evento sísmico; la figura 2 se muestra un tramo de terreno en tres dimensiones donde se observará una simulación del antes, durante y después de un sismo.

⁸ (Kanamori, 1977)

⁹ (Silva 2006)

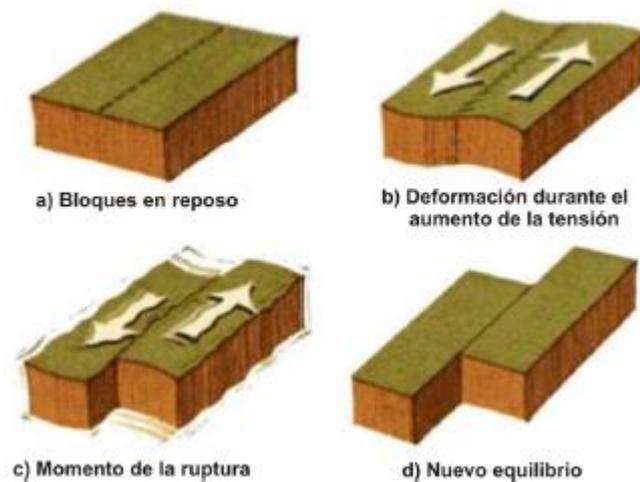


Figura 2
Esquema del proceso de rebote elástico¹⁰.

El esquema del rebote elástico surge debido a las observaciones realizadas por el geofísico Harry Fielding Reid durante el terremoto de San Francisco en 1906, para el año 1911 propuso la teoría del rebote elástico como una forma interactiva muy explícita de cómo se libera la energía durante un fenómeno sísmico. Las vibraciones sísmicas se producen cuando las rocas deformadas vuelven elásticamente a su estado original, la ruptura comienza en un punto específico llamado hipocentro y desde él se extiende a puntos cercanos propagando la energía liberada en forma de ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas son vibraciones que se extienden hacia el exterior desde un punto interno de la tierra, confidencialmente este punto es el foco del sismo, las partículas oscilan en torno a su posición de equilibrio o eje de referencia, en el proceso de ruptura se puede diferenciar dos tipos de ondas: las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

Las ondas de cuerpo a su vez se subdividen en dos tipos:

- Las ondas P, ondas primarias, son longitudinales (Ver figura 3), estas ondas tienden a la compresión y dilatación del estrato por el cual se desplazan, son análogas y pueden viajar a través de sólidos y líquidos, viajan a través del manto siendo percibidas en lugares diametralmente opuestos, por lo general son las primeras en ser detectadas durante un evento sísmico.

¹⁰ (IMPRES, Manual de adiestramiento para la prevención sísmica 2013)

- Las ondas S, ondas secundarias, presentan trayectoria transversal (Ver figura 3), estas ondas provocan deformaciones por efecto cortante en los estratos por los cuales se desplazan, solo pueden viajar por masas sólidas por lo que se dispersan al llegar al núcleo. Se considera que estas ondas en sí son las causales de los daños en las construcciones debido a que las partículas por las que atraviesan tienden a polarizarse en dos direcciones arbitrarias.

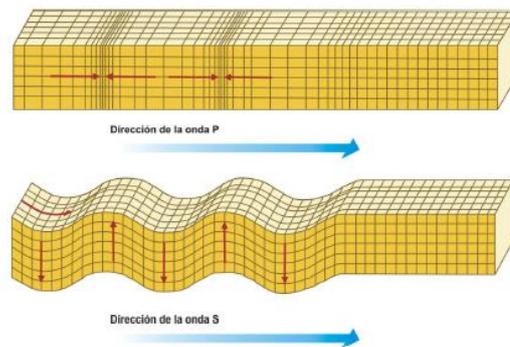


Figura 3

Ilustración de las deformaciones provocadas por las ondas de cuerpo¹¹

Las ondas superficiales son la resultante de la interacción entre las ondas de cuerpo y la superficie del terreno, pueden ser de dos tipos:

- Las ondas Rayleigh, tienen un movimiento elíptico semejante al producido por los oleajes (Ver figura 4), crean ondulaciones de períodos largos, su desplazamiento a través de los estratos es lento, son producto de la interacción entre las ondas P y las ondas S paralelas al terreno.
- Las ondas Love, se asemejan a las ondas cortantes pero reflejan sus vectores paralelos a la superficie del terreno asemejando al zigzag de una serpiente (Ver figura 4), atraviesan las partículas en dirección perpendicular al plano de propagación, su velocidad es igual o inferior a las de las ondas S.

¹¹ (IMPRES, Manual de adiestramiento para la prevención sísmica 2013)

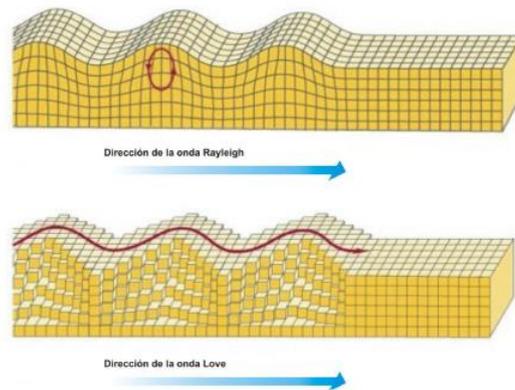


Figura 4

Ilustración de las deformaciones provocadas por las ondas superficiales¹².

2.4. LA SISMOLOGÍA Y EL PELIGRO SÍSMICO

Los terremotos o sismos son una vibración a lo largo de la corteza terrestre debidos a la liberación de energía causada por un fenómeno natural como puede ser; por actividad volcánica, por interacción entre las capas tectónicas o por explosiones de gran magnitud. De estos tres fenómenos causales se considera como el más severo aquel que es causado por actividad tectónica debida a que el desplazamiento de las grandes placas terrestres genera presiones indescriptibles, las cuales liberan energía en un perímetro mucho más amplio que el de una explosión o actividad volcánica¹³.

Las presiones que se generan en el interior de los flujos de magma por debajo del subsuelo causan esfuerzos por fricción, los cuales al momento de liberarse generan ondas vibratorias que se propagan usando como medio de disipación los estratos rocosos circundantes.

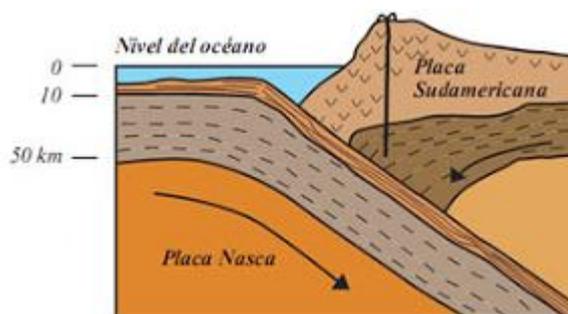


Figura 5

Punto de choque entre dos placas tectónicas.

¹² (IMPRES, Manual de adiestramiento para la prevención sísmica 2013)

¹³ (Bazán y Meli 2004)

La figura 5 muestra el proceso de subducción entre placas tectónicas, este es el mismo mecanismo de falla que tiene concurrencia a lo largo de cinturón de fuego del pacifico donde se ubica nuestro país, las vibraciones producidas por eventos sísmicos ponen en peligro la integridad de las edificaciones sobre el manto terrestre. Estas ondas vibratorias inducen esfuerzos importantes en los elementos estructurales de los edificios muchas veces conduciendo a estos a la falla.

No solo las ondas de vibración pueden afectar a los edificios, hay otros efectos sísmicos que concurren dentro del fenómeno sísmico que a pesar de no centrarse dentro de la estructura afectan al estrato donde se encuentran sus cimientos como es el caso de la licuefacción de los suelos o los deslizamiento.

Existen instrumentos que permiten la medición aproximada de la energía que liberan los eventos sísmicos uno de estos es el sismógrafo el cual permite identificar el epicentro y punto focal donde se origina el choque de placas, otro instrumento de amplio uso en la ingeniería civil es el acelerógrafo el cual proporciona la variación de aceleraciones en el tiempo tomando como punto un lugar determinado.

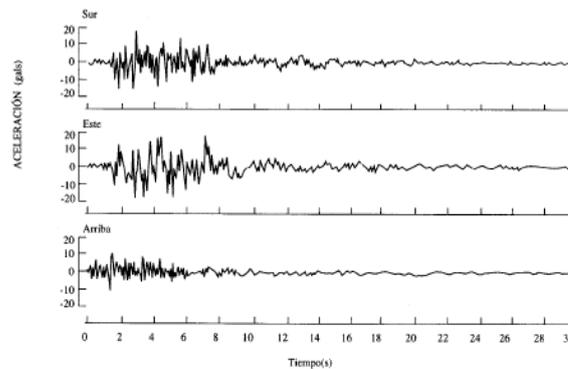


Figura 6
Registro de aceleración en tres direcciones ortogonales¹⁴

La figura 6 muestra el registro típico arrojado por un acelerógrafo convencional el cual contiene las aceleraciones del suelo en dos componentes horizontales y una componente vertical, de esto parámetros se parte para determinar la aceleración máxima del suelo durante el evento sísmico y sus efectos en las edificaciones cercanas a la zona de medición.

Estudios geológicos realizados durante varios años permiten apreciar un

¹⁴ (Bazán y Meli 2004)

fragmento de la historia sísmica en zonas a las que se denominan sismogénica, cabe destacar que las zonas sismogénica no son heterogéneas por lo que se pueden producir eventos sísmicos de diferente magnitud dentro de una misma zona. En el año de 1954 Gutenberg y Richter relacionaron el número de años promedio en que concurren dos eventos sísmicos de cierta magnitud en una ecuación compacta para definir a breves rasgos el grado de actividad sísmica de una zona sismogénica tratando de predecir futuros eventos sísmicos, sin embargo, estas relaciones son sumamente erráticas por lo que las ecuaciones propuestas no son exactas¹⁵.

2.5. SISMO 16 DE ABRIL DEL 2016 – ECUADOR

Datos facilitados por el Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional indican que el fenómeno sísmico suscitado la noche del sábado 16 de abril a las 18h58 alcanzó una magnitud de 7,8 Mw con epicentro ubicado en la provincia de Manabí, cerca de la ciudad de Pedernales a una profundidad de 20 Km y que se originó debido al desplazamiento entre la Placa de Nazca que se sumerge debajo de la placa Sudamericana creando lo que se conoce como proceso de subducción de placas tectónicas.

Estudios subsecuentes determinaron que el evento sísmico tuvo un sismo premonitor a las 18h45 con magnitud 5.0 Mw. En los meses posteriores se reportaron varias réplicas con magnitudes menores que oscilan entre 3.0 y 6.3 distribuidas en zonas desde Punta Galera al norte de Esmeraldas hasta la ciudad de Manta al Sur de Manabí tal como se muestra en la figura 7¹⁶.

¹⁵ (AGUIAR y D.BOLAÑOS. 2007)

¹⁶ (E. P. Instituto Geofísico, INFORME SÍSMICO ESPECIAL N. 13 2016)

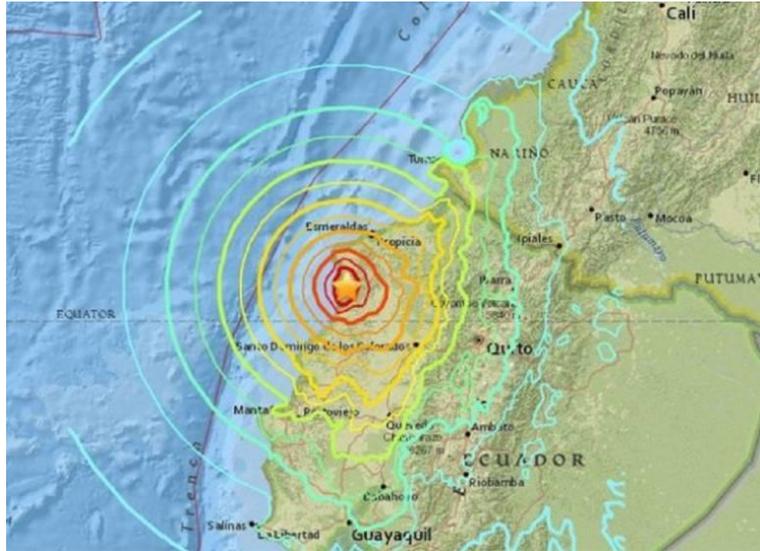


Figura 7
Zonificación de afectación sísmica y de réplicas¹⁷

En el informe sísmico especial #17 dado a conocer por el Instituto Geofísico se detalla que se registró las aceleraciones sísmicas en base a las 15 estaciones más cercanas, la aceleración máxima registrada fue de $108,84 \text{ cm/s}^2$ en la estación denominada ASDO ubicada en la provincia de Santo Domingo, en otras estaciones los valores fluctúan de 15 a 51 cm/s^2 .

La intensidad del sismo fue determinada mediante la utilización de la escala EMS 98, se realizó una campaña de campo con el fin de recabar información visual mediante el reconociendo de los daños existentes en áreas afectadas a lo largo del territorio nacional, luego de esto se determinó que la intensidad máxima según la escala EMS 98 fue de grado 9 en las inmediaciones de Pedernales y San José de Chamanga donde se notó el colapso de un gran número de edificaciones vulnerables; en otras ciudades como Bahía de Caráquez, Canoa, Jama, Portoviejo, Manta la intensidad de los daños llega a un nivel 8 en la escala EMS 98 a continuación se representará gráficamente en la figura 8 la zonificación de intensidades y daños causados por el evento sísmico del 16 de abril¹⁸.

¹⁷ (E. P. Instituto Geofísico, INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.17 2016)

¹⁸ (E. P. Instituto Geofísico, INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.16 2016)

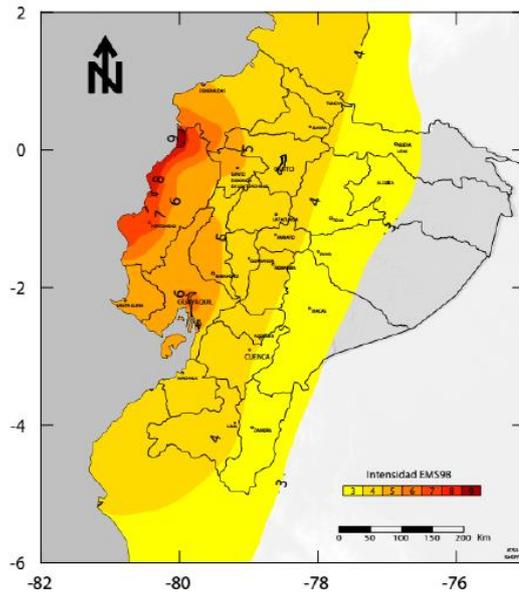


Figura 8
Escala EMS 98 para intensidad del sismo del 16 de abril¹⁹

2.6. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS POST-SISMO

Cada país ha considerado su propia metodología de evaluación para las edificaciones que resultan afectadas por fenómenos sísmicos, las diferencia entre una y otra metodología difiere de la actividad sísmica local de cada uno; si se tratase de unificarlas como un todo, entonces sería conveniente distinguir bajo que parámetros se basa cada una de ellas, a continuación se resumirá esta clasificación de métodos evaluativos en la figura 9²⁰.

¹⁹ (E. P. Instituto Geofísico, INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.18 2016)

²⁰ (Gil Mancipe 2015)

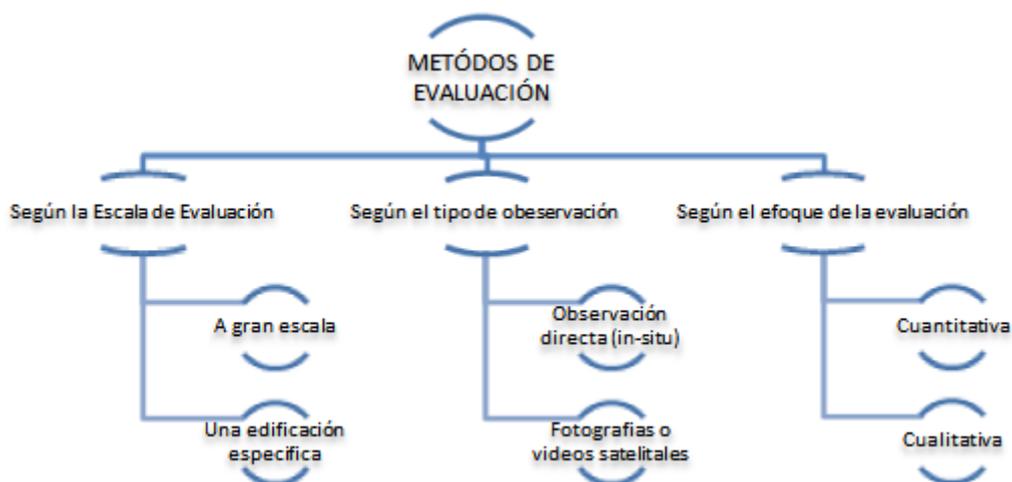


Figura 9
Organigrama de clasificación de metodologías de inspección de edificaciones post-sismo.

El país vecino Colombia cuenta con dos organismos como son la FOPAE y la AIS quienes gracias a sus años de investigación y personal capacitado en el área de obras civiles desarrollaron varios documentos correspondientes al tema sísmico, a continuación se resume el proceso de inspección descrito de un documento en particular denominado: “Manual de Campo para la Inspección de edificaciones después de un sismo”²¹. El procedimiento de inspección comienza con el reconocimiento del área afectada, se examinan las edificaciones y al mismo tiempo se llena un formulario de identificación para esto se debe seguir a cabalidad los siguientes pasos:

- Observaciones exteriores del edificio; identificar el tipo de estructura, calidad de la construcción, irregularidades, daños generales, estado de edificaciones colindantes, puntos de salida de emergencia en la edificación.
- Observaciones en el estrato de cimentación y alrededores; hundimientos, deslizamiento, licuefacción.
- Evaluación interna; evaluación de seguridad de elementos no estructurales como cielos rasos y escaleras, identificación de daños en miembros estructurales.

En Chile luego del sismo de gran magnitud del 2010 la PUC propuso un

²¹ (FOPAE-AIS 2009)

“*Sistema de evaluación estructural rápida post-sismo de edificios e infraestructura*” para la implementación de la plantilla de evaluación se revisaron 13 formularios de países como Japón, Turquía, Italia, Estados Unidos, etc. El proceso evaluativo rápido continúa con un segundo proceso de evaluación exhaustiva en miembros estructurales previamente identificados para luego de esto proceder a la reconstrucción o demolición según sea el caso²².

Desde 1999 en Madrid – España se sienta el precedente para la conformación de una normativa que recopile criterios de conservación, rehabilitación y evaluación de daños de las edificaciones, este hito fue el punto de partida para que cada municipio formulara sus propias normativas referentes a la inspección de edificaciones, otro evento que ayudó a impulsar investigaciones en esta área fue el Real Decreto de Ley promulgado el 2011 donde se ratifica y extiende la obligación de las municipalidades a realizar inspecciones a todas las edificaciones en España. La ITE es una inspección técnica cuya ordenanza es obligatoria y se debe realizar no solo después de ocurrir un evento sísmico también se efectúa cada 10 años en edificaciones con más de 30 años de antigüedad la cual fundamenta sus bases jurídicas con la ordenanza de conservación, rehabilitación y estado ruinoso de las edificaciones donde los temas puntuales a referenciar son²³:

- Estado de la estructura y su cimentación.
- Estado de elementos en fachadas tales como cornisas, salientes, vuelos o elementos ornamentales, etc.
- Estado de conservación de cubiertas y azoteas.
- Estado de sistemas sanitarios y de agua potable.
- Estado de escaleras y elementos de acceso.

La inspección de edificios post-sismo en Singapur existe desde 1989 debido a la promulgación de la ley de control de construcción, las inspecciones periódicas se llevan a cabo cada 10 años en los edificios cuyo uso sea residencial y cada 5 años en edificaciones de primer orden. El objetivo principal de las inspecciones en Singapur es detectar y corregir los defectos estructurales producidos por la degeneración de las edificaciones con el paso del tiempo, para esto se plantean identificar en un informe los

²² (TÉLLEZ DÍAS 2013)

²³ (Jefatura del Estado 2011)

siguientes puntos:

- Descripción de las condiciones del suelo, de la forma, el sistema estructural, los materiales utilizados y la identificación de redundancias.
- Estudio y análisis de las condiciones de carga.
- Observación minuciosa de las señales de defectos estructurales.
- Estudio de las barreras de seguridad y elementos no estructurales.

En Italia se realizan inspecciones de forma preventiva denominada *Fascicolo di fabbricato* cuyo objetivo es descubrir problemas eventuales y realizar intervenciones antes de que se formen problemas mayores, esta práctica tiene orígenes desde el año 1998 tras el derrumbe repentino de un edificio en Via di Vigna Jacobini donde resultaron 27 bajas a partir de este incidente fue evidente realizar peritaje en pro de la conservación del patrimonio arquitectónico que para ese entonces conformaba casi el 70% de las edificaciones existentes²⁴.

El departamento de Riesgos Naturales del CENAPRED en México desarrolló varios procedimientos para evaluar el nivel de seguridad de sus estructuras mediante un proceso de inspección y evaluación tras los efectos dañinos de fenómenos sísmicos de gran magnitud, esta propuesta tuvo su inicio luego de una serie de eventos sísmicos ocurridos en septiembre de 1985, y se dio gracias a la coordinación de varios grupos civiles como son la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. El objetivo principal de este programa fue elaborar un formato único de inspección a través del cual se pueda recopilar información que posteriormente será almacenada en una base de datos, esto sumado a la conformación de un grupo de profesionales en Ingeniería Civil y Arquitectura los cuales serán convocados en caso de un desastre. Esta propuesta es un instrumento y herramienta de consulta en tiempo real que permite interpretar la información de manera clara y fácil a pocas horas de concurrencia del evento sísmico.

2.7. NORMATIVAS DE DISEÑO SÍSMICO

Las normativas de diseño sísmico establecen requisitos mínimos para la formulación de proyectos de viviendas y edificaciones, cuentan con exigencias que

²⁴ (Hurtado Gajardo 2011)

deben cumplir los equipos y materiales utilizados para precautelar la presencia de patologías constructivas en la edificación las cuales aumentan el requisitos según el país donde fue formulada la normativa, y difiere en cuanto a las exigencias de acuerdo a la zona sísmica en que se encuentre en cada país.

Según el uso de la estructura se categoriza su importancia, a mayor importancia mayor serán los parámetros de seguridad establecidos en las normas, una característica importante de las normativas de diseño sísmico es que cuentan con una zonificación detallada de los estratos presentes en el territorio del país donde son redactadas, además se clasifica el suelo bajo la cimentación para caracterizar aspectos de diseños y consideraciones según sea el caso. Se reconoce que la regularidad estructural en las edificaciones ayuda a predecir respuestas sísmicas confiables y esto a su vez influye en el método de análisis a utilizar; por lo general los métodos de análisis son dinámicos y se caracterizan por representar la situación más desfavorable donde la envolvente de fuerzas sísmicas concurren en el centro de masa del edificio, y además se considera la posibilidad de la rotación en planta.

En Ecuador se introduce el concepto de riesgo sísmico en la normativa CEC-2000 el cual establece como objetivo principal un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para el diseño de estructuras que a lo largo de su vida útil reciban esfuerzos procedentes de fenómenos sísmicos; es entonces cuando se vuelve de interés público reducir en lo posible fallas en miembros estructurales relacionadas a la acción sísmica de próximos movimientos telúricos y literalmente se ofrece una alternativa de cálculo y diseño sismo-resistente²⁵.

En la actualidad la normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) ha afinado los procesos de análisis y parámetros de diseños sismo-resistente además de que contempla la utilización de normas extranjeras con criterios acordes a precautelar la integridad estructural ante fenómenos sísmicos tales como son²⁶:

- ASCE7-10; Establece las cargas mínimas para edificios y otras estructuras.
- ASTM D 2166, 2850, 4318, 5777; Estipula los ensayos necesarios y métodos de prueba en estudios de suelos.

²⁵ (INEN 2000)

²⁶ (MIDUVI, NEC_SE_DS_Peligro_Sísmico 2015)

- ATC-33; Es una guía práctica para la rehabilitación de edificios.
- HEHRP; Es un programa enfocado a la reducción de riesgos sísmicos.
- FEMA-440; Procedimientos para mejorar el análisis sísmico no lineal.

2.8. ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO²⁷

Al entrar al análisis sísmico de edificaciones el primer paso es realizar el análisis estático de la estructura, las normas de diseño sismo resistente simplifican la búsqueda de valores para los métodos de análisis aceptando como premisa que tienen un comportamiento elástico lineal es entonces que para su análisis la normativa ecuatoriana permite para este caso de estudio el uso de métodos basados en fuerzas. El objetivo general del análisis sísmico estático es comprobar que la estructura resista las fuerzas sísmicas horizontales actuantes para esto se asume una fuerza lateral equivalente que se usará como fuerza sísmica de diseño y la cual se hará actuar en forma no concurrente en los ejes X, Y, Z de la estructura.

Cada país tiene su propia norma referente al diseño sismoresistente, a su vez cada norma requiere de criterios específicos y métodos de análisis pero todas ellas utilizan el método estático como base de estudio, y como requisito mínimo para todas las estructuras.

La estimación del periodo fundamental de vibración de una estructura nos guía al cálculo del cortante basal, la distribución de la fuerza del cortante basal considera una distribución lineal para el modos fundamental de vibración, mediante la aplicación del cortante basal en cada nivel de la edificación se generan las fuerzas horizontales.

El cortante basal es la fuerza lateral que representas el efecto del movimiento del suelo en el nivel de la base, producida por la aceleración del suelo, que se produce en cualquier sistema con N-grados de libertad. Al realizar el análisis estático el cortante basal representa la sollicitación sísmica mediante un conjunto de fuerzas que están distribuidas de manera horizontal y actúan en cada nivel de la edificación como se ilustra en la figura 10.

²⁷ (MIDUVI, NEC_SE_DS_Peligro_Sísmico 2015)

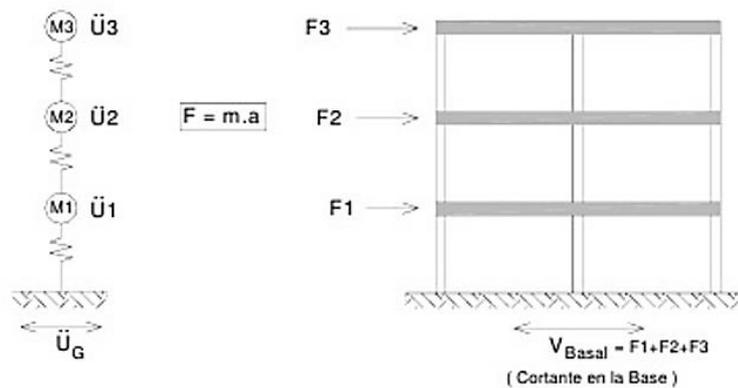


Figura 10
Cortante basal

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el cortante basal se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 5.1:
$$V = \frac{I Sa}{R \phi_p \phi_e} W$$

En la expresión, el valor “I” se refiere a un factor que depende de la ponderación del edificio según su importancia, “Sa” es la ordenada correspondiente en el espectro elástico horizontal tomada a partir de la aceleración sísmica máxima en el terreno, en función del periodo fundamental de la estructura analizada, “R” es un factor de reducción de la resistencia presente según el tipo de configuración estructural en el edificio, “ $\phi_p - \phi_e$ ” son factores de reducción que dependen de las irregularidades tanto en planta como en elevación.²⁸

2.9. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO²⁹

La tipología de métodos de análisis para el comportamiento dinámico de una estructura toma en consideración la resolución de ecuaciones de movimiento además de datos del análisis estático. La figura 11 representa la diferencia de usos entre el espectro elástico de diseño y el espectro de respuesta.

²⁸ (D. d. MIDUVI, NEC_SE_DS_Peligro_Sísmico 2015)

²⁹ (D. d. MIDUVI, NEC_SE_RE_Riesgo_Sísmico 2015)

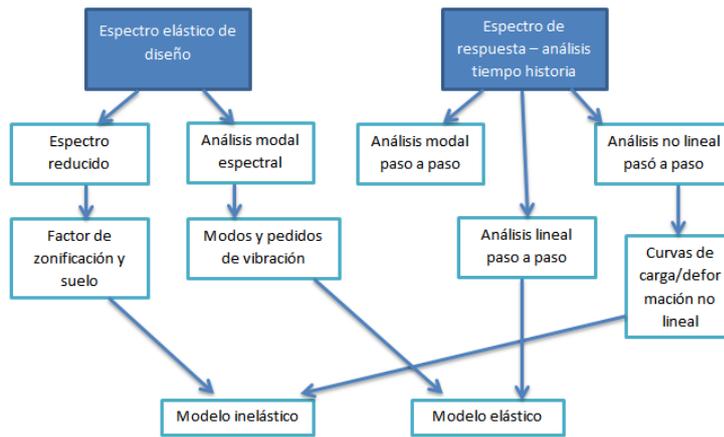


Figura 11
Métodos de análisis dinámico.

Las normativas de análisis y diseño sismo resistente toman como análisis dinámico básico el análisis modal espectral, el cual implica una simulación de los efectos de deformaciones y esfuerzos de los elementos al ser sometida la edificación ante el espectro sísmico de diseño.

El término espectro de respuesta fue inicialmente propuesto en 1932 por el Ingeniero estadounidense Maurice Biot convirtiéndose en una importante herramienta para la actual dinámica estructural y sobre todo en el diseño sismo resistente, se puede resumir al espectro como un gráfico que muestra la respuesta máxima alcanzada por una acción dinámica en una edificación que oscila con un grado de libertad en su base.

El espectro de respuesta es un valor que se utiliza para medir la reacción de una estructura cualquiera que sea ante el suelo que la soporta, caracterizando los movimientos sísmicos y el efecto sobre las estructuras, además el espectro de respuesta se encuentra sumando los máximos en valor absoluto, de la respuesta dinámica para todos los sistemas estructurales posibles de un grado de libertad con el mismo amortiguamiento, para una componente particular de un sismo, por ejemplo la Norte-Sur o Este-Oeste. El espectro de Respuesta es función del período de vibración T del sistema, y del amortiguamiento.

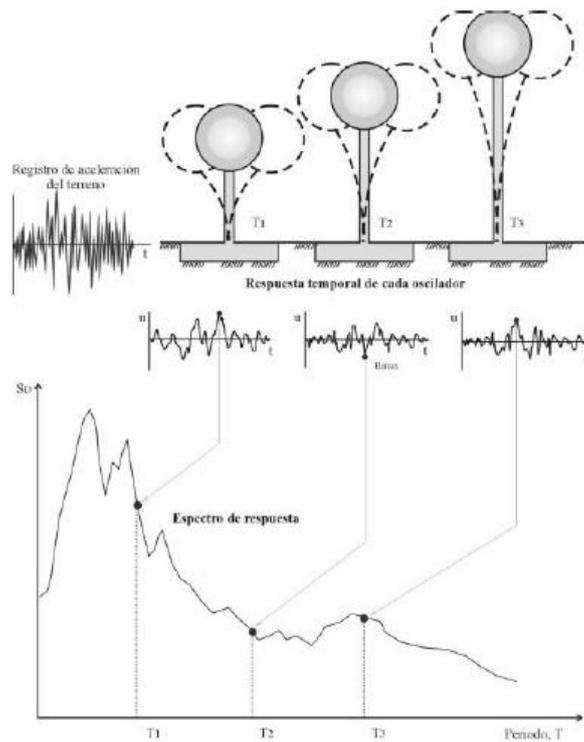


Figura 12
Método de determinación del espectro de respuesta.

En la figura 12 se describe el procedimiento para la obtención de un espectro de respuesta en particular, para explicarlo supongamos una serie de edificios representados por sistemas dinámicos de un grado de libertad los cuales están representados por osciladores, cada uno tiene un periodo de vibración propio, si sometemos a todos los osciladores a recibir una fuerza sísmica horizontal cada uno de ellos mostraran una respuesta diferente; seguido a esto se puede calcular un historial de desplazamientos representados gráficamente en función del periodo de vibración de cada oscilador es así como se obtiene un espectro de respuesta de desplazamientos, de manera análoga se puede representar a las máximas aceleraciones y a las máximas velocidades, con lo que se obtienen los espectro de respuesta de aceleraciones y espectros de respuesta de velocidad, respectivamente.

Generalmente en todo análisis sísmico dinámico se analizan tres tipos de espectro: el espectro de respuesta elástica que representa la respuesta máxima ante un sismo, el espectro de respuesta inelástico similar al anterior pero para este se supone un comportamiento no lineal representando la ductilidad de la edificación y el espectro de diseño que supone mediante un procedimiento estadístico una curva suavizada que

representa eventos sísmicos típicos en un zona de estudio.

En lo que se refiere a los espectros de diseño se han desarrollado varias metodologías aplicables basadas en procedimientos estadísticos entre ellos el más usual es el valor promedio de la desviación estándar de una muestra representativa de varios terremotos, la particularidad de esta metodología es que si los sismos son similares la desviación baja y la curva espectral se estabiliza nominalmente de modo que la dispersión de datos conduce a resultados más confiables. La norma ecuatoriana contempla una metodología diferente que se basa en la determinación de una curva que toma en consideración como variables las características geotectónicas del lugar de estudio también se lo conoce como espectro de diseño en aceleraciones.

2.10. REHABILITACIÓN DE EDIFICACIONES AFECTADAS POR EVENTOS SÍSMICOS DE GRAN MAGNITUD.

Al realizar la evaluación de edificaciones luego de catástrofes sufridas por fenómenos sísmicos el tema central gira alrededor de medir la vulnerabilidad de las estructuras que no colapsaron, para este caso se hace necesario crear una planificación en torno a la rehabilitación para llevar a esas estructuras a un nivel mínimo de vulnerabilidad ante otro evento sísmico de igual o mayor magnitud y garantizar que sus miembros mantenga seguridad y confiabilidad a lo largo de su vida útil sobre todo cuando hablamos de edificios que brindan servicios esenciales como los hospitales y las instituciones educativa.

Cuando se recurre a la rehabilitación estructural de un edificio lo primero que debe tener en cuenta el diseñador es que va a cambiar la rigidez, la resistencia, la masa y la capacidad dúctil de los elementos que conforman el edificio; luego de esto el diseñador obligado a plantear un nuevo estado de amortiguamiento para contrarrestar la demanda sísmica. La forma más fácil de reducir la demanda sísmica es optando por el alivianamiento de la estructura, esto a su vez reduce el desplazamiento lateral y el periodo de oscilación³⁰.

El alivianamiento en nuestro medio es algo difícil de lograr debido al uso extendido de materiales, hasta que se logra la industrialización de materiales más

³⁰ (ACEROS AREQUIPA S.A. 2010)

ligeros, de mejor calidad y a precios razonables se considera tomar otras opciones como aumentar la rigidez a partir del aumento de sección de los miembros estructurales; esto se logra mediante el encamisado. El incremento de la resistencia en los edificios generalmente se realiza en uno o varios elementos en zonas específicas añadiendo un refuerzo estructural y aumentando la sección de concreto al mismo tiempo.

En años recientes al hablar de rehabilitación estructural se hace referencia al reforzamiento con fibras de carbono o de vidrio de alta resistencia las cuales son adheridas mediante un epóxico al miembro estructural que se desee reforzar, si se realiza de forma correcta este reforzamiento aumenta la resistencia a la flexión y a la fuerza cortante debido a que el recubrimiento actúa como un elemento confinante que aumenta la capacidad dúctil de las secciones. Se prevé que en unos años se popularice aún más esta técnica de reforzamiento ya que a diferencia del encamisado no aumenta el peso propio de la estructura y al ser un elemento prefabricado sus propiedades no variarán por efecto de las variables en-situ.

Según el caso que fuere se requiere de una rehabilitación global, tradicionalmente esta medida genera la necesidad de la construcción de muros de hormigón que puedan resistir los efectos cortantes mediante la ubicación estratégica de los mismo; el edificio obtiene un mayor empotramiento y a su vez inercia en su base mejorando su comportamiento en las direcciones ortogonales donde influyen las componentes del sismo. La construcción de muros resistentes al efecto cortante también es una forma de incremento de la rigidez mediante el aumento de sección.

El reforzamiento mediante riostras o diagonales metálicas también es una metodología muy usada, sobre todo en edificaciones donde no se quiere que la intervención dañe el valor patrimonial de la misma, consiste en fijar secciones metálicas en forma de X los elementos arriostrados tienen una mejor distribución de esfuerzo lo que mejora el comportamiento estructural y disminuye las derivas de piso. Este reforzamiento forma parte de los sistemas de reducción de movimiento.

En edificios de gran altura la premisa básica a tomar en cuenta al momento de la rehabilitación es reducir su movimiento producto del periodo de vibración del edificio, dentro de esta demanda por disminuir los esfuerzos sísmicos se destacan los aislamientos en la base y los disipadores de energía como dispositivos de control pasivo, en la última década se ha generalizado el uso de estos dispositivos. Los

disipadores de energía generan resistencia ante el desplazamiento lateral amortiguando las componentes sísmicas así mismo los aisladores en la base separan la estructura de los movimientos del suelo absorbiendo gran parte del esfuerzo sísmico mediante el elastómero de alta densidad en su interior.

2.11. EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO A LA NEC 2015³¹

Los eventos sísmicos presenta la mayor de las amenazas hacia las estructuras, en Ecuador tal como en otros países que se encuentran en zonas con amenaza sísmica hay construcciones hechas informalmente que no cumplen ni siguen ningún código de construcción o de diseño sismo resistente lo que sube de manera abrupta su vulnerabilidad sísmica y las hace propensas a fallar frente al evento telúrico. Cuando se utiliza la norma de construcción como referencia y se siguen cabalmente sus procedimientos la presencia de daños post-terremoto será mucho menor presentando un menor costo de reparación y asegurando la extensión de la vida útil de la edificación.

La norma NEC 2015 tiene 3 objetivos fundamentales como son: prevenir los daños en elementos estructurales y no estructurales, controlar los daños presentes y evitar en el colapso parcial o total de edificaciones; algo muy notorio luego del desastre vivido el dieciséis de abril del 2016 fue ver la inmensurable cantidad de bienes inmuebles colapsados los cuales luego de las evaluaciones hechas se comprobó que no fueron construidos sin tomar en cuenta las normas sísmicas y muchas veces con materiales de baja calidad.

El alcance de la NEC 2015 respecto a la evaluación de riesgo sísmico en edificaciones se centra en la cuantificación de los parámetros como: daños por movimiento de tierra, inestabilidad del terreno, rupturas de la falla sísmica, deslizamientos y licuefacción de los suelos; además presenta cinco tipos de investigación aplicables para el caso de estructuras afectadas por sismos de mediana y gran magnitud.

Como el primero de cinco puntos se tiene la evaluación de la estabilidad y desempeño sísmico del edificio o como se describe en la norma ecuatoriana

³¹ (D. d. MIDUVI, NEC_SE_RE_Riesgo_Sísmico 2015)

“Evaluación BS”, su objetivo es determinar el nivel de desempeño ante eventos sísmicos de una o de un grupo de estructuras a su vez esta evaluación se divide en tres subniveles. Los tres subniveles son aplicables para todos los casos, es decisión del consultor si usarlos todos para incrementar el porcentaje de confianza en los datos adquiridos.

El segundo punto a tratar es la evaluación de estabilidad del sitio o como se describe en la norma ecuatoriana “Evaluación SS”, consiste en la determinación de las fallas sísmicas activas en el sitio además de otros peligros relacionados como inundaciones por fallas en presas, tsunamis, etc. Esta investigación consta de tres subniveles a medida que se asciende cada uno la complejidad de los ensayos requeridos aumenta mientras el nivel de incertidumbre disminuye.

El tercer punto es la “Evaluación BD” o evaluación del riesgo sísmico en el edificio, se centra en la cuantificación de daños y por consiguiente en las pérdidas económicas que conllevan esta evaluación también servirá como premisa para identificar si la edificación puede seguir siendo habitada o este uso debe ser interrumpido. Presenta tres subniveles de investigación los cuales al ser culminados deberán ser presentados como un informe de riesgo sísmico.

2.12. ENSAYOS REQUERIDOS.

Para la evaluación detallada de edificaciones existentes post-sismo se realizan una serie de ensayos que servirán al especialista técnico a obtener datos concisos sobre las propiedades físicas y químicas de los materiales presentes en la edificación, los datos arrojados por esta investigación de laboratorio muestran el estado útil de cada material y las patologías que adquirió con el paso del tiempo. Las metodologías de ensayo se pueden dividir en dos tipos: los ensayos de carácter no destructivo y los destructivos.

El esclerómetro o medición del índice de rebote es un ensayo no destructivo, es un método económico y fácil de realizar, se utiliza para comprobar la resistencia de elementos estructurales hechos de hormigón armado. El tipo de análisis que realiza este aparato se basa en la respuesta que genera un elemento de hormigón en función de su rigidez, al golpear el apéndice del esclerómetro contra la superficie este rebotará

tomando una lectura que indicará la dureza superficial del hormigón se debe realizar varios golpes en diferentes puntos del área a estudiar para luego obtener un valor promedio aproximado.

Las mediciones por ultrasonido pertenecen a los ensayos no destructivos, mediante la propagación de ondas elásticas a través del bloque de concreto permite apreciar la densidad, porosidad, grado de humedad, temperatura y presión de la muestra ensayada; para poder realizar estudios con este tipo de aparato es necesario calibrar la velocidad del ultrasonido en especímenes de laboratorio cuya especificaciones técnicas son las adecuadas.

El georradar es una técnica no destructiva innovadora de la cual aún se siguen realizando estudios para encontrar otras aplicaciones, al igual que las mediciones por ultrasonido consiste básicamente en propagación de ondas en ese caso son ondas electromagnéticas las cuales provocan reflexiones de acuerdo al medio en que se propagan a partir de ser detectadas estas ondas retornantes se puede medir los tiempos de llegada de las mismas de esta manera se puede calcular la distancia de interfaces e irregularidades internas.

La termografía de infrarrojos es un ensayo no destructivo, es muy aplicable en el caso de análisis de edificaciones existentes, este equipo registra de manera exacta la radiación emitida por el concreto haciéndolo un equipo idóneo para la medición de pérdidas y ganancias térmicas en hormigones de temperatura controlada permitiendo detectar de manera puntual zonas donde existan pérdidas de aislamiento y el grado de humedad.

El ensayo de carbonatación es un ensayo químico no destructivo, consiste en la exposición del hormigón a sustancias reactivas como el amarillo de alizarina, la timolftaleína, la fenolftaleína y el azul de timol los cuales producen una coloración en la muestra dependiendo del grado de PH que está presente, este ensayo muestra el estado de conformación y durabilidad del hormigón.

La extracción de núcleos de hormigón es una forma de obtener especímenes de muestra y es un ensayo destructivo, consiste en hacer una perforación con un taladro cuya broca está hueca en el centro para tomar cilindros de concreto el cual luego se puede llevar a laboratorio y realizar los estudios como resistencia, carbonatación, sulfatación, etc. Este ensayo se usa como complementario a la esclerometría para

comprobar los valores expuestos por ella.

Para la evaluación estructural también se hace necesario a parte de los ensayos a miembros estructurales, ensayas los materiales no estructurales como son los bloques de mampostería donde se comprueba la calidad del proceso de elaboración de los mismos, se realizan ensayos de esfuerzo a la compresión para verificar si mantienen una masa constante ante esfuerzos compresivos, además de comprobar las condiciones de corrosión o devaste a las que pueden someterse sin que se altere sus propiedades físicas.

CAPÍTULO TRES

3. ALCANCE DEL ESTUDIO

El trabajo investigativo realizado es de tipo exploratorio y descriptivo, mantendrá la tendencia de un alto nivel de confiabilidad y validez científica mediante el carácter cualitativo del mismo. El trabajo investigativo consistió en la evaluación estructural del edificio Municipal del Cantón Rocafuerte, los métodos de obtención de datos fueron inspecciones técnicas y toma de muestras mediante ensayos tanto destructivos como no destructivos.

Los datos obtenidos mediante la exploración de campo y ensayos de laboratorio fueron tabulados e ingresados en el software de diseño estructural ETABS, en el cual se realizó una modelación en tres dimensiones de la edificación, posteriormente y cumpliendo con lo establecido por la norma ecuatoriana de la construcción se procedió a realizar la simulación sísmica y se verificó que los parámetros arrojados por el software cumplan con las mínimas y máximas ponderadas exigidas para el comportamiento de edificaciones en nuestro país.

3.1. ELABORACIÓN DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

3.1.1. HIPÓTESIS

Una evaluación estructural por medio de la modelación matemática en el software de diseño ETABS permitirá apreciar el comportamiento de la edificación frente a la aceleración sísmica producida por el movimiento telúrico del 16 de abril del 2016 y permitirá determinar su estabilidad estructural frente a un evento sísmico futuro.

3.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Daños ocasionados en el terremoto del 16 de Abril del 2016

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS
Se entiende que los daños por terremoto son a aquellas fallas visibles o no perceptibles a simple vista presentes en las estructuras afectas.	<ul style="list-style-type: none"> ● Daños inmediatos. ● Daños a largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Agrietamiento ● Cizalladuras ● Rotura plástica ● Defecciones ● Torsiones ● Pérdida de fluencia del acero ● Pérdida de propiedades del hormigón ● Mecanismo de falla en miembros estructurales. ● Mecanismo de falla en cimentación 	<p>¿Cómo realizar una evaluación visual post-sismo?</p> <p>¿Cómo realizar una evaluación estructural post-sismo?</p> <p>¿Cómo identificar los daños sísmicos inmediatos y a largo plazo?</p>	<p>Inspección y evaluación visual.</p> <p>Ensayos de materiales.</p>

3.1.3. VARIABLE DEPENDIENTE

Evaluación estructural

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS
Según la norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015) es la validación de la estabilidad tanto de la estructura como del sitio de implantación mediante la evaluación del riesgo sísmico.	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluación de estabilidad y desempeño. ● Evaluación de riesgo sísmico en la edificación. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Esfuerzos permisibles en miembros estructurales. ● Comportamiento estructural frente al sismo ● Comprobación de requerimientos de las normas sísmicas 	<p>¿Cuál es el esfuerzo permisible soportado por los miembros estructurales de la edificación?</p> <p>¿Cuál es el comportamiento estructural de la edificación?</p> <p>¿Cumple con los requerimientos de la normativa sísmica actual?</p>	<p>Modelo matemático en el software de diseño ETABS</p> <p>Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras conforme lo dispuesto en la NEC 2015</p>

3.1.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se planteó como hipótesis que una evaluación estructural por medio de la modelación matemática en el software de diseño ETABS permitirá apreciar el comportamiento de la edificación frente a la aceleración sísmica producida por el movimiento telúrico del 16 de abril del 2016 y permitirá determinar su estabilidad estructural frente a un evento sísmico futuro. Para esto se necesitó realizar una inspección visual de la edificación seguida de una extracción de muestras para realizar los respectivos ensayos de materiales. Una vez tabulado los datos necesarios se realizó la modelación en el software de diseño ETABS en el cual se implementó una base de datos referente a la aceleración sísmica producida por el movimiento telúrico la cual fue medida por la estación sísmica más cercana al sitio y con esto se simuló por computadora el comportamiento de la edificación. Al finalizar el análisis se describió las conclusiones y recomendaciones para el objetivo de esta investigación, es debido a estas premisas que se considera que la hipótesis planteada es factible y se acepta.

CAPÍTULO CUATRO

4. DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. OBJETIVOS

4.1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación estructural del edificio municipal del Cantón Rocafuerte para conocer los daños ocasionados por el terremoto del 16 de abril del 2016 mediante una modelación en el software de diseño ETABS.

4.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los daños estructurales y no estructurales presentes en el edificio municipal del Cantón Rocafuerte realizando una inspección y evaluación visual para constatar su vulnerabilidad.
- Verificar el desempeño estructural de la edificación mediante un análisis del desempeño sísmico utilizando la normativa ecuatoriana.
- Modelar la edificación mediante el software de diseño ETABS como método de comprobación del análisis de desempeño sísmico.

4.2. VERIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS

Para la verificación y validación del cumplimiento del objetivo general se esquematiza el cumplimiento de los objetivos específicos de la siguiente manera:

Para cumplir con el primer objetivo específico se procedió a realizar una inspección visual de la estructura, de esta inspección se obtuvieron evidencias para identificar los daños estructurales y no estructurales. Para cumplir el segundo objetivo y verificar el desempeño estructural de la edificación se utilizaron los comentarios obtenidos en el tercer objetivo el cual consistió en el modelamiento de la edificación en sus condiciones actuales y su comprobación de desempeño sísmico mediante la utilización del software de diseño ETABS, a continuación se describe los procesos realizados para la obtención de datos y elaboración de las respectivas conclusiones y

recomendaciones para cada uno de los objetivos específicos.

4.3. INSPECCIÓN VISUAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE

Mediante una visita técnica se realizó una evaluación visual con el fin de identificar los diferentes daños ocasionados por el fenómeno sísmico del 16 de abril. Se tomaron en cuenta los daños estructurales y no estructurales contraídos por la consecuencia del evento sísmico y sus réplicas, además de las patologías típicas que presentaba la edificación con el fin de analizar si hubo o habrá afectación a corto o largo plazo en los miembros estructurales de la edificación.

La estructura está compuesta por pórticos de hormigón, en los cuales sus miembros estructurales típicos son:

- Columnas de 40x30cm
- Vigas de 50x30cm
- Losa alivianada de 20cm de espesor

Su crecimiento vertical consta de 2 plantas, la planta baja con una altura de 3.80m desde N+00 en contrapiso hasta la parte inferior de la losa y la planta alta con 3.00m desde N+4.00 en superficie de la losa hasta la el cielo falso, la estructura contempla una losa de cubierta en el balcón y cubierta metálica en el resto de su área útil.

Una vista en planta de la estructura muestra que es rectangular y que presenta una abertura en su centro para brindar de luz natural a ambas plantas, a continuación se muestra una vista general de las áreas y espacios internos en los que está ambientada la edificación en las figura 13 y figura 14.

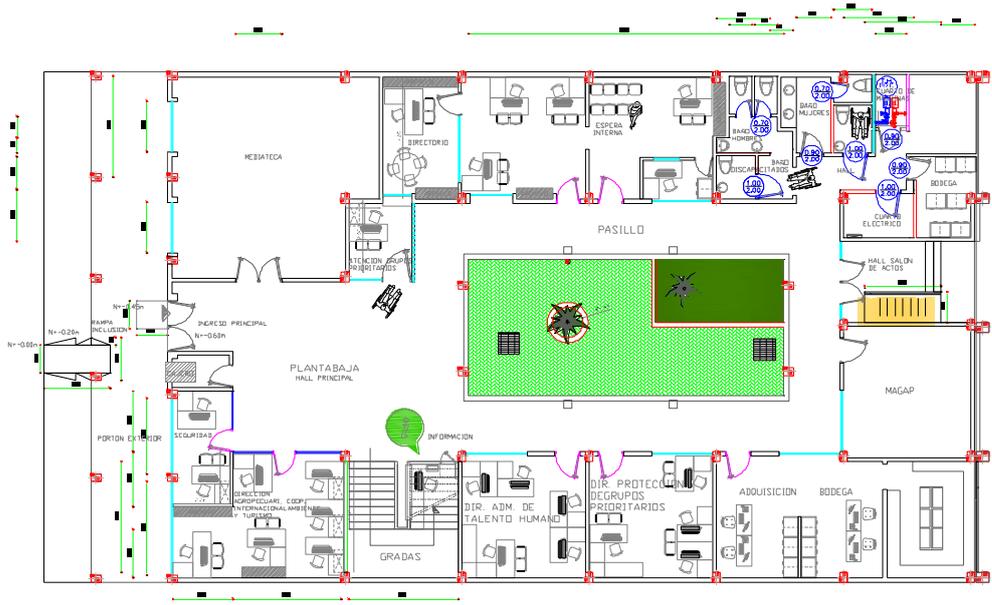


Figura 13
Planta baja de la edificación.

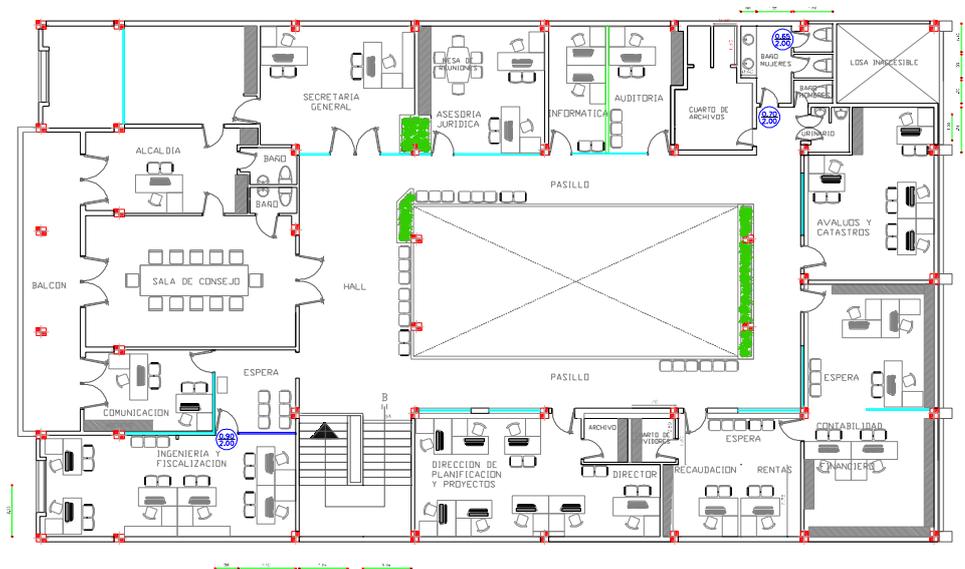


Figura 14
Planta alta de la edificación.

4.3.1. RESUMEN DE DAÑOS NO ESTRUCTURALES OBSERVADOS

Utilizando la vista en planta de las diferentes áreas y espacios internos se procede a realizar la inspección visual en la planta baja (Ver figura 13 y figura 14).

Referencia de ubicación	Área 1 – Mediateca
	<p>Pared (A): Existe separación de la pared en la unión con la cara de la columna.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): Presenta una fisuración por cortante debido a que no está unida a un elemento estructural.</p>
	<p>Pared (D): Presenta humedad excesiva.</p>
	<p>Pared (E): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 2 – Archivo
	<p>Pared (A): Presenta una fisuración por cortante y desprendimiento de enlucido, esta pared es la cara trasera de la pared (C) del ÁREA 1.</p>
	<p>Pared (B): existe una separación de la pared en la unión con la cara inferior de la losa.</p>
	<p>Pared (C): Presenta grieta longitudinal en la unión pared principal y pared nueva (la sección superior de esta pared tubo uno modificación anterior al sismo)</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 3 – Tesorería
	<p>Pared (A): Presenta grieta longitudinal en la unión pared principal y pared nueva además de una serie de grietas que muestran que antes existía una puerta que unía el ÁREA 2 y el ÁREA 3.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>

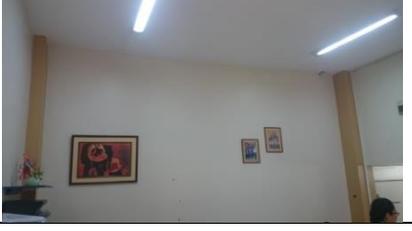
	<p>Pared (C): Existe una separación de la pared en la unión con la cara inferior de la losa.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 4 – Baños
	<p>Las paredes de los baños no presentan fisuras ni desprendimiento de baldosa.</p>
	<p>Las paredes de los baños no presentan desprendimiento de la cerámica en pared</p>

Referencia de ubicación	Área 5 – Dirección de protección a grupos prioritarios
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

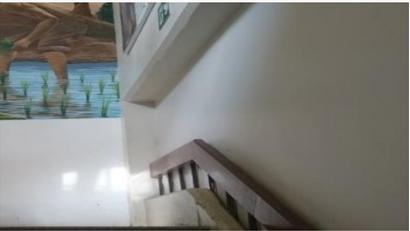
Referencia de ubicación	Área 6 – Adquisición/Bodega
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>

	<p>Pared (C): Pared separada completamente de la cara de la columna y la cara inferior de la losa, esta soportada por la pared de la edificación colindante.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 7 – Dirección de talento humano
	<p>Pared (A): Presenta grieta en pared apoyada sobre la escalera.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

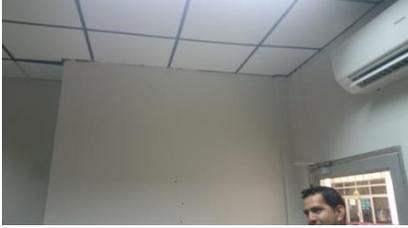
Referencia de ubicación	Área 8 – Dirección de agropecuaria, ambiental y turismo.
	Pared (A): No presenta agrietamiento.
	Pared (B): No presenta agrietamiento.
	Pared (C): No presenta agrietamiento.
	Pared (D): Presenta una grieta transversal poco profunda.

Referencia de ubicación	Área 9 – Guardianía
	La guardianía y la habitación donde se encuentra el cajero automático no presentan agrietamiento.

Referencia de ubicación	Gradas
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (B): Presenta una grieta longitudinal, esta pared es la cara trasera de la pared A del AREA 7.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 10 – Dirección de Planificación de Proyectos
	<p>Pared (A): Presenta separación de la pared en la unión con la cara de la columna.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>

	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>
---	--

Referencia de ubicación	Área 11 – Rentas
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 12 –Contabilidad y Financiero
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>

	Pared (B): No presenta agrietamiento.
	Pared (C): No presenta agrietamiento.
	Pared (D): No presenta agrietamiento.

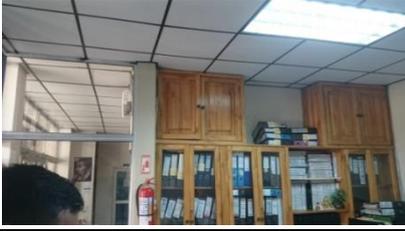
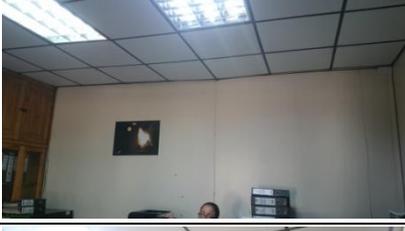
Referencia de ubicación	Área 13 – Avalúos y catastro
	Pared (A): No presenta agrietamiento.
	Pared (B): No presenta agrietamiento.
	Pared (C): No presenta agrietamiento.

	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>
---	--

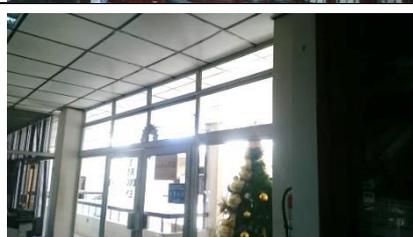
Referencia de ubicación	Área 14 – Baños
	<p>Las paredes de los baños no presentan figuraciones</p>
	<p>Las paredes de los baños no presentan desprendimiento de la cerámica en pared</p>

Referencia de ubicación	Área 15 – Auditoria
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>

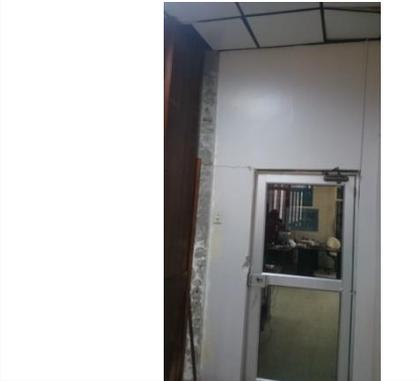
		<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
		<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>
		<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

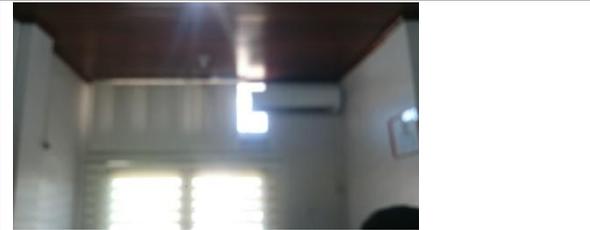
Referencia de ubicación	Área 16 – Accesoría jurídica
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>

	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>
---	--

Referencia de ubicación	Área 17 – Secretaria General
	<p>Pared (A): Presenta agrietamiento longitudinal al dintel de la puerta que comunica con ÁREA 18</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>

Referencia de ubicación	Área 18 – Oficina
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>

	<p>Pared (B): Presenta separación de pared en la unión con la cara de la columna.</p>
	<p>Pared (C): Presenta agrietamiento longitudinal al dintel de la puerta que comunica con AREA 17.</p>
	<p>Pared (D): Presenta agrietamiento vertical, en esta pared existe una puerta que comunica con el ÁREA 19.</p>

Referencia de ubicación	Área 19 - Alcaldía
	<p>Pared (A): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): No presenta agrietamiento.</p>

	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento.</p>
---	--

Referencia de ubicación	Área 20 - Comunicación
	<p>Pared (A): Presenta agrietamiento vertical en la unión de pared A y D.</p>
	<p>Pared (B): No presenta agrietamiento.</p>
	<p>Pared (C): Presenta agrietamiento transversal sobre el dintel de la puerta.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento, gran parte de la pared no es mampostería, es paneleada.</p>

Referencia de ubicación	Área 12 – Obras Publicas
	<p>Pared (A): Presenta agrietamiento transversal en la sección de pared lateral al ventanal.</p>
	<p>Pared (B): Presenta agrietamiento vertical en l totalidad de la altura de la pared.</p>
	<p>Pared (C): Presenta agrietamiento transversal sobre el dintel de la puerta.</p>
	<p>Pared (D): No presenta agrietamiento, Daños no apreciables debido a la estantería.</p>

4.3.2. RESUMEN DE DAÑOS ESTRUCTURALES OBSERVADOS

Este tipo de daños son más específicos y se centran en los miembros como son columnas y viga.

	<p>Columna ubicada en el ÁREA 2 de la planta baja presenta indicios de falla por cizalladura.</p>
	<p>Unión viga columna en escalera presenta una falla por cizalladura</p>
	<p>Columna ubicada en ÁREA 18 de la segunda planta presenta una fisuración por agotamiento</p>
	<p>En la columna del pasillo de la segunda planta existe pérdida de pérdida de material y el refuerzo está expuesto.</p>

	<p>Columnas de pasillo presentan fisuración en pie de columna, posible efecto de columna corta.</p>
---	---

Mediante la observación realizada se puede concluir que el edificio Municipal presenta daño leve en su mampostería, la mayoría de las paredes presentan fisuración leve y separación de la cara de la columna, existen paredes con fisuración transversal o longitudinal extensa sin embargo esto no comprometa la integridad del elemento no estructural, no existe indicio de daño por flexión en vigas y losa.

Existen columnas afectadas por grietas producidas por esfuerzo cortante o torsional, las columnas del pasillo de la segunda planta presenta pérdida de material y fisuración por efecto de columna corta, el acero está expuesto además esta zona está sometida a humedad debido a que existe jardineras colindantes.

4.4. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRAS

4.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Mediante la extracción de núcleos cilíndricos de hormigón obtenidos a partir de la estructura existente se evaluó la resistencia del mismo, estos especímenes serán muestras representativas para conocer la resistencia a compresión que alcanzó el hormigón en los elementos fundidos monolíticamente en todo el edificio, además permitirá determinar si las condiciones in situ fueron óptimas al momento en que se construyó el edificio Municipal del Cantón Rocafuerte acorde con la normativa ASTM C42/C42M – 16 la cual brinda un método de ensayo y procedimientos estandarizados para obtener y ensayar especímenes para determinar la resistencia a la compresión, a la tracción indirecta y a la flexión de concreto colocado. Complementario a esto se realizó la comprobación de carbonatación del hormigón existente³².

Se procedió a escoger 4 columnas en la planta baja y 4 columnas en la planta alta de las cuales se extrajo un núcleo de hormigón de cada una lo que nos da un total de

³² (ASTM 2016)

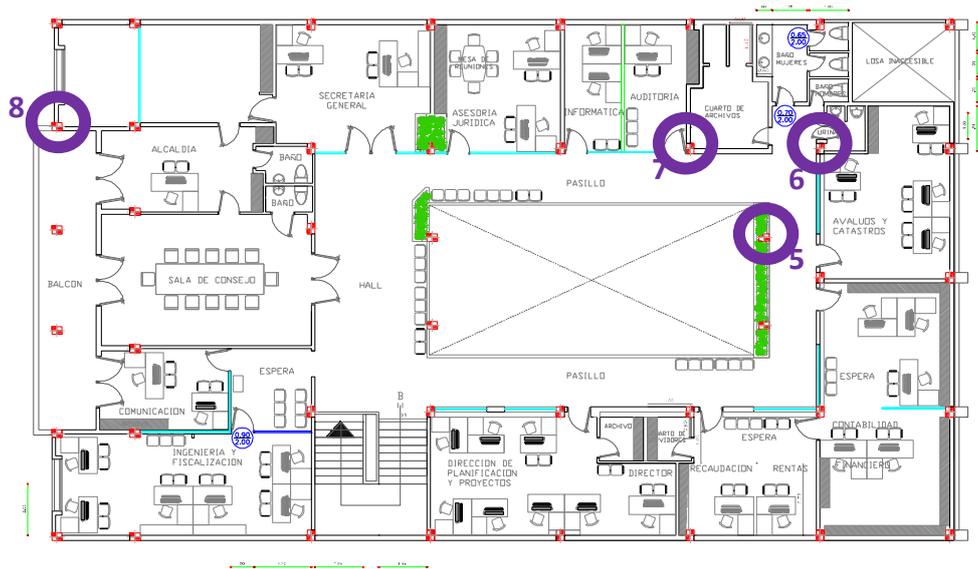


Figura 16
Planta alta de la edificación.

Para la preparación de las columnas se retiró el enlucido o pintura (en el caso de hormigón visto), se midió 90 cm desde el piso y se marcó un cuadrado de 50 cm de alto por el ancho de la columna como se muestra en la figura 17.

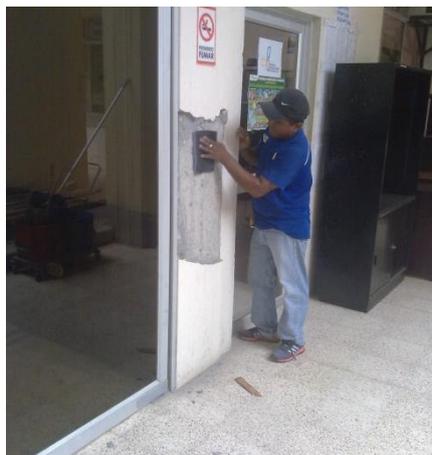


Figura 17
Preparación del área de hormigón

Se utilizó el escáner para localizar y marcar la distribución de los aceros de refuerzo dentro de las columnas como se observa en la figura 18, al delimitar la trayectoria de los aceros se escogió un punto distante de los mismos para proceder a montar el equipo perforador.



Figura 18
Demarcación de estructura de acero

Una vez delimitado el punto de perforación se procedió a montar el equipo perforador, la máquina perforadora de núcleos es semejante a un taladro su diferencia radica en que la broca o pistola se asemeja a un tubo hueco, en el extremo de la broca tiene incrustaciones de diamante que taladran mientras conservan dentro de ella el núcleo, la muestra extraída se envolvió con papel film para evitar la posible contaminación o cambio de sus propiedades físicas.



Figura 19
Proceso de extracción y transporte de núcleo

Se realizó la comprobación de carbonatación con la aplicación de un indicador químico de fenolftaleína. La carbonatación es un proceso corriente en el deterioro del hormigón y resulta de la reacción del hidróxido cálcico con el dióxido de carbono del aire, formando carbonato cálcico y agua. Este proceso es acompañado por la reducción de la alcalinidad del hormigón, lo que favorece la pérdida de la capa de recubrimiento de éste, pudiendo activar el proceso de corrosión de las armaduras en presencia de agua

y oxígeno, lo que lleva a una degradación más acelerada y a una reducción de la durabilidad del hormigón armado³³.



Figura 20
Comprobación de Carbonatación

Se enviaron las muestras extraídas a un laboratorio de hormigones donde fueron cortados de manera que su longitud cumpla la relación 2 a 1 con el diámetro, luego se acondicionó el espécimen por 5 días antes de colocarlo en la máquina de compresión triaxial.

4.4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las tomas de muestras y ensayos fueron realizados por un equipo de ingenieros en la empresa consultora GeoSTUDIOS, de las ocho muestras tomadas solo 6 de ellas cumplieron la longitud requerida para el ensayo debido a que al momento de la extracción se encontraron columnas con bajantes hidráulicas lo cual acortó la longitud de los núcleos; a continuación se resumirá mediante un cuadro los datos facilitados por los técnicos del laboratorio.

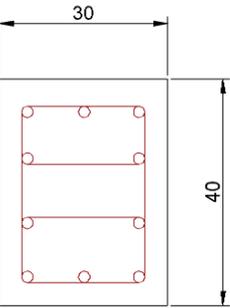
³³ (Ayuntamiento de Madrid, Inspección técnica de Edificios (ITE) 2012)

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN NÚCLEOS DE HORMIGÓN								
Identificación de la muestra.	Referenciación de la muestra	Edad de la muestra (días)	Resistencia requerida (kg/cm ²)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Relación L/D	Resistencia alcanzada (Kg/cm ²)	Observaciones
Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte	Columna 1	+28	210	104	52	2	205.5	-
	Columna 3	+28	210	104	52	2	210.5	-
	Columna 5	+28	210	104	52	2	94.0	-
	Columna 6	+28	210	104	52	2	157.7	-
	Columna 7	+28	210	104	52	2	151.6	-
	Columna 8	+28	210	104	52	2	165.8	-

Nota: Las muestras de las columnas 2 y 4 no alcanzaron la altura requerida debido a que al momento de extraerla los técnicos encontraron que una bajante hidráulica pasaba a un costado de la broca, esta bajante hizo que la muestra se partirá a la mitad al momento de extraerla.

ENSAYO DE CARBONATACIÓN								
Identificación de la muestra.	Referenciación de la muestra	Reactivo Químico	Tipo de reacción	Escala de color	PH requerido	PH obtenido	Estado de carbonatación	Observaciones
Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte	Columna 1	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 2	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 3	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 4	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 5	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 6	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 7	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-
	Columna 8	Fenolftaleína	Coloración		≥12	12	No carbonatado	-

Nota: Un PH por debajo de 9 indica el comienzo del proceso de la corrosión, el hormigón endurecido tiene un rango de PH que va de 12 a 13 (la reserva alcalina está entre 12,6 y 14), además la coloración de las muestras debe ser inmediata y debe permanecer por más de 24 horas.

DETERMINACIÓN DE CUANTÍA DE ACERO.						
Identificación de la muestra.	Referenciación de la muestra	Lectura KΩcm	Confiabilidad %	Armado de acero encontrado	Distribución del acero encontrado	Observaciones
Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte	Columna 1	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 2	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 3	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 4	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 5	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 6	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 7	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-
	Columna 8	85 – 99	92	10 Ø 16mm		-

Nota: Los datos presentados se obtuvieron mediante la observación en el área de extracción de núcleos y con la utilización del escáner, debido a que en la época de construcción de la edificación la estandarización de diámetros de acero tomaba premisas distintas a la actual se buscó el diámetro equivalente al varillado actual³⁴. Debido a que no existe plano estructural del Edificio Municipal se generalizó la distribución y el área de acero para todas las columnas de iguales dimensiones, al no contar con el detalle de anclaje y confinamiento de estribos se propuso uno aproximado relacionado a la distribución de aceros.

³⁴ ADELCA, Acería del Ecuador

CÁPITULO QUINTO

5. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1. MODELADO Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE DE DISEÑO ETABS

Para el modelo tridimensional de edificio municipal del Cantón Rocafuerte se usó los datos recopilados a lo largo de la investigación, a continuación se describirán los parámetros usados para la evaluación estructural.

HORMIGÓN: Mediante la extracción de núcleos se obtuvo 6 especímenes en los cuales se verificó su resistencia a la compresión, debido a los valores dispersos obtenidos se consideró usar una resistencia promedio ponderada de 180 kg/cm² para definir las propiedades del hormigón usado en el modelo matemático del software ETABS.

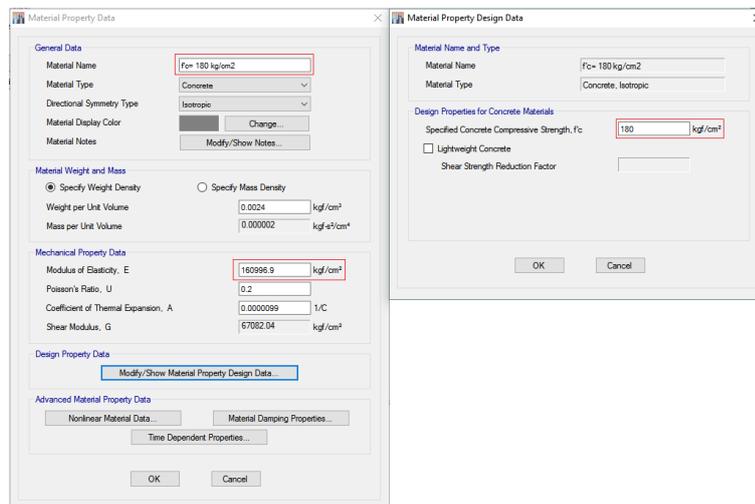


Figura 21
Propiedades del hormigón

ARMADURA DE ACERO: Tomando en consideración el ensayo de carbonatación se asumirá que las varillas de acero presentes están confinadas correctamente y conservan sus propiedades estándar.

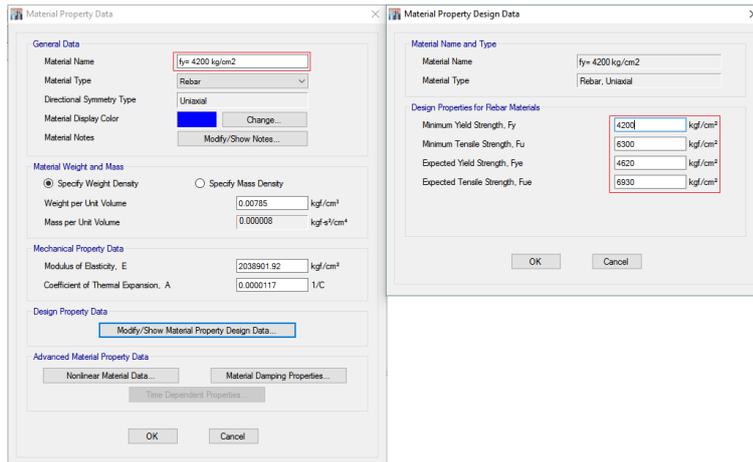


Figura 22
Propiedades de las varillas de acero

COLUMNAS: Realizando las mediciones respectivas en el edificio se encontró que las columnas tienen un área de 40x30 cm, su armadura de acero consta de 10 varillas de Ø 16mm distribuidas como se describe en el cuadro de determinación de cuantías de acero (Ver pág. 59).

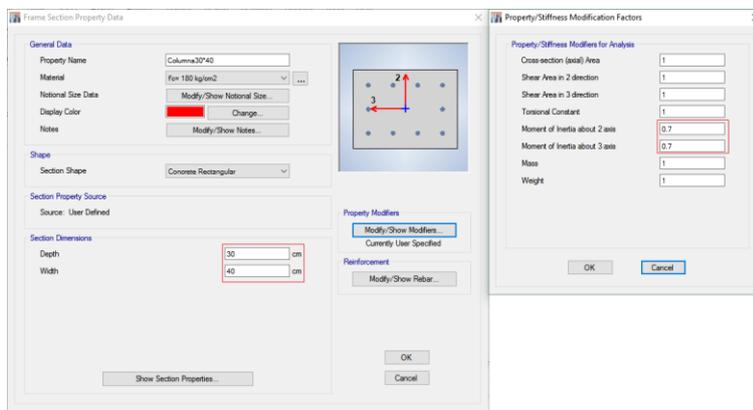


Figura 23
Sección de columnas

VIGAS: Mediante la observación y medición se encontró que el peralte de las vigas es de 50 cm y su base es 30 cm, debido a la falta de un plano estructural que corrobore el detalle del armado de acero, se asumirá una cuantía mínima justificando para elementos que no presentan grandes deflexiones.

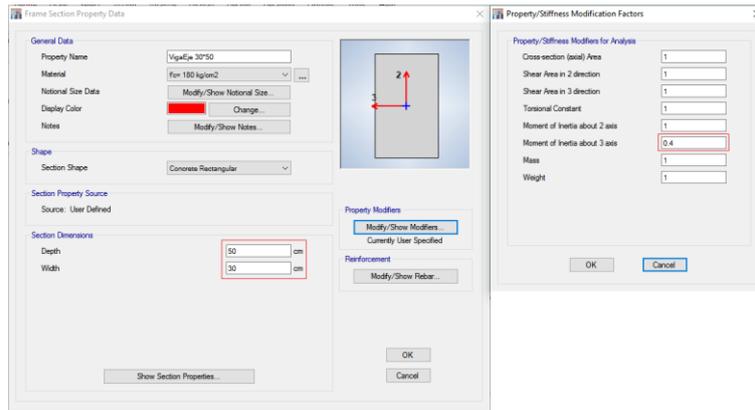


Figura 24
Sección de vigas.

LOSA: La losa existente en el edificio es de tipo aliviada en dos direcciones con un peralte efectivo de 20cm, se la modelo como una losa tipo WAFFLE.

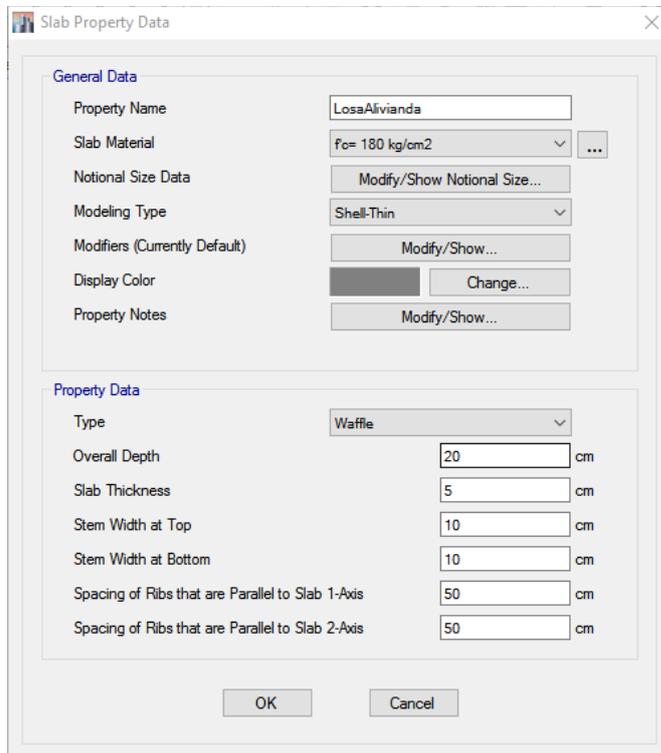


Figura 25
Losa aliviada (Waffle).

CUBIERTA: La edificación tiene una cubierta metálica, debido a que el cielo falso hizo imposible observar el detalle de la misma se optó por definirla como una MEMBRANA de material metálico con 7mm de espesor, se adicioneo cargas muertas correspondientes al área portante de la perfilería metálica.

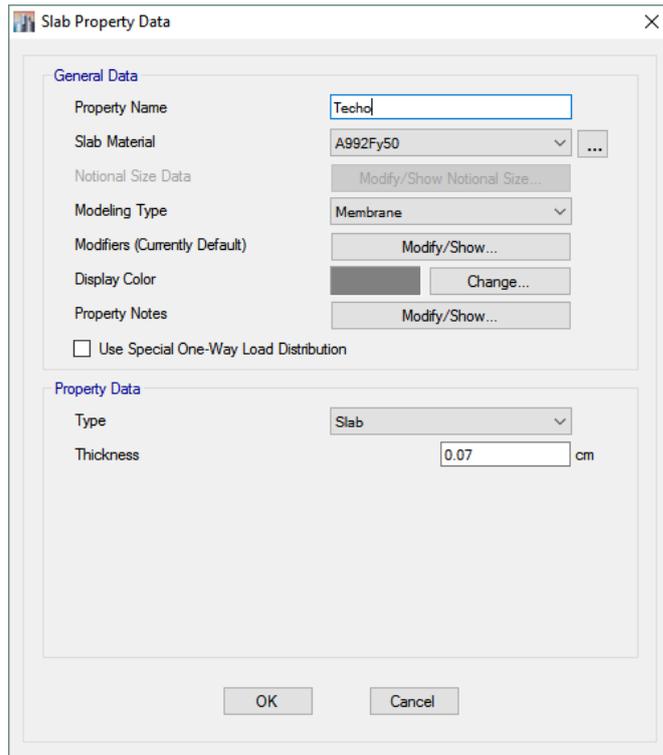


Figura 26
Cubierta metálica

CARGAS ACTUANTES: Se utilizó las tablas de cargas no sísmicas de las normas NEC para la asignación de cargas tanto vivas como muertas actuantes en la edificación como se explica en el siguiente cuadro:

	Losa de entrepiso	Escaleras	Cubierta
Carga Muerta	3,9 KN/m ² (Paredes, enlucidos y acabados)	0,5 KN/m ² (Acabados)	0,25 KN/m ² (Tumbados, etc.)
Carga Viva	4,8 KN/m ² (Edificios de oficinas)	4,8 KN/m ² (Escaleras y rutas de escape)	0,7 KN/m ² (Cubiertas inaccesibles)

Cuadro 1
Cuadro de cargas vivas y muertas

CORTANTE BASAL: Para el análisis estático de la edificación se calculó el cortante basal en el cual se integró una componente en sentido X y otra en sentido Y como se describe a continuación:

Ecuación 10.1:
$$V = \frac{I S_a}{R \phi_p \phi_e} W$$

$I = 1,3$ (Factor de importancia para edificios de uso público)

$S_a = 1,008$ (Espectro de respuesta elástica)

Ecuación 10.2:
$$S_a = \eta Z F a$$

$\eta = 1,8$ (Coeficiente de aceleración del suelo - región Costa)

$Z = 0,5$ (Factor de zona sísmica – Zona VI)

$F_a = 1,12$ (Coeficiente de amplificación de suelo – Suelo tipo D)

$R = 8$ (Coeficiente de reducción de respuesta – Pórticos de HA)

$\emptyset_p - \emptyset_e = 1$ (Coeficientes de configuración en planta y elevación)

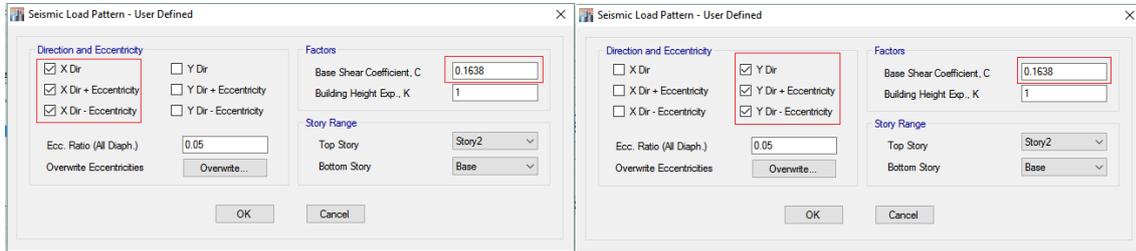


Figura 27
Componentes del cortante basal

ESPECTRO DE DISEÑO ELÁSTICO E INELÁSTICO: Para el análisis dinámico de la estructura se utilizará el espectro de respuesta a las aceleraciones propuesto por la NEC.

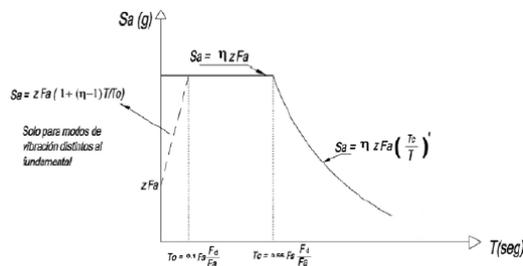


Figura 28
Espectro de respuesta a las aceleraciones

Uso del edificio:	Edificio público		N3
Configuración estructural:	PE1	Pórticos de H.A. con vigas descolgadas	
Tipo de Estructura:	PE1	Pórticos especiales de hormigón	
Tipo de suelo:	D	Suelo rígido	
Lugar o sitio:	Rocafuerte	R-C	Costa (excepto Esmeraldas)
Zona sísmica:	VI		

I =	1.3
R =	8
$\phi_p = \phi_c =$	1
Z =	0.50
$\eta =$	1.80
Fa =	1.12
Fs =	1.40
Fd =	1.11

$$T_o = 0.10 * F_s * \frac{F_d}{F_a} = 0.1388$$

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a} = 0.7631$$

$$S_a = \begin{cases} Z * F_a * \left(1 + (\eta - 1) * \frac{T}{T_o}\right) & \therefore \text{Si } T \leq T_o \\ Z * F_a * \eta & \therefore \text{Si } T_o \leq T \leq T_c \\ Z * F_a * \eta * \frac{T_c}{T} & \therefore \text{Si } T_c \leq T \end{cases}$$

T (seg)	Sa (T)	Espectro Elastico	Espectro Inelastico
		$I * S_a(T)$	$\frac{I * S_a(T)}{R * \phi_p * \phi_e}$
To	0.00	0.5600	0.0910
	0.10	1.0080	0.1638
	0.20	1.0080	0.1638
	0.30	1.0080	0.1638
	0.40	1.0080	0.1638
	0.50	1.0080	0.1638
	0.60	1.0080	0.1638
Tc	0.70	1.0080	0.1638
	0.80	1.0080	0.1638
	0.90	0.8547	0.1389
	1.00	0.7692	0.1250
	1.10	0.6993	0.1136
	1.20	0.6410	0.1042
	1.30	0.5917	0.0962
	1.40	0.5495	0.0893
	1.50	0.5128	0.0833
	1.60	0.4808	0.0781
	1.70	0.4525	0.0735
	1.80	0.4274	0.0694
	1.90	0.4049	0.0658
2.00	0.3846	0.0625	
2.10	0.3663	0.0595	
2.20	0.3497	0.0568	
2.30	0.3344	0.0543	
2.40	0.3205	0.0521	
2.50	0.3077	0.0500	
2.60	0.2959	0.0481	
2.70	0.2849	0.0463	
2.80	0.2747	0.0446	
2.90	0.2653	0.0431	
3.00	0.2564	0.3333	0.0417

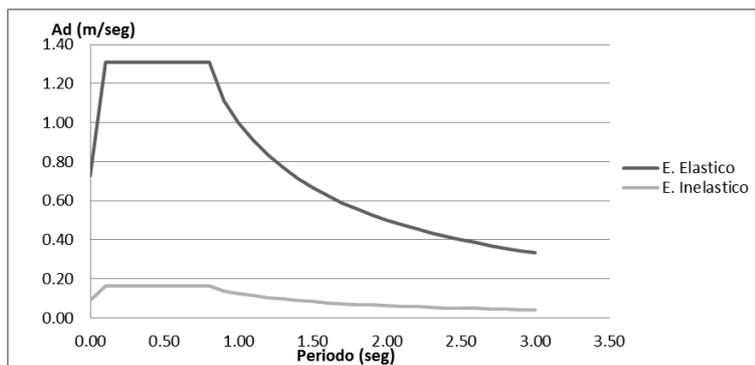


Figura 29

Espectro elástico e inelástico del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte

ESPECTRO SÍSMICO 16 DE ABRIL: Para el análisis del comportamiento adoptado por la estructura se utilizó las componentes Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical medidas por la estación sísmica más cercana al sitio de estudio la cual es la estación Portoviejo – APO1 que forma parte de la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC).

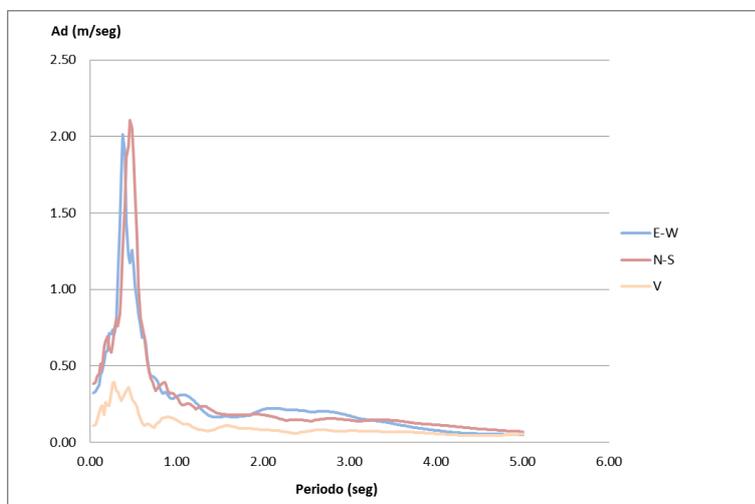


Figura 30

Espectro de respuesta a las aceleraciones

COMBINACIONES DE CARGA: En el presente estudio se considerara las combinaciones de carga básicas para el diseño sísmico donde se comprobará si la edificación cumple con los requerimientos para las sobrecargas máximas propuestas por la NEC, además se comprobarán los casos de combinaciones de carga para efectos de rehabilitación sísmica.

Combinaciones para diseño sísmico	
Combinación 1	1,4D
Combinación 2	1,2D + 1,6L
Combinación 3	1,2D + L +/-E
Combinación 4	0,9D +/-E
Combinaciones para rehabilitación sísmica	
Combinación 1	1,1 (D + 0,25L) + E
Combinación 2	0,9 (D + 0,25L) + E

Cuadro 2
Cuadro de combinaciones de cargas

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2.1. PERIODOS, MODOS Y PROPIEDADES DINÁMICAS

Las propiedades dinámicas de toda edificación hacen referencia a los periodos y modos de vibración de la misma los cuales dependen de su rigidez y la masa aplicada sobre ellos. Al revisar el comportamiento modal de la edificación es preciso poner suma atención en sus tres primeros modos, ya que es en ellos que se representa la máxima vibración antes de alcanzar el rango plástico.

El análisis modal utilizado uso valores de vectores propios basado en la metodología Eigen y considero un total de seis modos de vibración antes de entrar en reposo. A continuación se muestran los tres primeros modos de vibración de la edificación analizada.

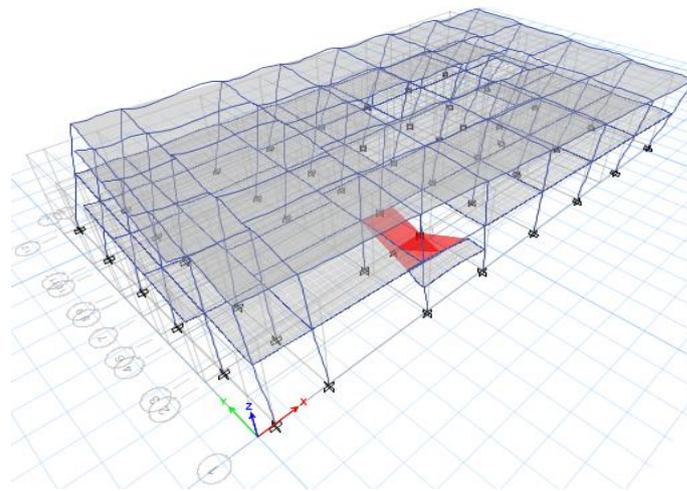


Figura 31
Modo 1 – Periodo 0.381 seg.

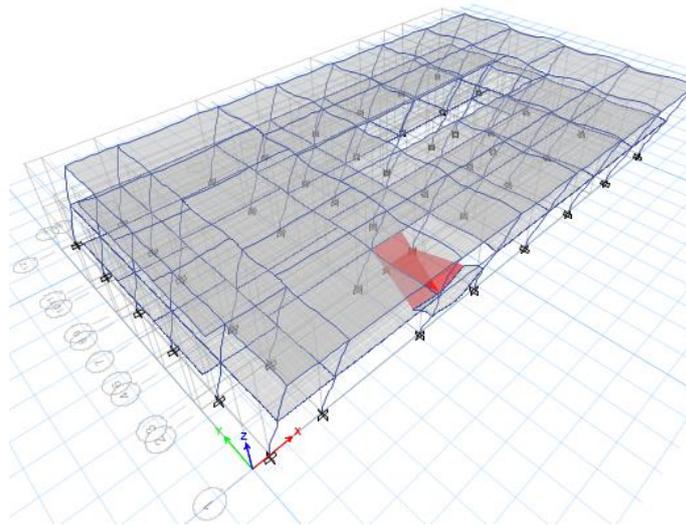


Figura 32
Modo 2 – Periodo 0.362 seg.

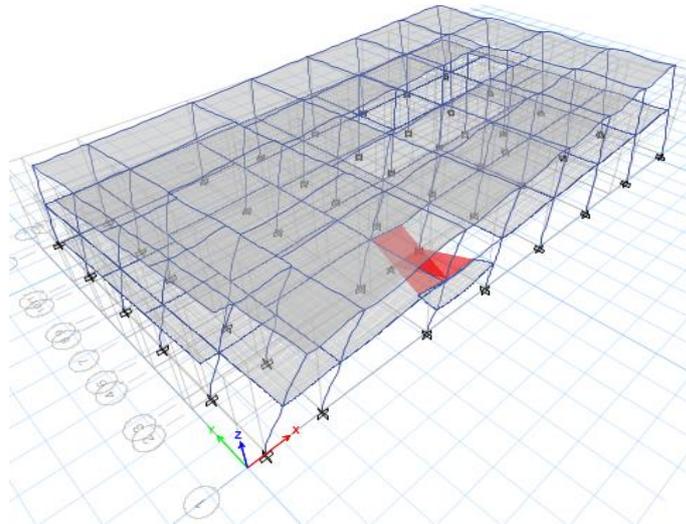


Figura 33
Modo 3 – Periodo 0.336 seg.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.381	0.4685	0.0493	0.4203
Modal	2	0.362	0.0528	0.8638	0.0062
Modal	3	0.336	0.3907	0.0096	0.4941
Modal	4	0.187	0.0144	0.0324	0.0187
Modal	5	0.185	0.067	0.0137	0.0084
Modal	6	0.17	0.0024	0.0286	0.0504

Cuadro 3
Masas nominales participantes para cada modo

Modo	T (seg)	MnX (%)	MnY (%)	MnRZ (%)
1	0.381	46.85	4.93	42.03
2	0.362	5.28	86.38	0.62
3	0.336	39.07	0.96	49.41
4	0.187	1.44	3.24	1.87
5	0.185	6.70	1.37	0.84
6	0.170	0.24	2.86	5.04
ΣMn (%)		99.58	99.74	99.81

Cuadro 4

Resumen de masa nominales participantes

Del cuadro 4 se interpreta lo siguiente: el primer modo de vibración descrito en la figura 31 tiene la tendencia a desplazar su masa hacia el sentido X además presenta una reacción torsional, el segundo modo de vibración descrito en la figura 32 tiene la tendencia a desplazar su masa en el sentido Y, el tercer modo de vibración descrito en la figura 33 presenta un predominante movimiento torsional seguido de una concentración de masa en el sentido X.

Se analiza los tres primeros modos de vibración porque en experiencias recogidas por varios autores se sabe que estos son los mayor esfuerzos causan debido a sus características; el primer modo refleja un estado donde la masa de cada piso se desplaza en dirección X, el segundo modo refleja un estado contrario al primero donde la masa de cada piso se desplaza en dirección Y, el tercer modo refleja la combinación envolvente de ambos vectores donde cada piso se desplaza al contrario que el anterior haciendo que la edificación gira circularmente en torno al centro de gravedad.

5.2.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOMETIDA AL SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016

Se analizó el edificio Municipal del Cantón Rocafuerte durante el evento sísmico, se usó las componentes sísmicas medidas en la estación Portoviejo-APO1 descritas en la figura 30. Se analizó su comportamiento inelástico frente a la aceleración sísmica. Para asemejar el modelo lo más cercano a la realidad se estipulo cargas vivas correspondientes al momento en que ocurrió el evento, el escenario del sismo comenzó a las 18H59 cuando la edificación se encontraba deshabitada por lo que se asumió las siguientes cargas vivas para el análisis sísmico:

	Losa de entepiso	Escaleras	Cubierta
Carga Viva	3KN/m2 (Mobiliario)	0,5KN/m2 (Ornamentos)	0,05KN/m2 (Otros)

Cuadro 5
Cuadro de cargas vivas para evaluación sísmica.

El cuadro 5 muestra las cargas vivas a usar para el análisis de la estructura sometida al sismo del 16 de abril, en la losa de entepiso se consideró como carga viva el peso producido por las estanterías y equipamientos en las oficinas así mismo en las escaleras una carga relativa a ornamentos colocados en ellas y en la cubierta una carga viva mínima considerada por el peso que produce el polvo acumulado en ella. Se redujo el espectro sísmico con un factor $R=8$ (Pórticos de H.A.) para alcanzar el comportamiento inelástico de la estructura.

Como primer punto a analizar está el chequeo de las derivas de piso el cual es una forma de comprobar si la mampostería se verá comprometida al momento de que la edificación reciba las fuerzas sísmicas, en la figura 34 se mostrará mediante un plano cartesiano los desplazamientos en cada piso producidos por las componentes sísmicas N-S (color azul) y E-W (color rojo).

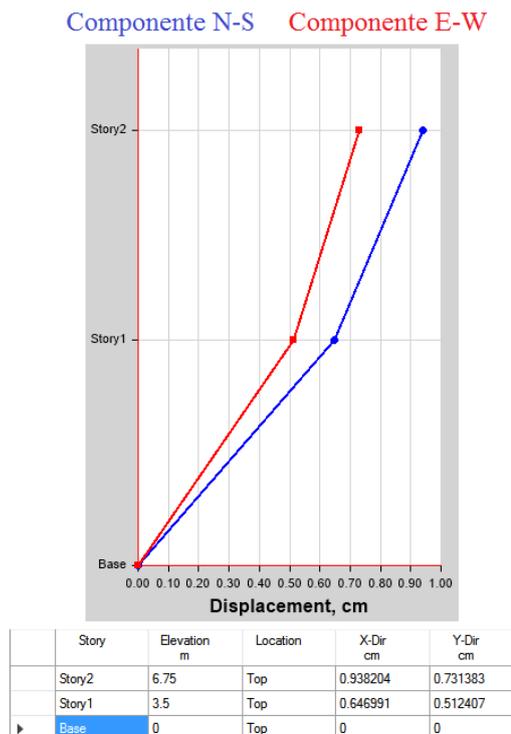


Figura 34
Desplazamientos máximos por piso para sismo 16/04/2016

Piso	Hpiso	Componente N-S		Componente E-W		$\Delta m \text{ máx.} = 0.02H_{\text{piso}}$
		Δe	$\Delta m = R \Delta e$	Δe	$\Delta m = R \Delta e$	
2	325cm	0.28cm	2.33cm	0.22cm	1.75cm	6.50cm
1	350cm	0.65cm	5.18cm	0.51cm	4.10cm	7.00cm

Cuadro 6
Resumen de desplazamientos máximos por piso

En el cuadro 6 se interpreta lo siguiente: los desplazamientos máximos producidos por las componentes del sismo del 16 de abril descritas, en la figura 34 están por debajo del desplazamiento máximo por piso permitido por la norma. De acuerdo con el análisis de la investigación las derivas de piso cumplen con los parámetros establecidos en la norma ecuatoriana, lo cual fue corroborado en las observaciones realizadas durante la inspección del edificio donde se encontró que los daños en la mampostería son fisuras y grietas no muy profundas presentes en zonas aisladas.

En las figuras 35 y 36 se mostrarán los diagramas de corte, momento y fuerzas axiales producidas por la envolvente de las combinaciones de evaluación sísmica del cuadro 2

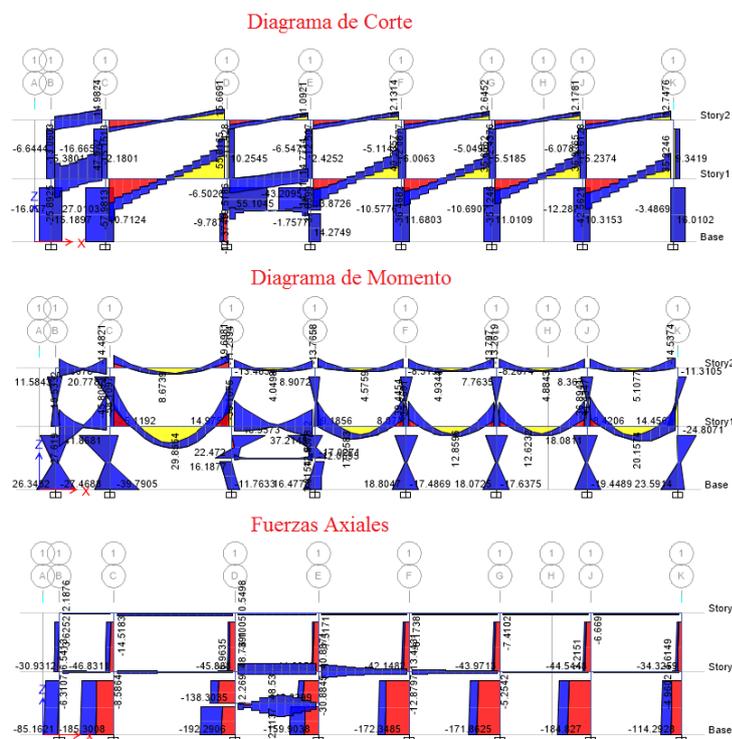


Figura 35
Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje X

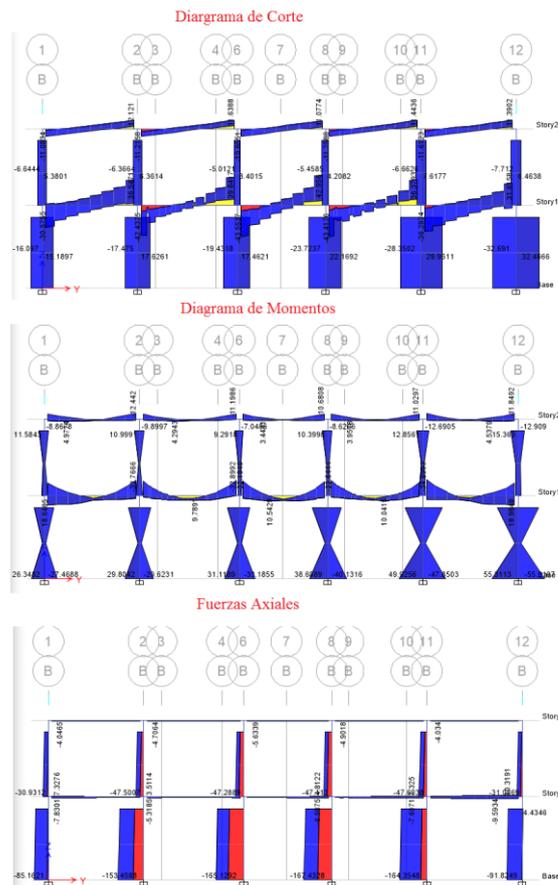
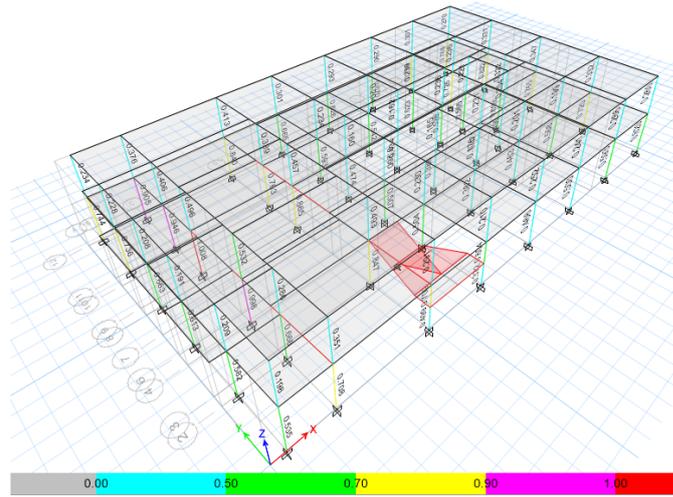


Figura 36
Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje Y

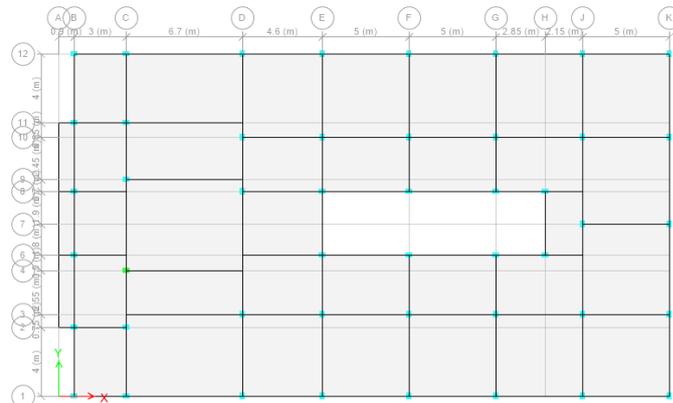
En las figuras 35 y 36 se muestra los diagramas de corte, momento y fuerzas axiales producidas por la envolvente de las combinaciones de evaluación sísmico del cuadro 2. Se puede notar que en la figura 35 las columnas en el tramo A-D sufren de mayores fuerzas cortantes debido al comportamiento torsional de la edificación mostrado en la sección 10.2.1; en la figura 36 se puede notar la concentración de momentos internos en las columnas de la planta baja, las fuerzas de corte en este pórtico presentan mejor distribución de esfuerzo pero sigue existiendo una acumulación en las columnas esquineras.

A continuación se pasará a mostrar la comprobación de capacidad resistente de los miembros estructurales, se visualizara una vista general donde se representa con colores los diferentes grados de esfuerzo producidos por las componentes sísmicas, mediante la vista en planta se analizará con más detalle los elementos sobre esforzados.

Vista General



Vista en Planta - Cubierta



Vista en Planta - Losa de entresuelo

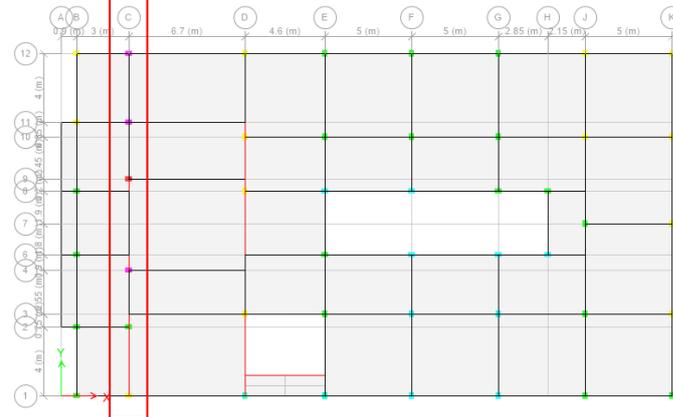


Figura 37

Comportamiento de elementos estructurales durante el sismo 16/04/2016

En la figura 37 se muestra la interacción de los miembros estructurales bajo las combinaciones de carga propuestas en la evaluación sísmica de la NEC, de acuerdo al análisis de la investigación se clasifica cada miembro con una escala de color la cual

hace relación a los esfuerzos inducidos sobre los esfuerzos soportados por el miembro estructural, el color rojo indica que se ha superado la capacidad resistente del miembro por ende el miembro está en un estado sobre esforzado durante la aplicación de las cargas sísmicas de diseño.

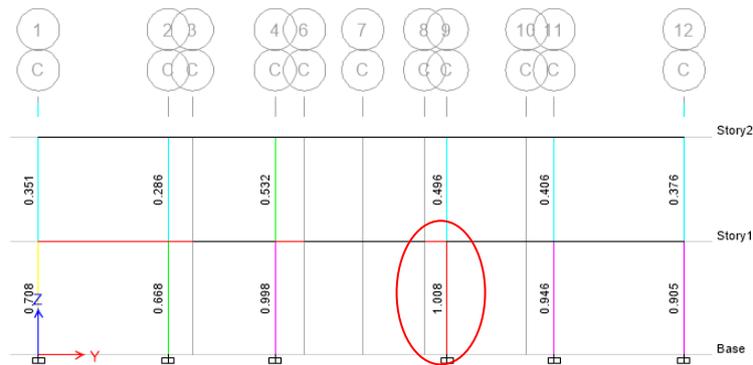


Figura 38
Pórtico C

La figura 38 representa al pórtico C se analizó los resultados de la columna C9 donde presenta un sobre esfuerzo por la superación de su capacidad resistente del miembro estructural, en la estructura construida esta columna no sufrió daño visible debido a que en el modelo analizado hay ausencia de mampostería la cual aporta a la resistencia y rigidez de estos elementos ante cargas laterales. Los esfuerzos en la vigas son producidos por fuerzas torsionales, en la realidad no se apreció daño en la vigas pero se presume hay en ellas micro fisuras.

CONCLUSIONES

El comportamiento de la edificación al momento del evento sísmico del 16 de abril según el análisis de la investigación presentó una tendencia a la rotación del edificio debida a su irregularidad en planta, por este motivo el análisis de capacidades resistente indicó indicios de sobre esfuerzos en elementos estructurales puntuales, sin embargo debido a que la modelación no tomó en cuenta la resistencia al corte aportada por la mampostería y basándose en las observaciones realizadas en la inspección de la edificación se puede concluir que estos sobreesfuerzos fueron compensados y es por eso que no se encontró daños visibles que comprometan la integridad de la estructura.

5.2.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SOMETIDA AL DISEÑO SÍSMICO SEGÚN LA NEC 2015

Se analizó el edificio Municipal del Cantón Rocafuerte conforme a los parámetros establecidos en el diseño sísmico de la norma ecuatoriana NEC 2015, se usó el espectro sísmico de diseño descrito en la figura 39. Se analizó su comportamiento inelástico frente a la aceleración sísmica.

El chequeo de las derivas de piso es una forma de comprobar si la mampostería se verá comprometida al momento de que la edificación reciba las fuerzas sísmicas, a continuación se mostrará los desplazamiento de piso producidos por el cortante basal (Sismo X, Sismo Y) y por la fuerza sísmica de diseño (Espectro X, Espectro Y) los cuales se resumieron en un cuadro y compararon con las derivas máximas presentes en la norma ecuatoriana.

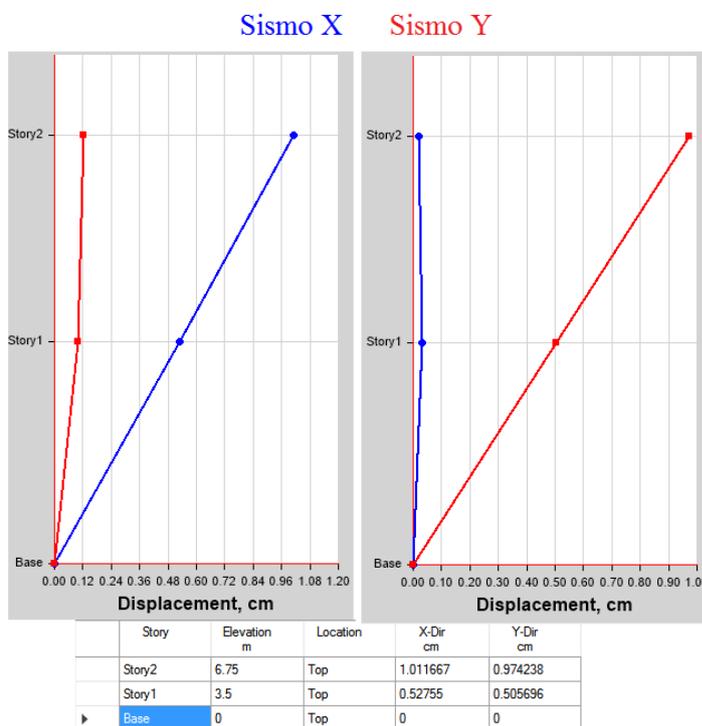


Figura 39
Desplazamientos máximos por piso para carga sísmica

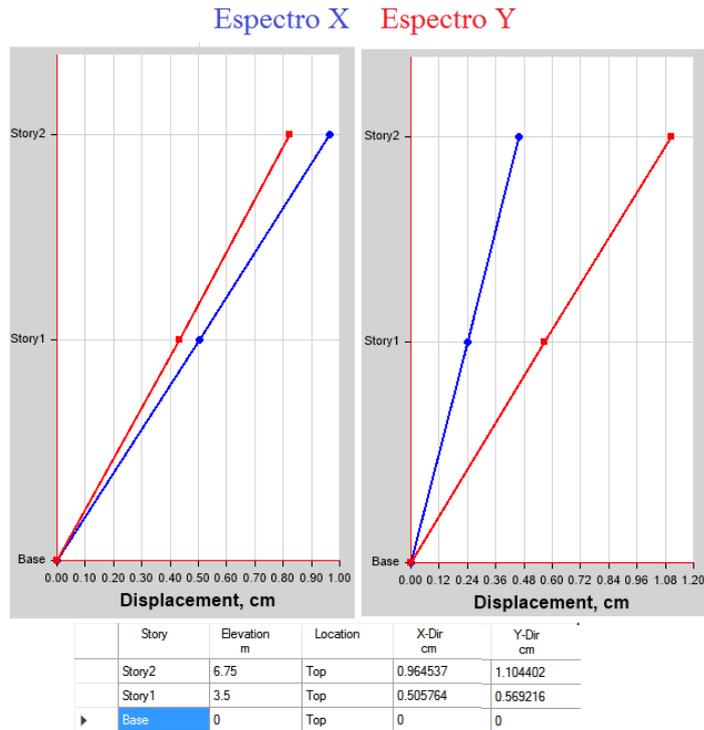


Figura 40
Desplazamientos máximos por piso para espectro sísmico de diseño

Piso	H piso	Sismo X		Sismo Y		Espectro X		Espectro Y		$\Delta m \text{ máx.} = 0.02H_{\text{piso}}$
		Δe	$\Delta m = R \Delta e$	Δe	$\Delta m = R \Delta e$	Δe	$\Delta m = R \Delta e$	Δe	$\Delta m = R \Delta e$	
2	325cm	0.48cm	3.88cm	0.47cm	3.75cm	0.46cm	3.67cm	0.54cm	4.28cm	6.50cm
1	350cm	0.53cm	4.22cm	0.51cm	4.05cm	0.51cm	4.05cm	0.57cm	4.55cm	7.00cm

Cuadro 7
Resumen de desplazamientos máximos por piso

En el cuadro 7 se interpreta lo siguiente: los desplazamientos máximos producidos por la fuerza sísmica descritos en la figura 39 están por debajo del desplazamiento máximo por piso permitidos por la norma; de igual manera los desplazamientos producidos por el espectro sísmico de diseño descrito en la figura 40 no exceden las derivas máximas por piso. De acuerdo con el análisis de la investigación las derivas de piso cumplen con los parámetros establecidos en la norma ecuatoriana, lo cual fue corroborado en las observaciones realizadas durante la inspección del edificio donde se encontró que los daños en la mampostería son fisuras y grietas no muy profundas presentes en zonas aisladas.

En las figuras 41 y 42 se mostrarán los diagramas de corte, momento y fuerzas axiales producidas por la envolvente de las combinaciones de diseño sísmico del cuadro 2.

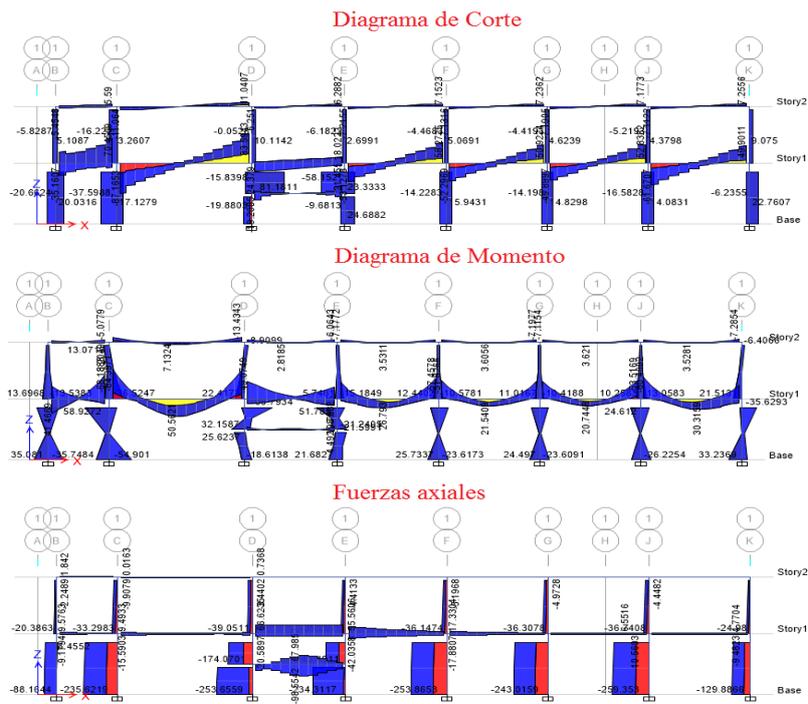


Figura 41
Diagramas de corte, momento y axial del pórtico 1 – eje X

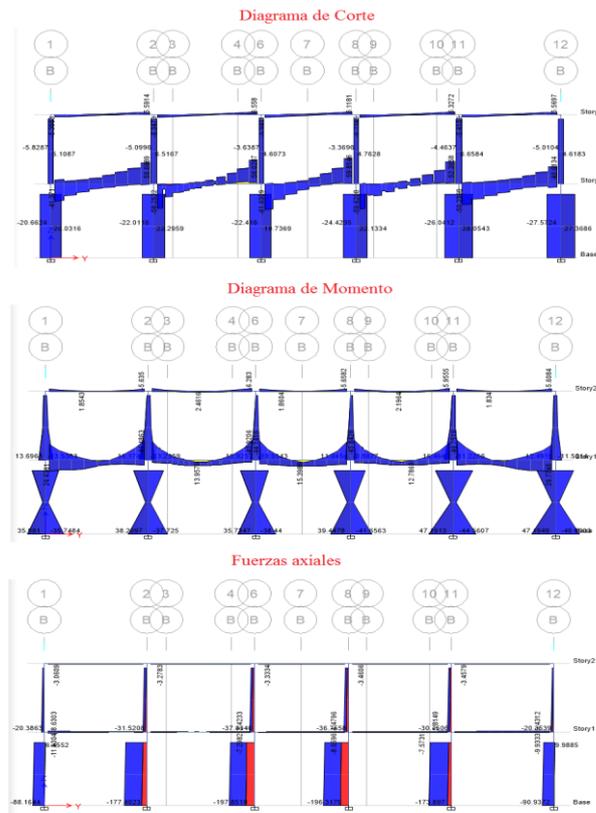
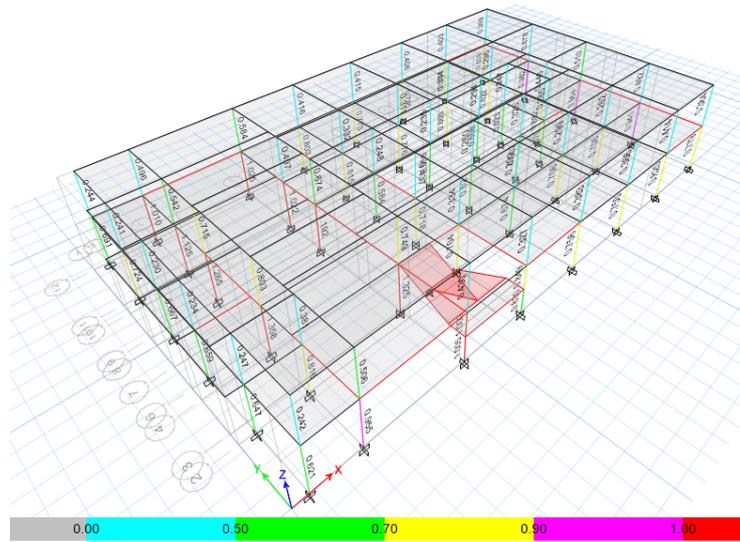


Figura 42
Diagramas de corte, momento y axial del pórtico B – eje Y

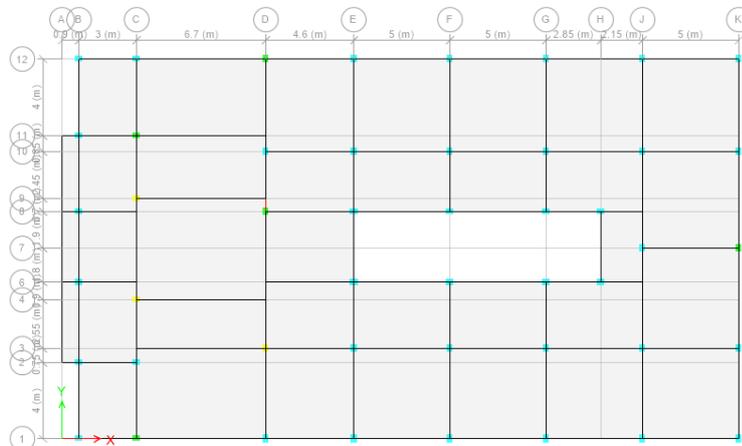
En las figuras 41 y 42 se muestra los diagramas de corte, momento y fuerzas axiales producidas por la envolvente de las combinaciones de diseño sísmico del cuadro 2. Se puede notar en la figura 41 que las fuerzas cortantes y momentos internos en las columnas exteriores son mayores que en las centrales, en la figura 42 se aprecia que la concentración de los esfuerzos cortantes y los momentos internos se da de manera distribuida en la planta baja.

A continuación se pasará a mostrar la comprobación de capacidad resistente de los miembros estructurales.

Vista General



Vista en planta - Cubierta



Vista en planta - Losa entrepiso

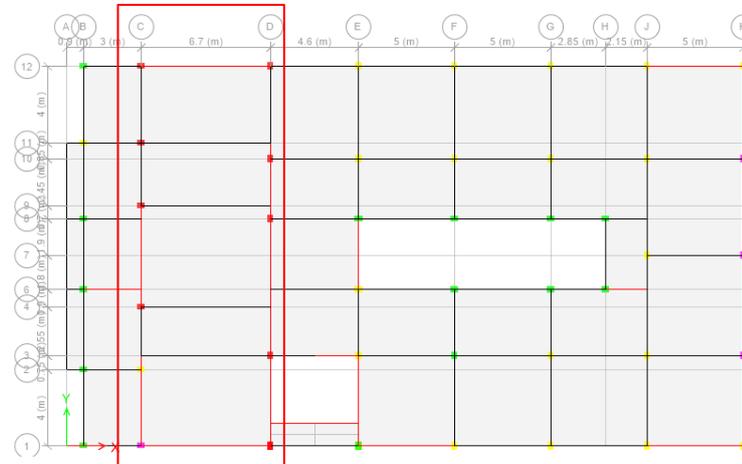


Figura 43
Comportamiento de elementos estructurales sometidos al diseño sísmico

En la figura 43 se muestra la interacción de los miembros estructurales bajo las combinaciones de carga propuestas en el diseño sísmico de la NEC, de acuerdo al análisis de la investigación se clasifica cada miembro con una escala de color la cual hace relación a los esfuerzos inducidos sobre los esfuerzos soportados por el miembro estructural, el color rojo indica que se ha superado la capacidad resistente del miembro por ende el miembro está en un estado sobre esforzado durante la aplicación de las cargas sísmicas de diseño.

Se analizará con más detalle los pórticos C y D en los cuales se muestra la mayor incidencia de superación de capacidad resistente de los miembros estructurales.

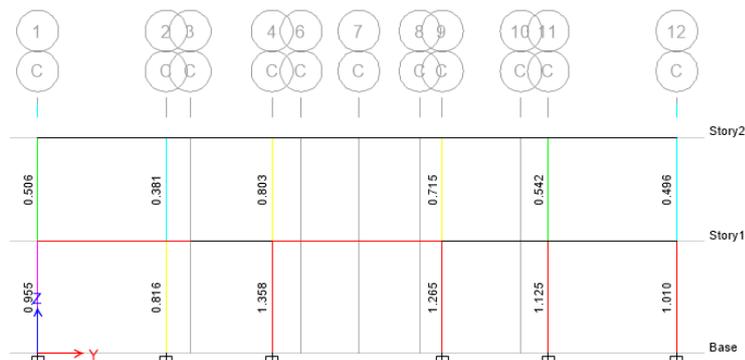


Figura 44
Pórtico C

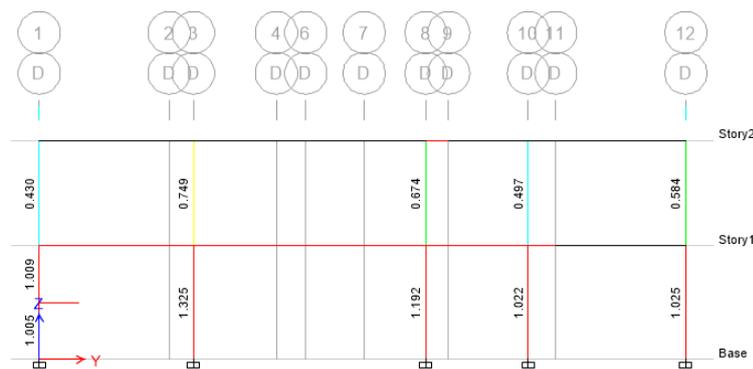


Figura 45
Pórtico D

La figura 44 representa al pórtico C las columnas C4, C9, C11, y C12 en la planta baja presentan un sobre esfuerzo por la superación de su capacidad resistente, en la figura 45 se representa al pórtico D las columnas D1, D3, D8, D10, y C12 en la planta baja presentan un sobre esfuerzo por la superación de su capacidad resistente; según los resultados del análisis las columnas en color rojo de los pórticos C y D no cumplen con las resistencia mínima de diseño sísmico. Los esfuerzos en la vigas son

producidos por fuerzas torsionales debidas al excesivo peralte de las vigas, además la rigidez de la viga es mayor que la liquidez de la columnas, normalmente se debe ser lo contrario la columnas debe tener mayor rigidez que la viga.

CONCLUSIONES

El análisis de la investigación muestra que la edificación en sus condiciones actuales no cumple con los parámetros del diseño sísmico ya que como se mostró en los resultados varios elementos estructurales se ven sobre esforzados, debido a su configuración en planta se genera un movimiento torsional el cual hace que las columnas en los pórticos C y D sufran fallos por efecto cortante, las vigas colindantes a estos pórticos y las vigas de borde también se muestran sobre esforzadas debido a efectos de torsión interna.

A continuación se presenta un modelo que consta de un reforzamiento en los miembros de los pórticos que mostraron sobreesfuerzos durante la simulación del sismo de diseño propuesto por la NEC 2015.

5.2.4. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON REFORZAMIENTO EN COLUMNAS

Como medida de rehabilitación estructural se realizó el análisis de la estructura con reforzamiento en las columnas que presentaron pérdida de la capacidad resistente durante el diseño sísmico, mediante un encamisado con láminas metálico se pretende aumentar la seguridad estructural de la edificación y que esta cumpla con los parámetros de diseño sísmico solicitados en la norma ecuatoriana, el encamisado de las columnas se realizará en la planta baja en las columnas C2, C4, C9, C11, D3, D8, D10, E3, E10, F3, F10, G3, G10, J3, J10. Al realizar el modelado en el software de diseño ETABS se creó una nueva sección de columnas que consiste en la columna existente encamisada con láminas metálicas como se muestra a continuación en la figura 46.

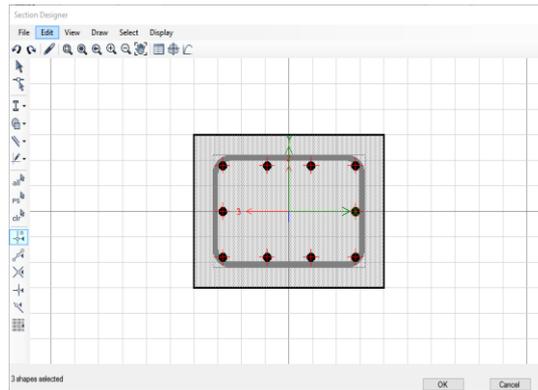


Figura 46
Sección de columna (Tubo metálico)

La figura 46 muestra la sección de la columna existente encamisada con láminas metálicas para así aumentar su capacidad resistente, debido a que el hormigón deja de ser un elemento aportante por el sobreesfuerzo que alcanzó en durante la simulación de sismo de diseño para este modelo de análisis se reducirá su “f’c” a 100 kg/cm² debido a que se asumirá que la camisa metálica soportará los esfuerzos puntuales; se realizó el análisis usando los parámetros del diseño sísmico para comprobar el cumplimiento de los requisitos de estabilidad estructural frente al sismo de diseño propuesto por la norma ecuatoriana.

A continuación se muestran los tres primeros modos de vibración para la edificación con reforzamiento en las columnas.

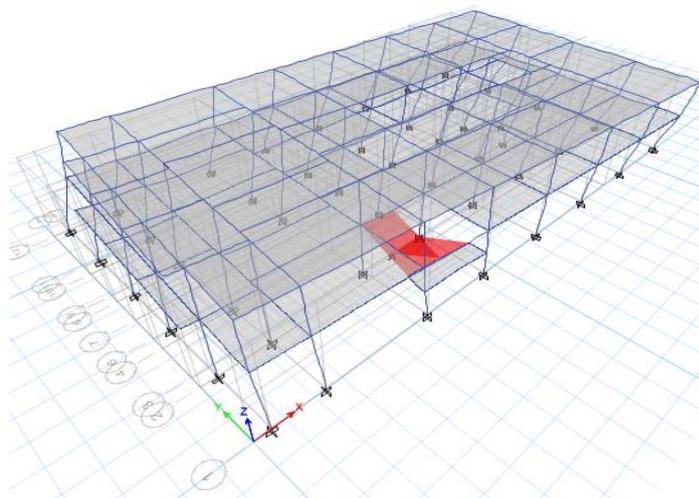


Figura 47
Modo 1 – Periodo 0.369 seg.

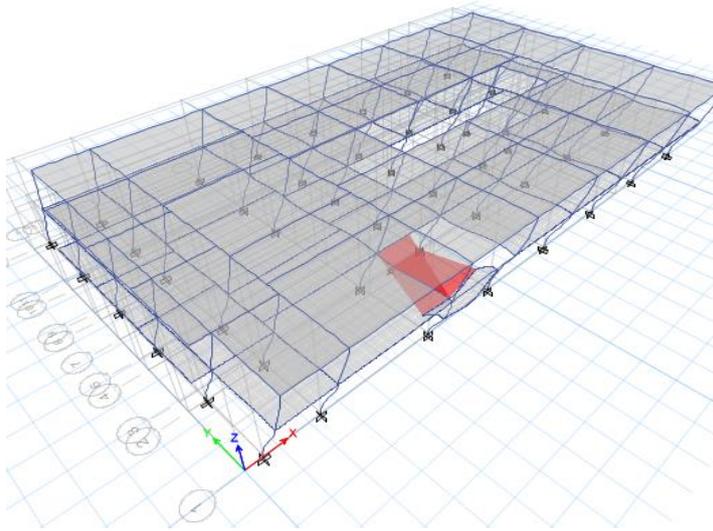


Figura 48
Modo 2 – Periodo 0.348 seg.

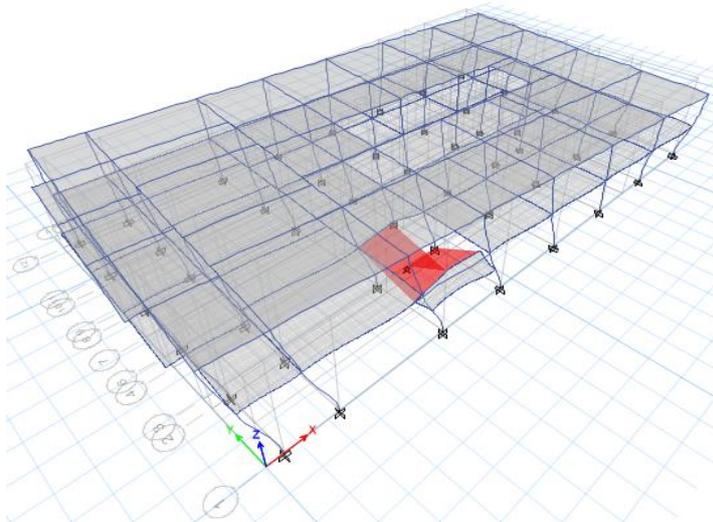


Figura 49
Modo 3 – Periodo 0.333 seg.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	0.369	0.4695	0.0034	0.49
Modal	2	0.348	0.0035	0.9447	0.0007
Modal	3	0.333	0.475	0.0006	0.4642
Modal	4	0.145	0.0035	0.0273	0.0141
Modal	5	0.143	0.0439	0.0045	0.0022
Modal	6	0.133	0.001	0.0172	0.0271

Cuadro 8
Masas nominales participantes para cada modo

Modo	T (seg)	MnX (%)	MnY (%)	MnRZ (%)
1	0.369	46.95	0.34	49.00
2	0.348	0.35	94.47	0.07
3	0.333	47.50	0.06	46.42
4	0.145	0.35	2.73	1.41
5	0.143	4.39	0.45	0.22
6	0.133	0.10	1.72	2.71
Σ Mn (%)		99.64	99.77	99.83

Cuadro 9
Resumen de masa nominales participantes

Del cuadro 9 se interpreta lo siguiente: el primer modo de vibración descrito en la figura 47 tiene la tendencia a desplazar su masa hacia el sentido X además presenta una reacción torsional, el segundo modo de vibración descrito en la figura 48 tiene la tendencia a desplazar su masa en el sentido Y, el tercer modo de vibración descrito en la figura 49 presenta un movimiento torsional seguido de una concentración de masa en el sentido X.

Se analiza los tres primeros modos de vibración porque en experiencias recogidas por varios autores se sabe que estos son los mayor esfuerzos causan debido a sus características; el primer modo refleja un estado donde la masa de cada piso se desplaza en dirección X, el segundo modo refleja un estado contrario al primero donde la masa de cada piso se desplaza en dirección Y, el tercer modo refleja la combinación envolvente de ambos vectores donde cada piso se desplaza al contrario que el anterior haciendo que la edificación gira circularmente en torno al centro de gravedad.

A continuación se mostrará los resultados para el chequeo de las derivas de piso. El chequeo de las derivas de piso es una forma de comprobar si la mampostería se verá comprometida al momento de que la edificación reciba las fuerzas sísmicas, además se mostrará los desplazamiento de piso producidos por el cortante basal (Sismo X, Sismo Y) y por la fuerza sísmica de diseño (Espectro X, Espectro Y) los cuales se resumieron en un cuadro y compararon con las derivas máximas presentes en la norma ecuatoriana.

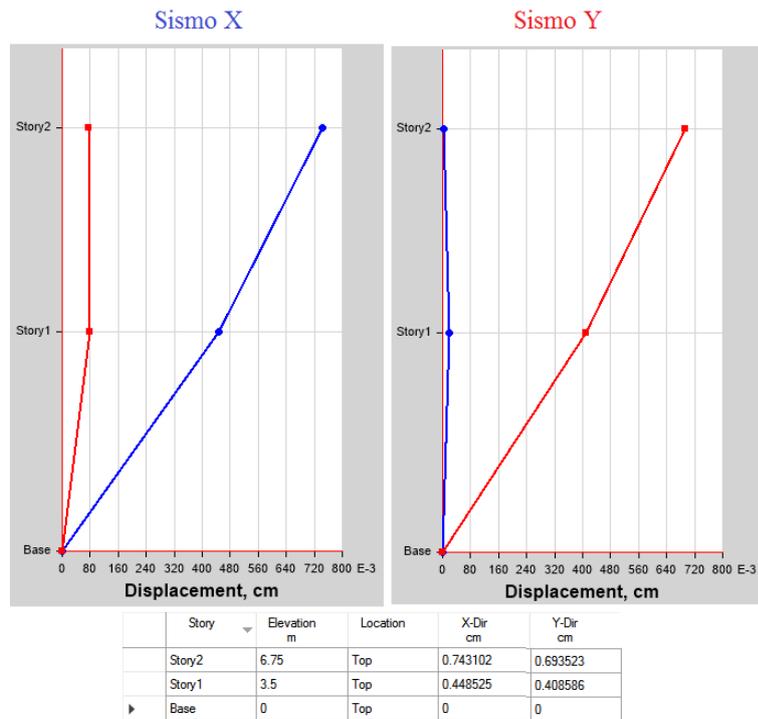


Figura 50
Desplazamientos máximos por piso para carga sísmica

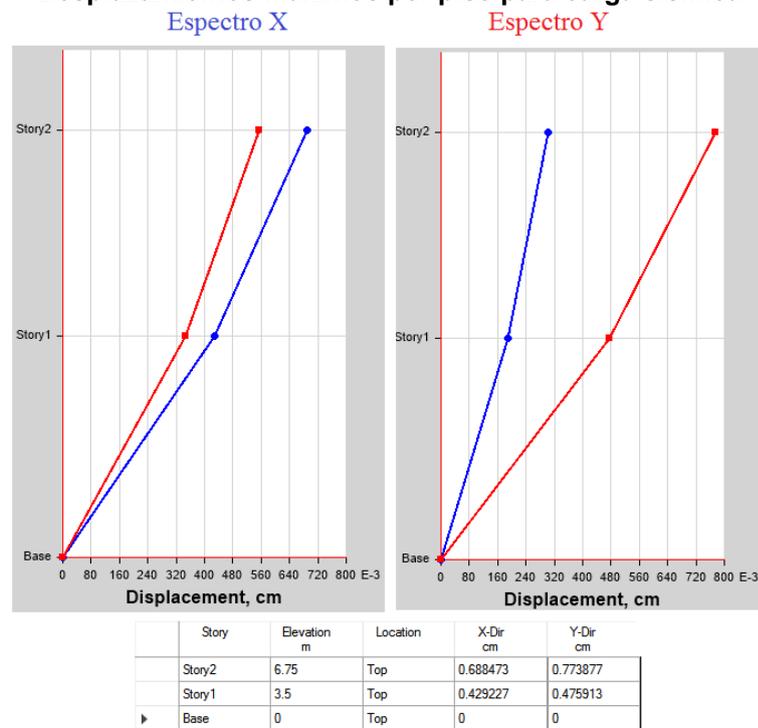


Figura 51
Desplazamientos máximos por piso para espectro sísmico de diseño

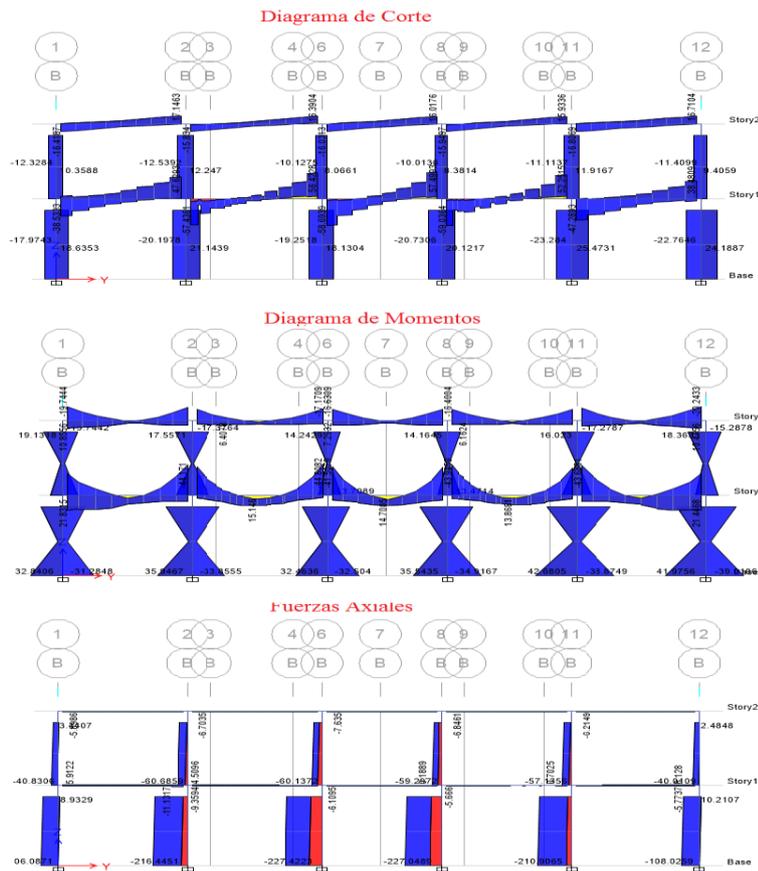
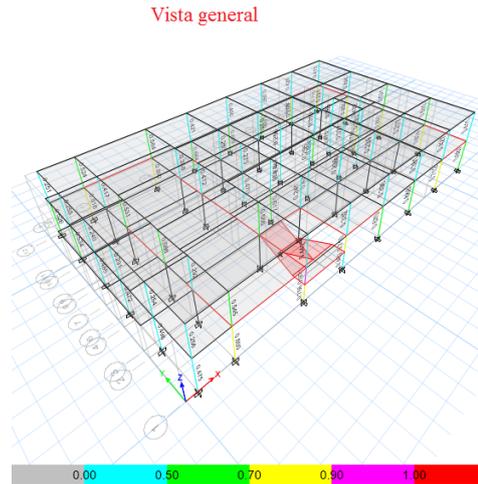


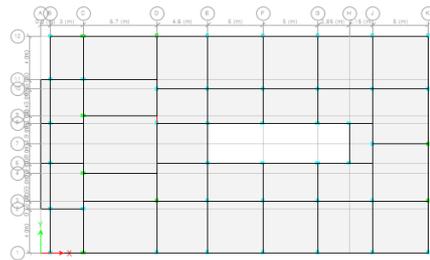
Figura 53
Diagramas de corte, momento y axial del pórtico B – eje Y

En las figuras 52 y 53 se muestra los diagramas de corte, momento y fuerzas axiales producidas por la envolvente de las combinaciones de diseño sísmico del cuadro 2. Se puede notar en la figura 52 que las fuerzas cortantes y momentos internos en las columnas exteriores son mayores que en las centrales, en la figura 53 se aprecia que la concentración de los esfuerzos cortantes y los momentos internos se da de manera distribuida en la planta baja.

A continuación se pasará a mostrar la comprobación de capacidad resistente de los miembros estructurales.



Vista en planta - Cubierta



Vista en planta - Losa de Entrepiso

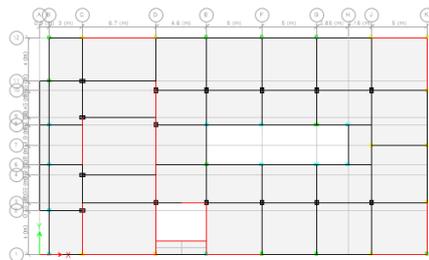


Figura 54

Comportamiento de elementos estructurales sometidos al diseño sísmico

En la figura 54 se muestra la interacción de los miembros estructurales bajo las combinaciones de carga propuestas en el diseño sísmico de la NEC para el análisis de miembros de concreto, de acuerdo al análisis de la investigación se clasifica cada miembro con una escala de color la cual hace relación a los esfuerzos inducidos sobre los esfuerzos soportados por el miembro estructural, el color rojo indica que se ha superado la capacidad resistente del miembro por ende el miembro está en un estado sobre esforzado durante la aplicación de las cargas sísmicas de diseño.

En la figura 55 se muestra la interacción de los miembros estructurales de los pórticos C y D en los cuales se definió un encamisado metálico en las columnas que

presentaban sobre esfuerzo frente al sismo de diseño, estos son los resultados obtenidos después de realizar el análisis de miembros de acero en el software ETABS.

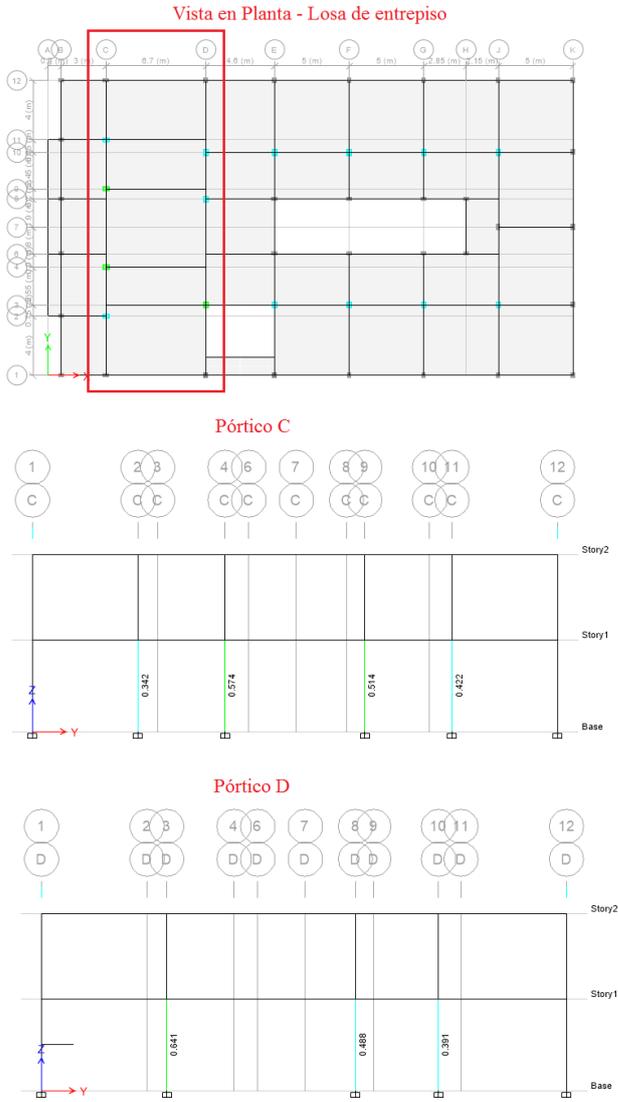


Figura 55
Comportamiento de columnas reforzadas sometidas al sismo de diseño

En la figura 55 se muestra como el refuerzo en las columnas aumentó la capacidad resistente de las mismas haciendo que no existan sobre esfuerzos y que estas cumplan con los requisitos mínimos para el diseño sísmico.

La alternativa propuesta de reforzamiento en la edificación Municipal del Cantón Rocafuerte requiere de la aplicación de las siguientes recomendaciones técnicas:

Para unir la cabeza de la columna reforzada con la losa se debe insertar una plataforma soldada a la camisa metálica y asegurada con un anclaje dentro de la losa

para asegurar la transmisión de cargas de un elemento a otro como se describe en la figura 56, del mismo modo se realiza la unión del pie de columna con la cimentación.

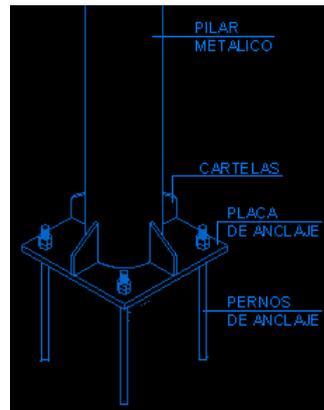


Figura 56
Detalle de anclaje para el encamisado de columnas

Para lograr el anclaje correcto con la cimentación y que haya una transferencia de cargas verticales adecuada se debe aumentar la sección del tramo de columna entre el piso y la zapata, para la fundición de este pedestal de hormigón se usará una armadura de acero mínimo y estribos en forma de L para facilitar la forma constructiva como se muestra en la figura 57.

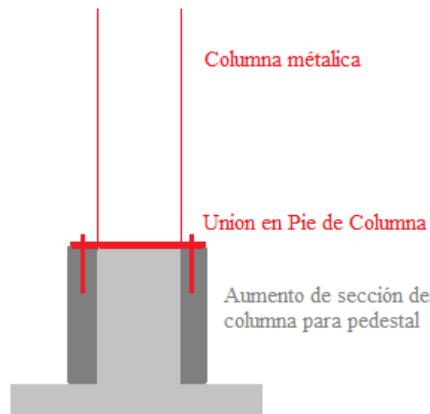


Figura 57
Detalle de pedestal de anclaje con la cimentación

Para resolver los problemas de las vigas y los momentos torsionales que presenta se opta por recomendar un reforzamiento con polímeros o fibras poliméricas, la figura 58 muestra una viga tratada con fibras poliméricas para aumentar sus propiedades resistentes, a esfuerzos de corte y torsión.



Figura 58
Viga reforzada con FRP

El reforzamiento con fibras se considera como el menos invasivo y el de mayor efectividad debido a que no cambia las dimensiones del miembro estructural, existen otras metodologías de reforzamiento en vigas de hormigón las cuales consisten en la colocación de elemento de aceros paralelos y anclados al miembro como se describirán en la figura 59.

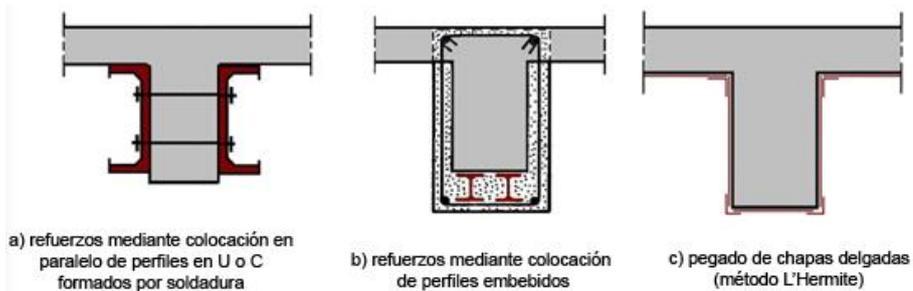


Figura 59
Refuerzo en vigas de hormigón mediante componente de acero.

5.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.3.1. CONCLUSIONES

- El edificio Municipal del Cantón Rocafuerte presenta daños en elementos no estructurales de mampostería y acabados, el daño presente en estos elementos no compromete la integridad de las áreas de uso común dentro de la estructura además solo se observaron en áreas específicas, bajo condiciones normales estos pueden ser reparados con facilidad.
- Los daños estructurales observados consisten en cizalladuras en elementos específicos, estas cizalladuras se presentan sólo a nivel de enlucido, también se encontró una patología de construcción adquirida por la exposición a la humedad de dos columnas de hormigón visto las cuales presentan pérdida de recubrimiento.
- Debido a la irregularidad en planta de la edificación el análisis de los modos fundamentales de vibración muestra que existe menor inercia en los pórticos ubicados en el sentido X, por lo tanto la edificación tiende a desplazarse en ese sentido y a la crear un movimiento torsional que afecta a los miembros más alejados del centro de gravedad como son los pórticos C, D, J, K.
- De acuerdo al análisis de la investigación se mostró que el edificio Municipal del Cantón Rocafuerte durante el sismo del 16 de abril del 2016 presentó un sobre esfuerzo global moderado en el cual los miembros estructurales se comportaron de manera eficiente a las fuerzas sísmicas sin que se ocasionaran fallas, sin embargo al comprobar su desempeño sísmico usando parámetros de la norma ecuatoriana se concluye que esta edificación presenta vulnerabilidad en los elementos de los pórticos C, D, E, K los cuales superan su capacidad resistente.

5.3.2. RECOMENDACIONES

- Los daños no estructurales observados durante la inspección del edificio debido a su naturaleza de falla menor pueden ser tratados mediante técnicas de curado convencionales usando un hormigón con propiedades expansivas (Sika Grown) para el mortero que selle las grietas y cizalladuras.
- Los daños estructurales observados durante la inspección del edificio presenta un nivel bajo de riesgo a la integridad estructural además de que están presente en elementos aislados, lo recomendable sería tratarlos mediante métodos de curado convencionales para así no tener afectaciones a largo plazo.
- Una de las observaciones hechas fue los efectos torsionales alcanzados durante en análisis de la investigación debidos a la irregularidad en planta de la edificación, estos efectos se compensarán en gran medida al realizarse el reforzamiento de columnas propuesto debido a que aumentaría la inercia del edificio y resistencia de los miembros estructurales de los pórticos más desfavorables.
- Para que la edificación cumpla los parámetros de diseño sísmico es necesario un reforzamiento estructural, los daños presentes en la edificación no afectan a la integridad estructural en la actualidad pero si presentan un riesgo a largo plazo.

5.4. PRESUPUESTO

CONCEPTO/DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P.U. (USD \$)	PRECIO TOTAL (USD \$)
Recursos materiales			
Impresiones	320	0.10	32.00
Copias	50	0.03	1.50
Suministros de oficina	1	5.50	5.50
Anillados	3	1.75	5.25
SUB TOTAL 1			44.25
Alquiler de equipos			
Extracción de núcleos de hormigón (incluye ensayos)	1	560.00	560.00
SUB TOTAL 2			560.00
Movilización y otros			
Transporte	20	2.10	42.00
Comunicación	20	1.25	25.00
Consumo de alimentos	10	2.50	25.00
SUB TOTAL 3			92.00
Varios			
Curado de columnas (incluye material y mano de obra)	1	65.90	65.90
SUB TOTAL 4			65.90
TOTAL (1+2+3+4)			762.25

5.5. CRONOGRAMA VALORADO

TIEMPO ACTIVIDADES	SEMANAS										RECURSOS		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	HUMANOS	MATERIALES	COSTOS
Socialización con la Autoridad y los funcionarios del GAD Rocafuerte.	X	X	X	X	X						Autores del Trabajo Personal del GAD Rocafuerte.	Transporte Material de oficina	\$40,00
Socializaciones con el Docente Tutor asignado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Tema y planteamiento del problema	X										Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Desarrollo del marco teórico					X	X					Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Visualización del alcance	X										Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Elaboración de hipótesis y definición de variables	X	X									Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Desarrollo de la investigación			X								Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Inspección visual del Edificio Municipal del Cantón Rocafuerte			X								Autores del Trabajo	Cámara Materiales de oficina	\$7,20
Recolección de muestras				X							Autores del Trabajo	Transporte, Cámara Materiales de oficina	\$567,00
Modelado de la edificación en el software ETABS							X	X			Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Interpretación de resultados								X	X		Autores del Trabajo Docente Tutor	Materiales de oficina Computador	\$4,50
Revisión Final									X	X	Autores del Trabajo	Computador	\$4,50
TOTAL												\$654,70	

BIBLIOGRAFÍA

- ACEROS AREQUIPA S.A., CORPORACIÓN. *Manual del Constructor*. Lima, 2010.
- AGUIAR, R., y D.BOLAÑOS. «Evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica en edificios de Hormigón Armado.» *Memorias Técnicas de las XIX jornadas nacionales de ingeniería estructural*. Quito, 2007.
- AIS. Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo. Manizales, 2003.
- —. Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería. Colombia: La Red - Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 2001.
- Aldunate, J. «Vulnerabilidad sísmica de edificios chilenos de hormigón armado.» *Trabajo de Grado*. Santiago de Chile, 2009.
- ASTM, International. ASTM C42/C42M - 16 Método Normalizado de Ensayo de Obtención y Ensayo de Núcleos Perforados y Vigas Aserradas de Concreto. Pennsylvania, 2016.
- Ayuntamiento de Madrid, ESPAÑA. *Inspección técnica de Edificios (ITE)*. Madrid, 2012.
- —. «Ordenanza de Conservación, Rehabilitación y Estado Ruinoso de las Edificaciones.» *Ordenanza Municipal*. Madrid: BO, 30 de 11 de 2011.
- Barrero, Kevin. «Bahía no olvida el terremoto de 1998.» *EL UNIVERSO*, 04 de 08 de 2003: 1.
- Bazán, Enrique, y Roberto Meli. *Diseño sísmico de edificios*. LIMUSA, 2004.
- BOROSCHEK, R, T. NUÑEZ, R. CARREÑO, y A. LARRAIN. «Diagnóstico e identificación de daño estructural, edificios emblemáticos.» *Revista BIT*, 2010: 70-74.
- Chile, INN. Normativa Oficial Chilena - Diseños sísmico de edificios. 2006.
- CSI, Caribe. Manual de usuario ETABS 2013 (Version Español). 2013.

- Dirección General, Protección Civil. Manual de Evaluación Post-Sísmica de edificaciones de el Salvador. 2008.
- FOPAE-AIS. Guía Técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. 2009.
- Francisco, CRISAFULLI, y VILLAFUÑE Elbio. «ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO.» *Guía de Estudio*. Cuyo: U N Cuyo, 05 de 2002.
- García, J., y J.L. Giner. Definición de zonas sismogénicas en base al gradiente geotérmico, resistencia y profundidad del límite frágil-dúctil en la corteza superior. Informe Técnico, Madrid: GEOGACETA, 2006.
- Gil Mancipe, Zulma. «EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL POST-SISMO EN EDIFICACIONES: ESTADO DEL ARTE.» *Trabajo de Grado*. Bogotá, 2015.
- Hurtado Gajardo, EDUARDO. «Evaluación y Análisis de Daños.» *Taller sobre Gestión de Riesgos y Catástrofes en la Infraestructura Suramericana*. Santiago de Chile, 2011.
- IMPRES. Manual de adiestramiento para la prevención sísmica. Buenos Aires, 2013.
- —. Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Buenos Aires, 2013.
- INEN. Código Ecuatoriano de la Construcción. Quito, 2000.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. «INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.13.» Documental Histórico, 2016.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. «INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.16.» Documental Histórico, 2016.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. «INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.17.» Documental Histórico, 2016.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. «INFORME SÍSMICO ESPECIAL N.18.» Documental Histórico, 2016.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. «SISMO DE BAHÍA DE CARÁQUEZ: 4 DE AGOSTO DE 1998.» Documental Histórico, 2011.

- Jefatura del Estado, ESPAÑA. «Real Decreto-ley 8/2011 de 1 de julio.» *Boletín Oficial del Estado*. Madrid: BOE, 7 de 7 de 2011.
- México, Gobierno del Distrito Federal. *Normas técnicas complementarias para diseño por sismo*. Distrito Federal, 2004.
- MIDUVI, Dirección de Comunicación Social. *NEC_SE_CG_Cargas_no_Sísmicas*. Quito, 2015.
- —. *NEC_SE_DS_Peligro_Sísmico*. Quito, 2015.
- —. *NEC_SE_RE_Riesgo_Sísmico*. Quito, 2015.
- MIDUVI, Gestión de Riesgos. *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras*. Quito, 2016.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Reglamento Colombiano de construcción sismorresistente*. Bogotá, 2010.
- MUNERA, Rafael E., y Jhon J. VILLAMIZAR. «Guía técnica para la inspección de edificaciones después de un sismo.» *Trabajo de Grado*. San José de Cúcuta, 2013.
- MUÑOZ, Cristhian, y Xavier PICHUCHO. «Aplicación del software ETABS para la evaluación de la estructura de hormigón armado del edificio de Industrial frente al comportamiento sísmico del 16 de Abril del 2016.» *Trabajo de Grado*. Portoviejo, 2016.
- Pablo Caiza Sánchez, Ing. M.Sc. «MANUAL PARA EL USO DEL PROGRAMA ETABS V 8.26 EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS.» *Curso - Taller*. Quito, 2004.
- Quiroz, Gabriela. «Ecuador no afrontaba un terremoto desde hace 18 años.» *EL COMERCIO*, 18 de 04 de 2016: 1.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. «Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador.» *Trabajo de Grado*. Quito, 2007.
- SANTA MARIA, Hernán, Pablo ALLARD, Carl LÜDERS, y Martin SANTA MARIA. *Plan de Protección civil: Sistema de Evaluación estructural rápida post-sismo de edificios e infraestructura*. Valparaíso, 2010.
- SEQUEIROS, Leonardo. «Las raíces de la Geología. Nicolás Steno, los

estratos y el diluvio universal.» Artículo Académico, Girona, 2002.

- Silva, MAURICIO, & Molina, ALBERTO. El concreto y los terremotos: conceptos, comportamiento, patología y rehabilitación. . Bogotá: Instituto del Concreto, 2006.
- SISMIMUR. «Plan especial de protección civil ante el riesgo sísmico en la región de Murcia.» Planificación Urbana, Murcia, 2015.
- Tarbuck, E. J. & Lutgens, F. K. *Ciencias de la Tierra, 8ª edición*. Madrid: Pearson Educación S. A, 2015.
- TÉLLEZ DÍAS, Alexis A. «Bases para la generación de un sistema de inspección estructural de edificios en Chile.» *Trabajo de Grado*. UAC, 2013.

ANEXOS



REPÚBLICA DEL ECUADOR

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE**



Oficio n.º: GADMCR-SG-2016-2110-DPZV

Rocafuerte, 3 de octubre del 2016

ASUNTO: En el texto

Señor Ingeniero
Edgar Antonio Menéndez Menéndez
VICEDECANO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UTM
En su despacho.-

De mi consideración:

En calidad de Alcalde del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rocafuerte que me honro en presidir, le solicito la inspección y evaluación de daños de las estructuras del edificio Municipal de la ciudad de Rocafuerte, a causa del evento del 16A, facilitando y apoyando la intervención de los Estudiantes de la Universidad Técnica de Manabí, Daniel Alexi Avílez Macías y Cesar Israel García Carrión, con material relacionado a su propósito, y para uso exclusivo de su trabajo de Titulación.

Los Estudiantes antes nombrados se comprometen a entregar al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rocafuerte copia del Proyecto que realizaran en beneficio de esta Institución.

Esperando que lo solicitado tenga la respuesta favorable me suscribo de usted.

Atentamente,


Sr. Dimas Pacifico Zambrano Vaca
**ALCALDE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE**

c.c. archivo.


10/10/2016

Estimados estudiantes.

Les remito comunicación recibida por el GAD Municipal del Cantón Rocafuerte, donde solicitan se les apoye en la Evaluación Estructural del Edificio Municipal; motivo por el cual, solicito vuestra presencia en el Vicedecanato de la Carrera para realizar ciertas recomendaciones previa su ejecución y puede satisfacer el requerimiento indicado.

Atentamente

--
Ing. Civil Edgar Menéndez Menéndez
Vicedecano (e) Carrera de Ingeniería Civil
Universidad Técnica de Manabí

Enero 30, 2017
Of. No. 0038 D-FCMFO-UTM
Ing. Stalin Alcívar Moreira
Ing. Julio Cevallos Centeno
AVILEZ MACIAS DANIEL ALEXI
GARCIA CARRION CESAR ISRAEL
Porhojeja.

Saludos cordiales:

El H. Consejo Directivo en sesión ordinaria de enero 2017, conoció el informe N° 271-FCET de diciembre 2016 emitido por el Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente Unidad de Titulación Especial, sobre el trabajo de titulación "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", de autoría de los señores AVILEZ MACIAS DANIEL ALEXI y GARCIA CARRION CESAR ISRAEL, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil.

Al respecto este H. Organismo de gobierno de la Facultad RESUELVE: 1) Aprobar la ejecución del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", 2) Designar como tutor (a) al Ing. Stalin Alcívar Moreira 3) Designar como revisor (a) al Ing. Julio Cevallos Centeno.

Los trabajos de titulación deberán cumplir todas las disposiciones consignadas en el Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad, aprobado el 9 de junio de 2015. Además se advierte que los cambios de temas solo se pueden realizar previa autorización de este Organismo.

Atentamente,
PATRIA, TÉCNICA Y CULTURA

Ing. Hernán Nieto Castro
DECANO

cc Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente Unidad de Titulación Especial
El ejemplar del trabajo de titulación, el tutor podrá retirarlo en la oficina de la Unidad de Titulación.
Yadira

Este mensaje ha sido analizado por clamav antivirus y se considera totalmente limpio.
62 años de funcionamiento de la UTM. Fundada el 25 de Junio de 1954. Acreditada en categoría B

Portoviejo, diciembre 8 del 2016

Ingeniero.

Edgar Menéndez.

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS
Y QUÍMICAS.**

Ciudad.

Señor vicedecano:

Nosotros, **Daniel Alexi Avilez Macias** CI.131308250-3, **Cesar Israel García Carrión** CI.130910694-4; estudiantes de décimo semestre de la carrera de Ingeniería Civil, tenemos la finalidad de poner en su conocimiento nuestro anteproyecto de investigación para que sea aprobado por su autoridad previa a la elaboración del proyecto titulado: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 ABRIL DEL 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS”** nuestro tema de tesis se encuentra realizado bajo la modalidad diagnóstica o investigativa.

Para notificaciones o sugerencias los correos electrónicos y números telefónicos son:

davilez2503@utm.edu.ec

0993897667

cgarcia6944@utm.edu.ec

0991035050

Por su atención al presente quedamos a Ud. muy agradecidos.

Atentamente:



Avilez Macias Daniel.
131308250-3



García Carrión Cesar.
130910694-4





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ



FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS
DECANATO

Enero 30, 2017
Of. No. 0036 D-FCMFQ-UTM

Señores
Ing. Stalin Alcívar Moreira
Ing. Julio Cevallos Centeno
AVILEZ MACIAS DANIEL ALEXI
GARCIA CARRION CESAR ISRAEL
Portoviejo.

Saludos cordiales:

El H. Consejo Directivo en sesión ordinaria de enero 26/2017, conoció el informe N° 271-PCET de diciembre 20/2016 emitido por el Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente de la Unidad de Titulación Especial de la Facultad, sobre el trabajo de titulación "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", de autoría de los señores AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI y GARCÍA CARRIÓN CÉSAR ISRAEL, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil.

Al respecto este H. Organismo de gobierno de la Facultad RESUELVE: 1) Aprobar la ejecución del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCASIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", 2) Designar como tutor (a) al Ing. Stalin Alcívar Moreira 3) Designar como revisor (a) al Ing. Julio Cevallos Centeno.

Los trabajos de titulación deberán cumplir todas las disposiciones consignadas en el Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad, aprobado el 9 de junio de 2015. Además se advierte que los cambios de temas solo se pueden realizar previa autorización de este Organismo.

Atentamente,
PATRIA, TÉCNICA Y CULTURA

Ing. Hernán Nieto Castro
DECANO

cc *Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente Unidad de Titulación Especial*

El ejemplar del trabajo de titulación, el tutor podrá retirarlo en la oficina de la Unidad de Titulación.

Yadira

Edificio No. 3 de docentes (Frente Fac. Filosofía) – vnieto@utm.edu.ec

Enero 30, 2017
Of. No. 0036 D-FCMFQ-UTM

Señores

Ing. Stalin Alcívar Moreira
Ing. Julio Cevallos Centeno
AVILEZ MACIAS DANIEL ALEXI
GARCIA CARRION CESAR ISRAEL
Portoviejo.

Saludos cordiales:

El H. Consejo Directivo en sesión ordinaria de enero 26/2017, conoció el informe N° 271-PCET de diciembre 20/2016 emitido por el Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente de la Unidad de Titulación Especial de la Facultad, sobre el trabajo de titulación "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCACIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", de autoría de los señores AVILEZ MACÍAS DANIEL ALEXI y GARCÍA CARRIÓN CÉSAR ISRAEL, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil.

Al respecto este H. Organismo de gobierno de la Facultad RESUELVE: 1) Aprobar la ejecución del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, TRAS LOS DAÑOS OCACIONADOS EN EL PASADO TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016, MODELACIÓN MATEMÁTICA EN ETABS", 2) Designar como tutor (a) al Ing. Stalin Alcívar Moreira 3) Designar como revisor (a) al Ing. Julio Cevallos Centeno.

Los trabajos de titulación deberán cumplir todas las disposiciones consignadas en el Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad, aprobado el 9 de junio de 2015. Además se advierte que los cambios de temas solo se pueden realizar previa autorización de este Organismo.

Atentamente,
PATRIA, TÉCNICA Y CULTURA

Ing. Hernán Nieto Castro
DECANO

cc Ing. Carlos Centeno Mero, Presidente Unidad de Titulación Especial
El ejemplar del trabajo de titulación, el tutor podrá retirarlo en la oficina de la Unidad de Titulación.
Yadira

62 años de funcionamiento de la UTM. Fundada el 25 de Junio de 1954. Acreditada en categoría B

Este mensaje ha sido analizado por clamav antivirus y se considera totalmente limpio.

Rocafuerte, 19 de Diciembre del 2016

Señor

Josè Lenin Coveña Zambrano

**ALCALDE SUBROGANTE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE**

De mi consideración:

En calidad de egresados de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, solicitamos muy comedidamente, como aporte a la realización de nuestro trabajo de Titulación de acuerdo al oficio n. ° **GADMCR-SG-2016-2110-DPZV** se nos facilite la siguiente información:

“Documentos originales” de construcción o subsecuentes a remodelaciones, evaluaciones, o cualquier tipo de modificación hecha posterior a ellos, (Planos).

Documentación con información técnica con referencia a los antecedentes de la edificación y de cualquier clase que nos permita observar las “deficiencias en ingeniería estructural”

Además de la designación de personal técnico responsable del GADMCR, o de cualquier departamento suscrito a este (Planificación, Obras Públicas, Talento Humano, etc.), para la “coordinación las visitas técnicas y estudios pertinentes para el propósito de nuestra evaluación estructural”.

Por la acogida que le dé a la presente, reiteramos nuestros sentimientos de consideración y estima.

Atentamente,



Avilez Macías Daniel.
131308250-3



García Carrión Cesar.
130910694-4

G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE
RECIBIDO
19 DIC 2016
14:18
SECRETARÍA

Rocafuerte, 17 de Enero del 2017

Señor

Dimas Pacifico Zambrano Vaca

**ALCALDE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE**

Ciudad.

De mi consideración:

En calidad de egresado de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, sujeto al Oficio N.° **GADMCR-SG-2016-2110-DPZV**, siguiendo con nuestro trabajo de Titulación, solicito muy comedidamente, la designación de personal técnico responsable del GAD Municipal del Cantón Rocafuerte, o de cualquier departamento suscrito a este (Planificación, Obras Públicas, Talento Humano, etc.), para el acompañamiento, disponibilidad y prestos a nuestra disposición, bajo las actividades que se necesiten en la realización de una "Evaluación Visual" en todo el Edificio Municipal, ubicado en la calle Pichincha, entre las calles Rocafuerte y Bolívar, trabajo que se realizara en una fecha comprendida (del 23/01/2017 al 27/01/2017) en horario laboral, para el beneficio mutuo de los resultados que se obtengan.

Por la acogida que le dé a la presente, reitero mi sentimiento de consideración y estima.

Atentamente,



Avilez Macias Daniel.
131308250-3

G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE
RECIBIDO
17 ENE 2017 14:55
SECRETARIA

Rocafuerte, 20 de Marzo del 2017

Señor

Dimas Pacifico Zambrano Vaca

**ALCALDE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE**

Ciudad.

De mi consideración:

Me dirijo a usted en calidad de egresado de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, para hacerle la entrega formal del trabajo denominado **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE: INFORME PRELIMINAR DE LAS JORNADAS CIVILES PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS** en el cual se recopila la información de los trabajos realizados en el GAD Rocafuerte desde el 23/01/2017 hasta 16/03/2017, esperando que el documento entregado sirva de apoyo a proyectos posteriores en beneficio de la institución.

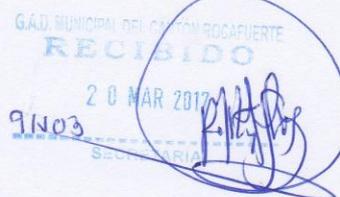
Así mismo agradezco a usted y al personal que labora en la entidad publica por las facilidades y respuestas favorables que se nos dio al momento de realizar dichos trabajos.

Nota 1: Se entregaron una copia del archivo impreso y una copia digital para que estas reposen en archivo.

Atentamente,



Cesar Israel García Carrión.
130910694-4



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN NÚCLEOS DE HORMIGÓN DEL EDIFICIO MUNICIPAL DEL CANTON ROCAFUERTE

PROYECTO:
LOCALIZACIÓN:
LUGAR:
SOLICITA

RESIS. ESPELI: SEGÚN ELEMENTO **TIPO DE MUESTRA:** NÚCLEOS

EDIFICIO MUNICIPAL CANTON ROCAFUERTE
SRS. DANIEL AVILES MACIAS Y CESAR GARCIA CARRION

TIPO DE HORMIGÓN: Tipo B **NORMA:** ASTM D 39
FECHA DE INFORME: lunes, 6 de marzo de 2017

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN NÚCLEOS DE HORMIGÓN

Nº MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	NOMBRE O NÚMERO DE MUESTRA	FECHA DE EXTRACCIÓN	FECHA DE ENSAYO DE ROTURA	EDAD DE LA MUESTRA (DÍAS)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	ALTURA (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA DE LA MUESTRA (mm ²)	SENSIBILIDAD (REV)	VELOCIDAD (Mpa/s)	MASA (gr)	VOLUMEN (cm ³)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	RELACIÓN U/F	CARGA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1	NÚCLEOS EDIFICIO MUNICIPAL CANTON ROCAFUERTE	MUESTRA ABAJO (1)	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	546	220.87	2472.08	2	42.78	20.14	205.5	97.88%	-
2		3	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	507	220.87	2295.50	2	19.56	9.21	94.0	44.75%	-
3		4	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	520	220.87	2354.36	2	34.50	16.25	165.8	78.94%	-
4		PLANTA BAJA R(1)	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	537	220.87	2431.33	2	43.81	20.63	210.5	100.24%	-
5		MUESTRA U-1	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	518	220.87	2345.30	2	32.83	15.46	157.7	75.12%	-
6		MUESTRA U-2	01-mar-17	03-mar-17	+28	210	104.00	52	2123.72	50.00	0.25	508	220.87	2300.03	2	31.56	14.86	151.6	72.21%	-

NOTA: LAS MUESTRAS FUERON RECIBIDAS EN EL LABORATORIO



Edison Espinel Garcia

INGENIERO - GEOSTUDIOS CIA LTDA Cdlra. Universitaria Calle Chile y Honorio Villavicencio
052440901 - 0981960522 - 0991265876
geostudios.consultoria@gmail.com

