



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN PARA SISTEMAS
ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA CON MUROS
ESTRUCTURALES PORTANTES, EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS

AQUINO NICOLAS DENIS
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2019



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN PARA SISTEMAS
ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA CON MUROS
ESTRUCTURALES PORTANTES, EN VIVIENDAS DE HASTA DOS
PISOS

AQUINO NICOLAS DENIS
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2019



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES DE
DUCTILIDAD LIMITADA CON MUROS ESTRUCTURALES PORTANTES, EN
VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS

AQUINO NICOLAS DENIS
INGENIERO CIVIL

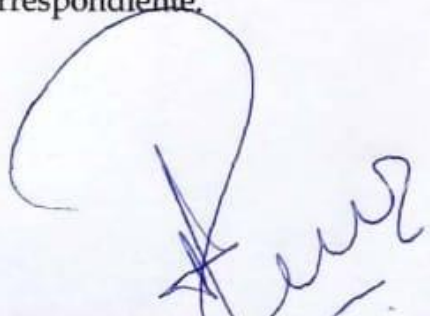
CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO

MACHALA, 21 DE AGOSTO DE 2019

MACHALA
21 de agosto de 2019

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado **ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA CON MUROS ESTRUCTURALES PORTANTES, EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS**, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO

0703989962

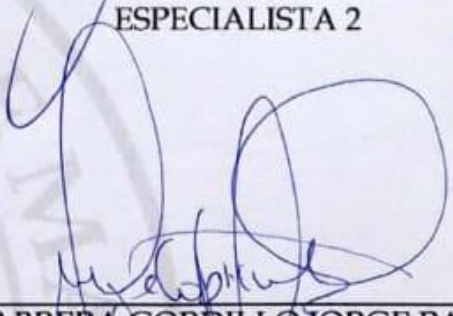
TUTOR - ESPECIALISTA 1



ORDÓÑEZ FERNANDEZ JOSÉ LUIS

0703830646

ESPECIALISTA 2



CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

0703092874

ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: miércoles 21 de agosto de 2019 - 14:41

Urkund Analysis Result

Analysed Document: AQUINO_REACTIVO PRÁCTICO_URKUND.docx (D54787767)
Submitted: 8/12/2019 6:15:00 PM
Submitted By: naquino_est@utmachala.edu.ec
Significance: 4 %

Sources included in the report:

CARAGUAY SALINAS MONICA PAULINA_PT-010518.pdf (D40317060)
YAGUANAMEDINA PATRICIO BOLIVAR.docx (D21723611)

Instances where selected sources appear:

4

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, AQUINO NICOLAS DENIS, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES DE DUCTILIDAD LIMITADA CON MUROS ESTRUCTURALES PORTANTES, EN VIVIENDAS DE HASTA DOS PISOS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

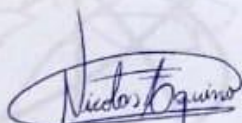
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de agosto de 2019



AQUINO NICOLAS DENIS
0706653052

DEDICATORIA

A mi familia por brindarme siempre el apoyo y aliento que necesito para triunfar en cada una de las metas que me he propuesto.

A mis amigos que han convertido este viaje en un álbum de recuerdos, anécdotas graciosas y momentos emotivos que seguirán en mi mente y corazón por el resto de mis días.

A mí mismo, por no rendirme jamás a pesar de lo difícil que pudo ser el camino por momentos, por entender que no se trata de llegar primero, sino de saber llegar.

AGRADECIMIENTO

A mi padre Juan Carlos Aquino, quien ha estado ahí para mí siempre. Gracias a su apoyo incondicional yo encuentro las fuerzas día a día para dar lo mejor de mi ser y salir adelante. Es la persona más importante en mi vida y la única con la venia de llevarse parte del crédito de todos mis logros personales. Papá, sin vos nada hubiera sido posible.

A mis hermanos Isaías, Karla y Rafaela que, aunque soy el mayor, he aprendido mucho gracias a ellos a lo largo del camino y son también la razón por la que me esfuerzo y vean que nada es imposible si luchamos en pro de nuestras metas y sueños.

A mis abuelos, Magner Riofrío y Alicia Chávez que fueron un apoyo muy importante a lo largo de mi carrera universitaria, de corazón, mil gracias!

RESÚMEN

La realización de este trabajo práctico tiene por objeto plantear una estrategia de rehabilitación para la vivienda tipo de la Urbanización “Ciudad Palmera”. Para tal fin se ha procedido a su análisis a través de un software estructural para evaluar los posibles daños frente a un sismo de características posibles dada la zona real de implantación.

El sistema estructural de la vivienda está constituido de muros portantes de hormigón armado, considerado en la normativa nacional vigente como sistema de ductilidad limitada. Dicho sistema ofrece bondades en cuanto a velocidad de ejecución de obra gracias a la industrialización de su proceso constructivo. Otra ventaja que este sistema posee es el alto desempeño ante un sismo en comparación a sistemas estructurales convencionales.

A partir de las fallas obtenidas del análisis se adopta la estrategia de rehabilitación de Reforzamiento de muros por concreto reforzado con fibras de acero (CRFA).

Palabras claves: Estrategia de rehabilitación, Vivienda, Muros portantes, Ductilidad limitada, Sismo, Fibras de Acero.

ABSTRACT

The purpose of this practical work is to propose a rehabilitation strategy for the housing type of the Urbanization "Ciudad Palmera". For this purpose, it has been analyzed through structural software to evaluate the possible damages against an earthquake with possible characteristics, given the real area of implementation.

The structural system of the house is made up of reinforced concrete bearing walls, considered in the current national regulations as a limited ductility system. This system offers benefits in terms of speed of execution of work thanks to the industrialization of its construction process. Another advantage that this system has is the high performance against an earthquake compared to conventional structural systems.

Based on the failures obtained from the analysis, the rehabilitation strategy of Reinforced concrete walls reinforced with steel fibers (CRFA) is adopted.

Keywords: Rehabilitation strategy, Housing, bearing walls, limited ductility, earthquake, steel fibers.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTO | II |
| RESÚMEN..... | III |
| ABSTRACT..... | IV |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | V |
| 1. INTRODUCCIÓN | 8 |
| 1.1. Objetivo General | 9 |
| 1.2. Objetivos Específicos..... | 9 |
| 1.3. Delimitación del Problema..... | 9 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 10 |
| 2.1. Tectónica y sismicidad del ecuador | 10 |
| 2.1.1. Actividad Sísmica en el Ecuador | 10 |
| 2.1.2. Zonificación sísmica del Ecuador | 10 |
| 2.2. Sistema Estructural..... | 10 |
| 2.2.1. Configuración estructural..... | 10 |
| 2.3. Ductilidad limitada..... | 11 |
| 2.4. Realidad de viviendas en el Ecuador..... | 11 |
| 2.5. Norma Ecuatoriana de la Construcción..... | 11 |
| 2.5.1. Norma Ecuatoriana de Vivienda (NEC_SE_VIVIENDA) | 12 |
| 2.5.2. Norma ecuatoriana de Hormigón Armado (NEC_SE_HM) | 12 |
| 2.6. Normativa técnica municipal | 12 |
| 2.7. Vivienda objeto de estudio..... | 12 |
| 2.7.1. Distribución..... | 13 |
| 2.7.2. Sistema Estructural..... | 13 |
| 2.7.3. Muro Estructural Portante de hormigón armado | 13 |
| 2.8. Cargas de diseño consideradas..... | 13 |
| 2.8.1. Carga Viva | 13 |
| 2.8.2. Carga Muerta..... | 13 |
| 2.9. Determinación del Cortante Basal | 14 |
| 2.10. Modelado de Vivienda Tipo..... | 14 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.10.1. | Ajuste del Cortante Basal..... | 14 |
| 2.11. | Estrategias de Rehabilitación | 15 |
| 2.11.1. | Rehabilitación por reforzamiento de Fibras de Carbono..... | 15 |
| 2.11.2. | Rehabilitación por reforzamiento de Fibras de Acero..... | 15 |
| 3. | CONCLUSIONES | 16 |
| 4. | RECOMENDACIONES | 17 |
| 5. | BIBLIOGRAFÍA | 18 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z..... | 20 |
| Figura 2 | Alta tasa de repetición de las viviendas | 20 |
| Figura 3 | Producción en serie mediante Formaletas Metálicas | 21 |
| Figura 4 | Instalaciones Eléctricas, hidráulicas y Sanitarias | 21 |
| Figura 5 | Esquema de Rehabilitación por CRFA..... | 22 |
| Figura 6 | Definición de Grillas..... | 29 |
| Figura 7 | Definición de Materiales..... | 29 |
| Figura 8 | Dimensionamiento de los elementos estructurales | 29 |
| Figura 9 | Definición de los Patrones de Carga..... | 30 |
| Figura 10 | Definición de tipologías de Carga | 30 |
| Figura 11 | Definición de combinaciones de Carga (Combos) | 30 |
| Figura 12 | Definición de porcentaje de acción basal | 30 |
| Figura 13 | Modelo terminado y primer modo de vibración de la estructura..... | 31 |
| Figura 14 | Peso de la Estructura..... | 31 |
| Figura 15 | Corrección del Cortante Basal y su Acción..... | 31 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas | 23 |
| Tabla 2 Pesos Unitarios de los materiales de construcción..... | 23 |
| Tabla 3 Sobrecargas mínimas: Uniformemente distribuidas y Concentradas..... | 24 |
| Tabla 4 Valores del factor Z en función de la Zona Sísmica | 24 |
| Tabla 5 Coeficiente de Respuesta Sísmica..... | 24 |
| Tabla 6 Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada | 25 |
| Tabla 7 Asignación de Carga Muerta para losas..... | 25 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Vistas Frontal y Posterior de la Vivienda..... | 26 |
| Anexo 2. Plano Arquitectónico de Planta Baja..... | 27 |
| Anexo 3. Plano Arquitectónico de Planta Alta | 28 |

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país de alto riesgo sísmico porque se encuentra en el límite de subducción entre dos placas tectónicas conocidas como las placas de Nazca y América del Sur [1]. A su vez esta subducción de placas forma parte de lo que se conoce como el cinturón de fuego del Pacífico, que es donde se libera aproximadamente un 90% de la energía de sismos del planeta. Pese a esta condición, gran parte de las estructuras civiles no cumplen con las normativas sismorresistentes que se aplican dentro de su territorio que son las NEC-2015, y esto se evidenció en la catástrofe ocurrida el 16 de Abril de 2016 cuando un terremoto de 7.8 azotó las costas de la provincia de Manabí, provocando el colapso de cientos de edificaciones que no cumplían los estándares de calidad y con ello la pérdida de vidas humanas que se pudieron haber evitado.

“En la industrialización de la vivienda de uno y dos pisos, tanto para vivienda comercial como de interés social, los sistemas constructivos basados en muros monolíticos de concreto constituyen una solución adecuada ante eventos sísmicos, además de ofrecer rapidez de construcción, economía y sostenibilidad” [2]. Este tipo de vivienda será analizado en el siguiente trabajo con el fin de plantear una estrategia de rehabilitación, puesto que “La rehabilitación sísmica de una estructura es necesaria cuando ésta ha sido dañada por un terremoto, cambia de uso, o bien no satisface los requerimientos de los reglamentos de construcción vigentes.” [3]

En capítulo uno se dispone los objetivos, general y específicos del proyecto, así como la delimitación del problema que es un preámbulo para la transición al capítulo 2 que comprende la fundamentación teórica, donde se definen términos de interés así como la determinación de parámetros de configuración estructural. El capítulo 3 comprende las conclusiones a las que se ha llegado, el 4 las recomendaciones y por último la bibliografía que fue empleada en la realización de este informe técnico.

1.1. Objetivo General

- ❖ Evaluar estrategias de Rehabilitación aplicables a sistemas estructurales de ductilidad limitada con muros portantes de hormigón armado, a través del modelado en un software estructural especializado para evidenciar su comportamiento en una zona de amenaza sísmica alta.

1.2. Objetivos Específicos

- ❖ Obtener información de viviendas construidas con el sistema estructural de Muros Portantes en la ciudad de Machala.
- ❖ Analizar el desempeño sismorresistente del sistema estructural de la vivienda a través de un software estructural especializado.
- ❖ Elaborar un informe técnico planteando estrategias de rehabilitación estructural óptimas para Muros Portantes, obtenidas de fuentes bibliográficas de carácter científico.

1.3. Delimitación del Problema

Para la realización de este trabajo práctico se procedió, primeramente con la recolección de información que comprende planos y fotografías de una vivienda modelo de la Urbanización “Ciudad Palmera” cuya estructura se compone de muros estructurales portantes de hormigón armado. Dicha vivienda será modelada con el software especializado SAP2000® e implantada en una zona con caracterización de peligro sísmico alta, es decir con un valor de zona $Z=0,4g$ para un periodo de retorno de 475 años, según se establece en [4].

Una vez modelada la vivienda, se ingresan los combos respectivos y el espectro de aceleraciones, los cuales permiten al software simular el comportamiento de la estructura ante cargas dinámicas, así como arrojar datos de interés como periodo estructural, derivas de piso, torsión en planta, entre otros; con la utilización de esa información se planteará la estrategia de rehabilitación más acorde al tipo de falla presentado.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Tectónica y sismicidad del Ecuador

2.1.1. Actividad Sísmica en el Ecuador

Ecuador es un país que al encontrarse ubicado en lo que se conoce como Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta una actividad sísmica catalogada como alta, de ahí que se hayan registrado terremotos de gran magnitud como el de 1906 con una magnitud de 8.8, según menciona [5], y el del “16 de abril de 2016 de magnitud 7,8 Mw, cuyo epicentro se ubicó en la costa de Pedernales, a 20 Km de profundidad” [6], en el que se registró un total de 602 pérdidas humanas.

2.1.2. Zonificación sísmica del Ecuador

En la NEC_SE_DS en su capítulo 3 establece que la República Ecuatoriana se divide en 6 zonas sísmicas caracterizadas por el valor de factor de zona Z, “que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.” [4] (**Figura 1**).

2.2. Sistema Estructural

Un sistema estructural puede definirse como un conjunto de elementos físicos que forman parte de una edificación y cuya función es la de “generar estabilidad y resistencia ante diferentes solicitaciones que se presenten, así por ejemplo cargas gravitacionales, sísmicas, viento o lluvia” [7].

2.2.1. Configuración estructural

“La efectividad de las uniones en los diafragmas y el trabajo en conjunto de los sistemas estructurales, dependen de la continuidad vertical de la regularidad de la estructura en planta y altura, por ello se debe tener en cuenta:” [8] la continuidad vertical, regularidad en planta y regularidad en elevación.

2.3. Ductilidad limitada

Tal como menciona el Ing. Roberto Aguiar en [9], la ductilidad, en el marco de las estructuras, es la capacidad de las mismas o de sus componentes estructurales de incursionar en el rango no lineal, es decir, de sobrepasar el límite elástico de forma conveniente, sin verse reducida significativamente su resistencia de manera tal que pueda ser reparada después de un terremoto.

La ductilidad limitada es propia de estructuras cuyo rango elástico es bastante bajo, lo cual implica menor garantía de estabilidad frente a un sismo severo, razón por la cual la NEC_SE_DS nos proporciona en su apartado 6.3.4 una tabla en la que limita el número de niveles para que las estructuras con estas cualidades y acompaña a cada tipología con un valor de **R** que es el factor de reducción de resistencia sísmica.

2.4. Realidad de viviendas en el Ecuador

Según el estudio realizado en [10] gran parte de las viviendas en el Ecuador no cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la NEC-2015, de hecho las estructuras aporticadas que fallaron en el terremoto del 2016, se caracterizaban por procesos constructivos deficientes, mala calidad de materiales y una exagerada brecha entre requerimientos mínimos establecidos en las normas y lo encontrado en las obras.

2.5. Norma Ecuatoriana de la Construcción

Con el fin de que se propicie un desarrollo seguro y ordenado de asentamientos humanos, las obras civiles en el Ecuador deben regirse a los criterios técnicos estipulados en los diferentes capítulos de la Norma ecuatoriana de la construcción cuya formulación, publicación y actualización está a cargo del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). Dicha normativa “pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible” [11].

2.5.1. Norma Ecuatoriana de Vivienda (NEC_SE_VIVIENDA)

“Este capítulo tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de viviendas sismo resistentes de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m” [8]. Dada las características de la estructura de análisis, corresponde a la utilización de los requisitos de diseño planteados en este capítulo que permitirá revisar el desempeño sismo resistente del modelo.

2.5.2. Norma ecuatoriana de Hormigón Armado (NEC_SE_HM)

“Las disposiciones generales de este capítulo aplican al diseño de edificaciones donde el sistema resistente a cargas sísmicas está compuesto por pórticos especiales y/o muros estructurales de hormigón armado” [12], y solo para hormigón normal armado.

2.6. Normativa técnica municipal

De conformidad con lo establecido en el literal o del Art. 54 del Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD), el cual establece que dentro de las funciones de los gobiernos descentralizados municipales está la de “Regular y controlar las construcciones en la circunscripción cantonal, con especial atención a las normas de control y prevención de riesgos y desastres” [13], Machala posee un departamento técnico (Dirección de Planeamiento y Urbanismo) que se encarga de revisar y aprobar los proyectos de obra civil en el cantón con la aplicación de las “Normas para Edificaciones” que rigen en todo el territorio cantonal.

2.7. Vivienda objeto de estudio

La estructura escogida para este análisis ha sido la vivienda tipo de la urbanización “Ciudad Palmera” de la ciudad de Machala, cuyo sistema estructural se está constituido por muros estructurales portantes, contruidos sobre una losa de cimentación. “Las losas sobre terreno se encargan de transmitir las cargas de tránsito de viviendas [...] hacia el terreno” [14]. Su estructura será modelada e implantada en una zona de peligro sísmico alto para simular su comportamiento frente a un evento sísmico probable, prever los daños estructurales que sufriría y proponer una estrategia de rehabilitación compatible con el tipo de estructura.

2.7.1. Distribución

La vivienda tipo seleccionada se implanta en un terreno de 120 m² y su área de construcción es de 103 m² distribuidos en dos niveles. La planta baja se compone de sala/comedor, cocina y un baño social con un total de 50 m², el nivel superior posee una habitación master con baño privado, dos dormitorios y un baño con un total de 53 m². Ver **Anexo 1**, **Anexo 2** y **Anexo 3**.

2.7.2. Sistema Estructural

El sistema estructural que compone la vivienda es el de Muros Portantes construidos en hormigón reforzado, que se limitan a dos pisos, según la NEC_SE_VIVIENDA (**Tabla 1**).

2.7.3. Muro Estructural Portante de hormigón armado

“Se usan principalmente para resistir fuerzas laterales en edificios de gran y mediana altura puesto que su capacidad para aportar rigidez a las estructuras es muy significativa” [15].

Este sistema constructivo se recomienda para edificios que deben ser ejecutados rápidamente o que tengan una alta tasa de repetición ya que permite que marcos de puertas y ventanas, instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias puedan ser incorporadas en un solo paso [16]; como es el caso de la vivienda de estudio (**Figura 2**; **Figura 3**; **Figura 4**).

2.8. Cargas de diseño consideradas

2.8.1. Carga Viva

La NEC_SE_CG presenta, en su apartado 4.2.1 una tabla que especifica diferentes valores de cargas de conformidad al uso destinado de la estructura (**Tabla 3**). Para el caso de estudio corresponde una carga uniforme de 2 kN/m² para la losa de entrepiso, mientras que para la de cubierta no se asignó un valor debido a que no es accesible.

2.8.2. Carga Muerta

“Están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura. Son elementos tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto

integrado permanentemente a la estructura.” [17]. Para su estimación se debe aplicar el peso unitario de los materiales especificados en la **Tabla 2**. Para el caso de la vivienda analizada se ha calculado un valor de 7,75 kN/m² para losa de entrepiso, y 2,40 kN/m² para losa de cubierta, tal como se especifica en la **Tabla 7**.

2.9. Determinación del Cortante Basal

La NEC_SE_VIVIENDA en 3.1.3 establece que se deberá emplear la expresión:

$$V_{basal} = Z \cdot C \cdot \frac{W}{R}$$

Dónde:

Z será de 0,40 que es el valor correspondiente a la ciudad de Machala cuya caracterización de peligro sísmico es alta (**Tabla 4**).

C es el coeficiente de respuesta sísmica, que para la costa es 2,40 según la **Tabla 5** obtenida de [8].

R será igual a 3 según la **Tabla 6**, cuya fuente es [4].

W representa el peso de la estructura que en este caso es de 128,52 Ton., reemplazando:

$$V_{basal} = \frac{Z \cdot C \cdot W}{R} \Rightarrow \frac{0,40 \cdot 2,40 \cdot W}{3} \Rightarrow \mathbf{0,32W}$$

2.10. Modelado de Vivienda Tipo

(Ver **Anexo 4**)

2.10.1. Ajuste del Cortante Basal

Habiendo ingresado los patrones, casos y combinaciones de carga (**Figura 9**, **Figura 10**, **Figura 11**), se procede con el Ajuste de Cortante Basal que comenzó con un valor de 0,32 y terminó en 0,3273 con una fuerza cortante de 41,37 Ton. (**Figura 15**).

2.11. Estrategias de Rehabilitación

2.11.1. Rehabilitación por reforzamiento de Fibras de Carbono

“El reforzamiento con fibras de carbono, consiste en incorporar en la estructura fibras de alta resistencia y una matriz, tal que ambas conserven su integridad física e identidades químicas” [18]. La ventaja en este tipo de Rehabilitación radica en que el carbono es un elemento capaz de funcionar como elemento a tensión pues su resistencia ante este tipo de esfuerzo es incluso mayor a la del acero a la vez que es significativamente más liviano y por consiguiente es de fácil colocación.

La desventaja de este método radica en el costo que es muy elevado, provocando que su utilización en nuestro medio sea muy poco frecuente.

2.11.2. Rehabilitación por reforzamiento de Fibras de Acero

“El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) se ha convertido en un material fundamental en la construcción de pisos industriales, pavimentos, tableros de puentes, elementos para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas y refractarios, entre otros.” [19]

“El cortante por tensión diagonal es el principal modo de falla de muros de baja altura” [3] y la implementación de fibras de acero para su rehabilitación pretende restablecer las condiciones iniciales del sistema estructural al estado previo a la ocurrencia de un sismo e incluso mejorar sus características originales.

El método consiste en escarificar con mazo y cincel ambas caras del muro para asegurar la adherencia del concreto, a continuación se humedece las superficies durante 12 horas. Se colocan conectores de cortante que en esencia son barras roscadas y por último el encamisado a base de CRFA aplicado a cada lado. (Ver **Figura 5**)

3. CONCLUSIONES

- ❖ Los elementos estructurales de la vivienda conformada de muros estructurales portantes es de 6m x 8m; posee paredes con un espesor de 8 cm, losa de entrepiso de 10 cm y una altura de entrepiso de 2,70 m. Toda la estructura se apoya sobre una losa de cimentación superficial de 30 cm de espesor. Para este tipo de estructuras la NEC_SE_VIVIENDA establece que el área de boquetes permisible no debe superar el 35% del área del muro lo cual cumple el modelo, no obstante existe incumplimiento en cuanto a distancia entre límite de muro y la puerta principal que se encuentra en el límite de este y según la normativa no debe ser menor a 50cm. Por último la norma establece que el espesor de los muros no debe ser menor a 1/30 de la altura del muro, ni menor a 80mm, lo cual no se cumple en la vivienda cuyo espesor de paredes es de 80mm siendo 1/30 de la altura igual a 0,17 m. Los demás parámetros cumplen correctamente lo estipulado.

- ❖ En lo referente a respuesta sísmica de la estructura se ha considerado un sistema estructural de Muro estructural portante. El peso total de la vivienda es de 126,39 Ton., el porcentaje basal inicial es de 0,32 para luego ajustarse a 0,3273. Un cortante basal de 41,37 Ton y un periodo estructural en el primer modo de vibración es de 0,63 m/s² en el software, mientras que en cálculo se obtiene un valor de 0,2 m/s².

- ❖ Una vez analizada la estructura, se propone como estrategia de rehabilitación el reforzamiento por medio de Concreto Reforzado con Fibras de Acero (CRFA), lo cual se ajusta al escenario de falla más probable de la estructura que es cortante por tracción diagonal del muro.

4. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda que el espesor de los muros y las distancias de separación entre aberturas y límites de muro sean mayores para que cumplan con lo mínimo sugerido por la NEC_SE_VIVIENDA que rige en este caso el proyecto al tratarse de una estructura compuesta por muros estructurales de hormigón armado y no mayor a 2 pisos.

- ❖ Se recomienda para la realización de un modelado, que las paredes interiores sean establecidas continuas desde la planta baja, además, considerar un espectro de diseño inelástico para que tanto el comportamiento de la estructura como la fuerza de cortante basal sean más cercanas a la realidad.

- ❖ Se recomienda llevar a cabo un estudio completo de rehabilitación de estructuras que se rija a lo estipulado en la Norma de Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras para que exista un plan de acción en caso de un evento sísmico que amenace la integridad de la estructura, lo cual es un escenario probable dada la realidad geográfica de la vivienda.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. García, J. Landín, R. Moreno, M. Mulas, M. Mite y N. Cárdenas, «Statistical analysis of the largest possible earthquake magnitudes on the Ecuadorian coast for selected return periods,» *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, vol. XXXVIII, nº 18, pp. 1-13, Noviembre 2018.
- [2] J. Carrillo, A. Barrera y D. Acosta, «Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306,» *Ingeniería y Competitividad*, vol. XVI, nº 1, pp. 261-272, 2014.
- [3] O. Ávila, J. Carrillo y S. Alcocer, «Rehabilitación de Muros de Concreto Usando CRFA: Ensayos en Mesa Vibradora,» *Concreto y Cemento-Investigación y Desarrollo*, vol. II, nº 2, pp. 2-17, Enero 2011.
- [4] MIDUVI y CAMICON, «Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente,» MIDUVI, Quito, 2014.
- [5] P. Quinde Martínez y E. Reinoso Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. 2016, nº 94, pp. 1-26, 4 4 2016.
- [6] Á. Emilio Castañeda y Y. Mieles Bravo, «Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entrepisos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 32, nº 3, pp. 157-172, 2017.
- [7] MIDUVI y SNGRE, «Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros,» MIDUVI, Quito, 2016.
- [8] MIDUVI y CAMICON, «Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m,» MIDUVI, Quito, 2014.
- [9] R. Aguiar, «No se acepta el diseño por ductilidad. Caso del edificio Fragata que incursionó en el rango no lineal,» *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. XXII, nº 3, pp. 327-391, 9 Abril 2018.
- [10] L. Lara, H. Aguirre y M. Gallegos, «Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que Colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga-Ecuador,» *Revista Politécnica*, vol. 42, nº 1, p. 10, 31 10 2018.
- [11] MIDUVI y CAMICON, «Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras,» MIDUVI, Quito, 2014.

- [12] MIDUVI y CAMICON, «Estructuras de Hormigón Armado,» MIDUVI, Quito, 2014.
- [13] A. Nacional, *Código Orgánico de Organización Territorial*, Quito, Pichincha: Editora Nacional, 2016.
- [14] J. Carrillo y D. Silva-Páramo, «Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero,» *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, vol. XVII, nº 3, pp. 317-330, Julio 2016.
- [15] S. Abdullah y J. Wallace, «Drift Capacity of Reinforced Concrete Structural Walls with Special Boundary Elements,» *ACI Structural Journal*, vol. 116, nº 1, pp. 183-194, Enero 2019.
- [16] M. Correa y G. Marcel, «Analysis of the effects of soil-structure interaction in reinforced concrete wall buildings on shallow foundation,» *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, vol. XI, nº 5, pp. 1076-1109, Octubre 2018.
- [17] MIDUVI y CAMICON, «Cargas (No Sísmicas),» MIDUVI, Quito, 2014.
- [18] M. Moncayo Theurer, J. Rodríguez, Alcívar, López, Soriano y Villacis, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» *Ingeniería*, vol. XX, nº 1, pp. 57-62, 2016.
- [19] J. Carrillo, D. Silva y M. Sánchez, «Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero,» *Ingeniería: Investigación y Tecnología*, vol. XVII, nº 4, pp. 499-510, Octubre 2016.
- [20] R. L. Mott, *Resistencia de Materiales*, Quinta ed., L. M. C. Castillo, Ed., Ciudad de México: PRENTICE HALL, INC., 2009, pp. 60-61.

FIGURAS

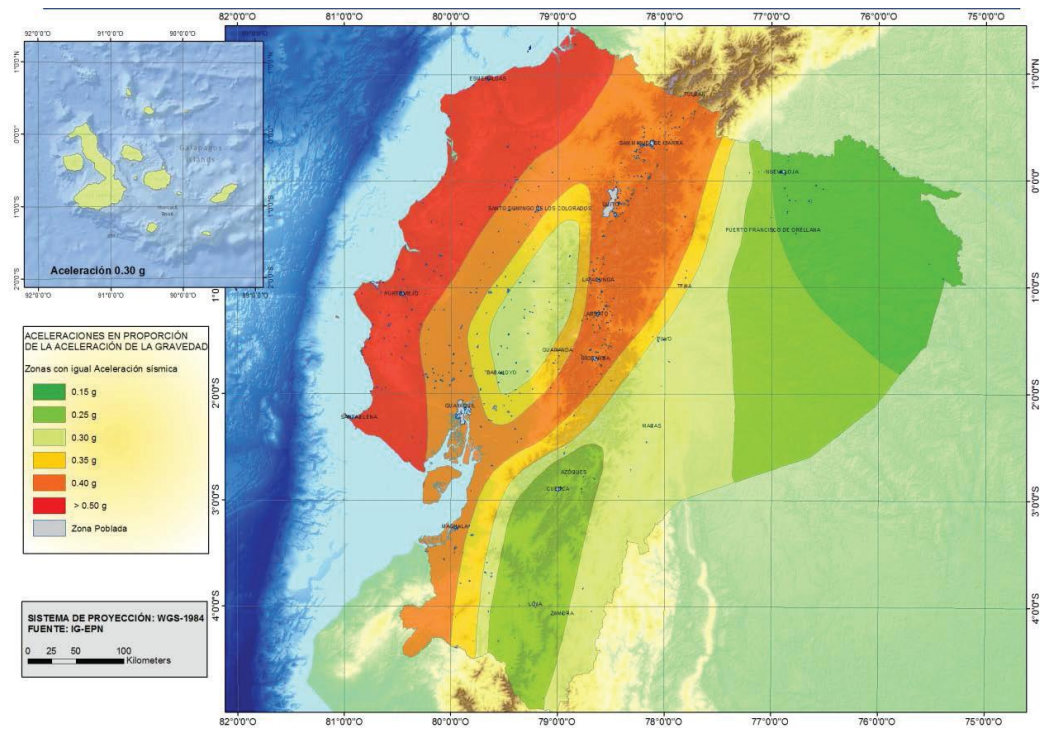


Figura 1 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z
Fuente: [4]



Figura 2 Alta tasa de repetición de las viviendas
Fuente: Propia



Figura 3 Producción en serie mediante Formaletas Metálicas
Fuente: Propia



Figura 4 Instalaciones Eléctricas, hidráulicas y Sanitarias
Fuente: Propia

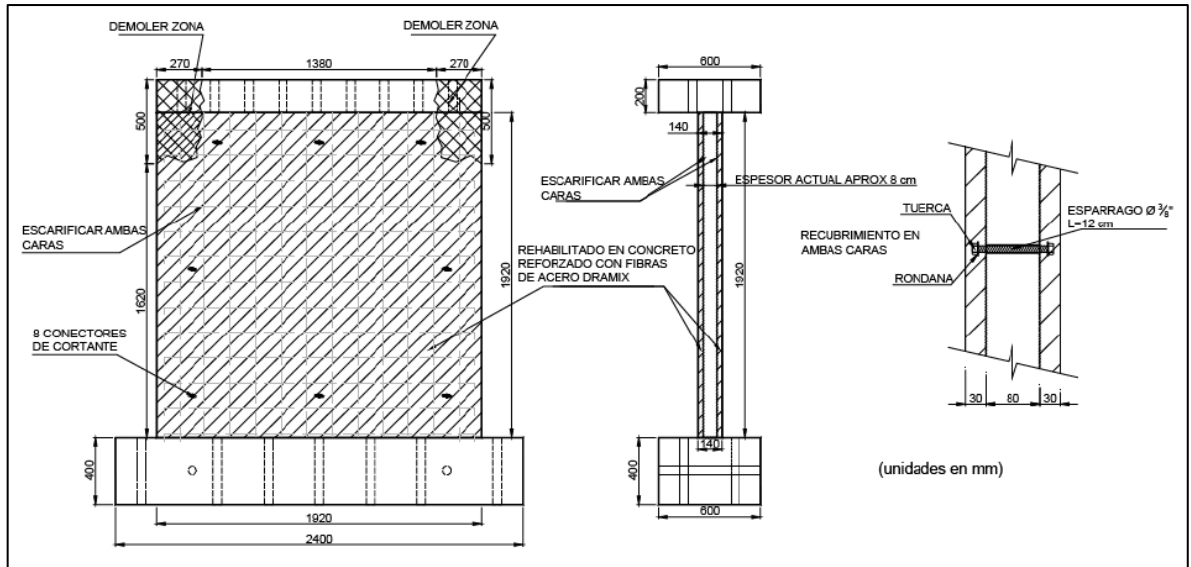


Figura 5 Esquema de Rehabilitación por CRFA

Fuente: [3]

TABLAS

| Sistema Estructural | Materiales | Coefficiente R | Limitación en altura (número de pisos) |
|---------------------|--|----------------|--|
| Muros Portantes | Mampostería No Reforzada y no confinada (c) | 1 | 1 |
| | Mampostería enchapada con malla de acero (a) | 1.5 | 2(b) |
| | Adobe y Tapial reforzado | 1.5 | 2 |
| | Bahareque | 1.5 | 2 |
| | Mampostería Reforzada | 3 | 2(b) |
| | Mampostería Confinada | 3 | 2(b) |
| | Muro de hormigón reforzado | 3 | 2(b) |
| | Muros livianos de acero | 1.5 | 2 |
| | Muro de mortero armado u hormigón armado con alma de poliestireno(a) | 1.5 | 2(b) |

Tabla 1 Sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas
Fuente: [8]

| Material | Peso Unitario kN/m ³ |
|--|------------------------------------|
| A. Rocas | |
| Basalto | 29.0 - 30.0 |
| Granito | 26.0 - 28.0 |
| Andesita | 26.0 - 28.0 |
| Sienita | 27.0 - 29.0 |
| Pórfido | 26.0 - 27.0 |
| Gabro | 29.0 - 31.0 |
| Arenisca | 26.0 - 27.5 |
| Calizas compactas y mármoles | 27.0 - 28.0 |
| Pizarra para tejados | 28.0 |
| B. Piedras artificiales | |
| Adobe | 16.0 |
| Amianto-cemento | 20.0 |
| Baldosa cerámica | 18.0 |
| Baldosa de gres | 19.0 |
| Hormigón simple | 22.0 |
| Hormigón armado | 24.0 |
| Ladrillo cerámico prensado (0 a 10% de huecos) | 19.0 |
| Ladrillo cerámico perforado (20 a 30% de huecos) | 14.0 |
| Ladrillo cerámico hueco (40 a 50% de huecos) | 10.0 |
| Ladrillo artesanal | 16.0 |

Tabla 2 Pesos Unitarios de los materiales de construcción
Fuente: [17]

| Ocupación o Uso | Carga uniforme (kN/m ²) | Carga concentrada (kN) |
|---|---|------------------------|
| Hospitales | | |
| Sala de quirófanos, laboratorios | 2.90 | 4.50 |
| Sala de pacientes | 2.00 | 4.50 |
| Corredores en pisos superiores a la planta baja | 4.00 | 4.50 |
| Instituciones penales | | |
| Celdas | 2.00 | |
| Corredores | 4.80 | |
| Pasamanos, guardavías y agarraderas de seguridad | Véase sección 4.5 ASCE/SEI 7-10 | |
| Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape) | 3.00 | |
| Patios y terrazas peatonales | 4.80 | |
| Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm²) | | 1.40 |
| Residencias | | |
| Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) | 2.00 | |
| Hoteles y residencias multifamiliares | 2.00 | |
| Habitaciones | 2.00 | |
| Salones de uso público y sus corredores | 4.80 | |

Tabla 3 Sobrecargas mínimas: Uniformemente distribuidas y Concentradas

Fuente: [17]

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

Tabla 4 Valores del factor Z en función de la Zona Sísmica

Fuente: [4]

| Zona geográfica | C |
|-------------------|-----|
| Costa y Galápagos | 2.4 |
| Sierra y Oriente | 3 |

Tabla 5 Coeficiente de Respuesta Sísmica

Fuente: [8]

| Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada | R |
|---|-----|
| Pórticos resistentes a momento | |
| Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros. | 3 |
| Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia | 2.5 |
| Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos. | 2.5 |
| Muros estructurales portantes | |
| Mampostería no reforzada, limitada a un piso. | 1 |
| Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos. | 3 |
| Mampostería confinada, limitada a 2 pisos. | 3 |
| Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos. | 3 |

Tabla 6 Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada

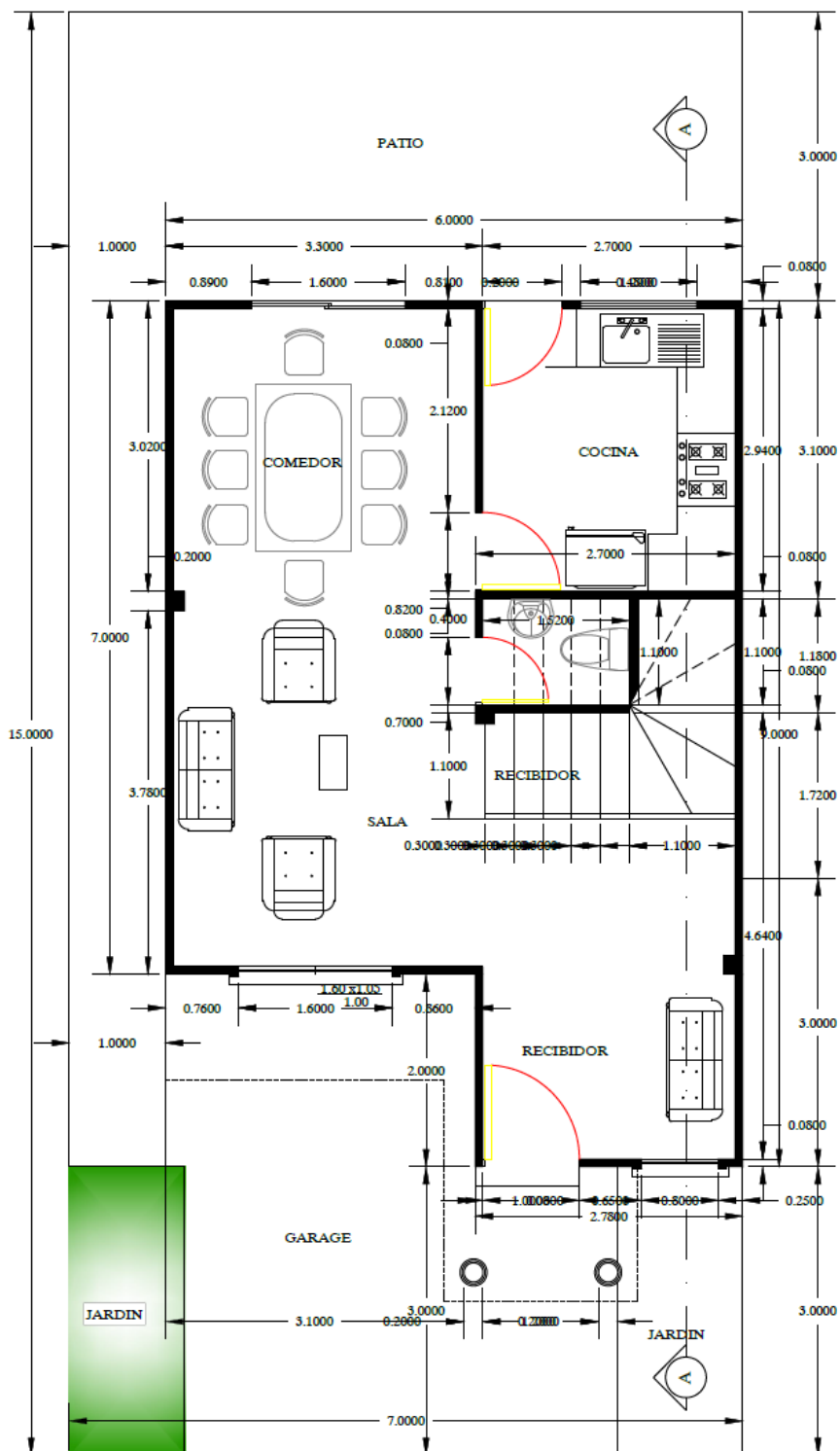
Fuente: [4]

| CARGA PARA PISOS | | |
|-----------------------|--------|-------------------|
| | kN | kN/m ² |
| Losa cubierta | 127,2 | 2,4 |
| Losa entrepiso | 387,26 | 7,75 |

Tabla 7 Asignación de Carga Muerta para losas

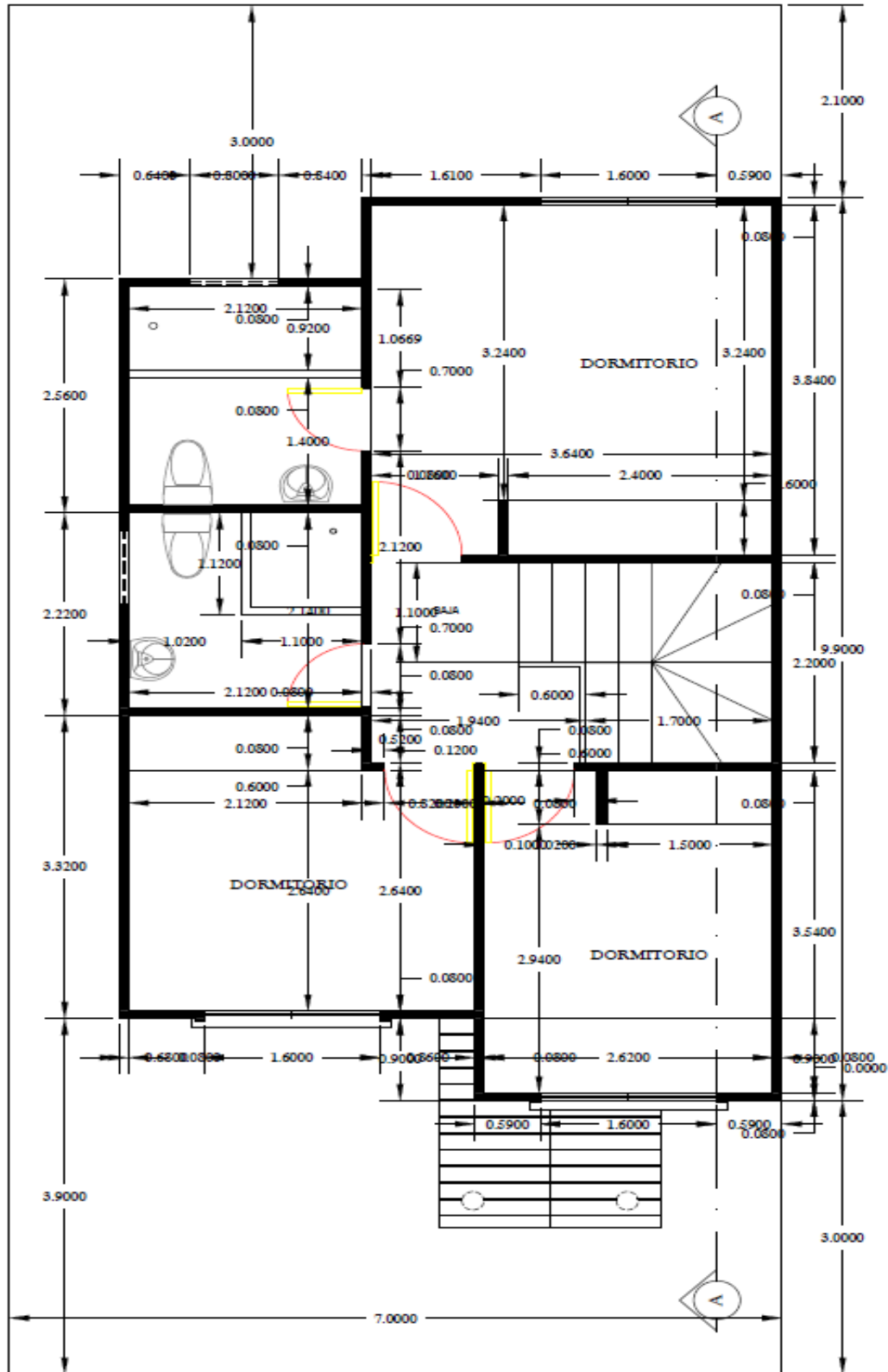
Fuente: Propia

Anexo 2. Plano Arquitectónico de Planta Baja



PLANTA BAJA

Anexo 3. Plano Arquitectónico de Planta Alta



PLANTA ALTA

Anexo 3. Modelado de la vivienda en SAP2000®

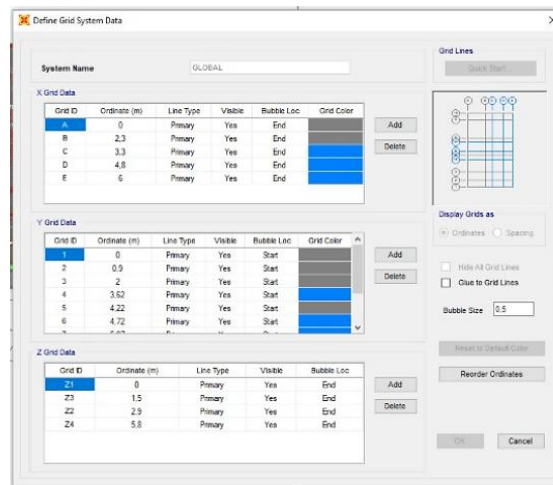


Figura 6 Definición de Grillas
Fuente: Propia

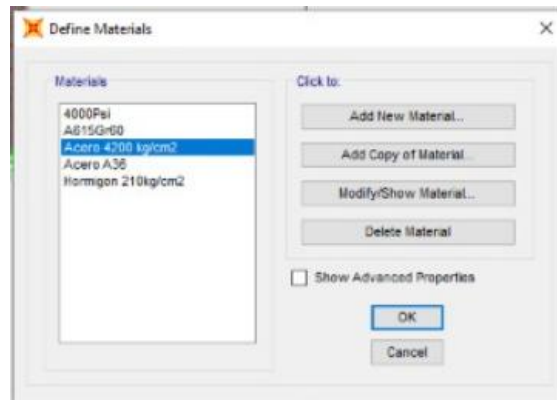


Figura 7 Definición de Materiales
Fuente: Propia

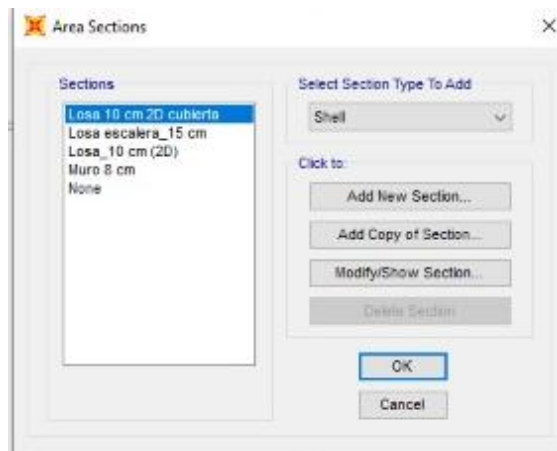


Figura 8 Dimensionamiento de los elementos estructurales
Fuente: Propia

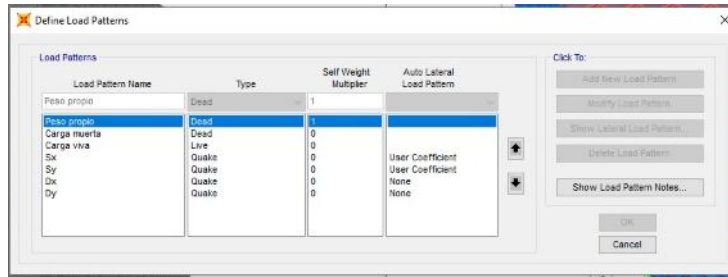


Figura 9 Definición de los Patrones de Carga
Fuente: Propia

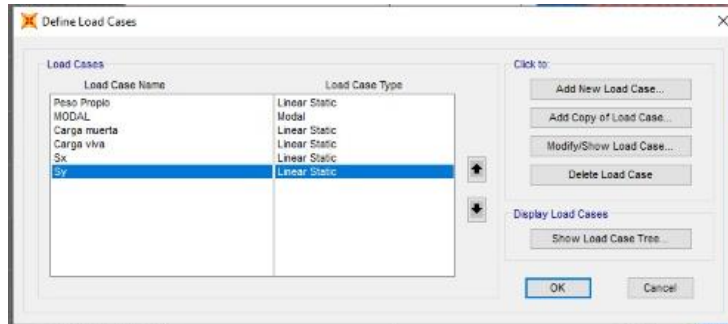


Figura 10 Definición de tipologías de Carga
Fuente: Propia

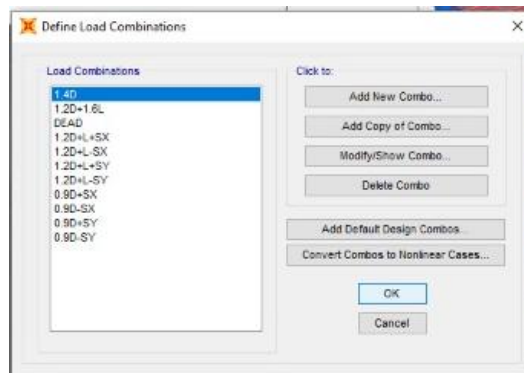


Figura 11 Definición de combinaciones de Carga (Combos)
Fuente: Propia

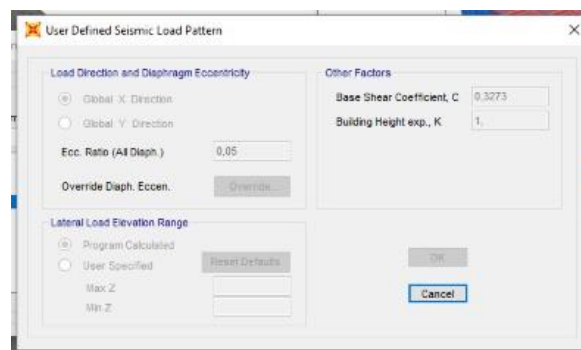


Figura 12 Definición de porcentaje de acción basal
Fuente: Propia

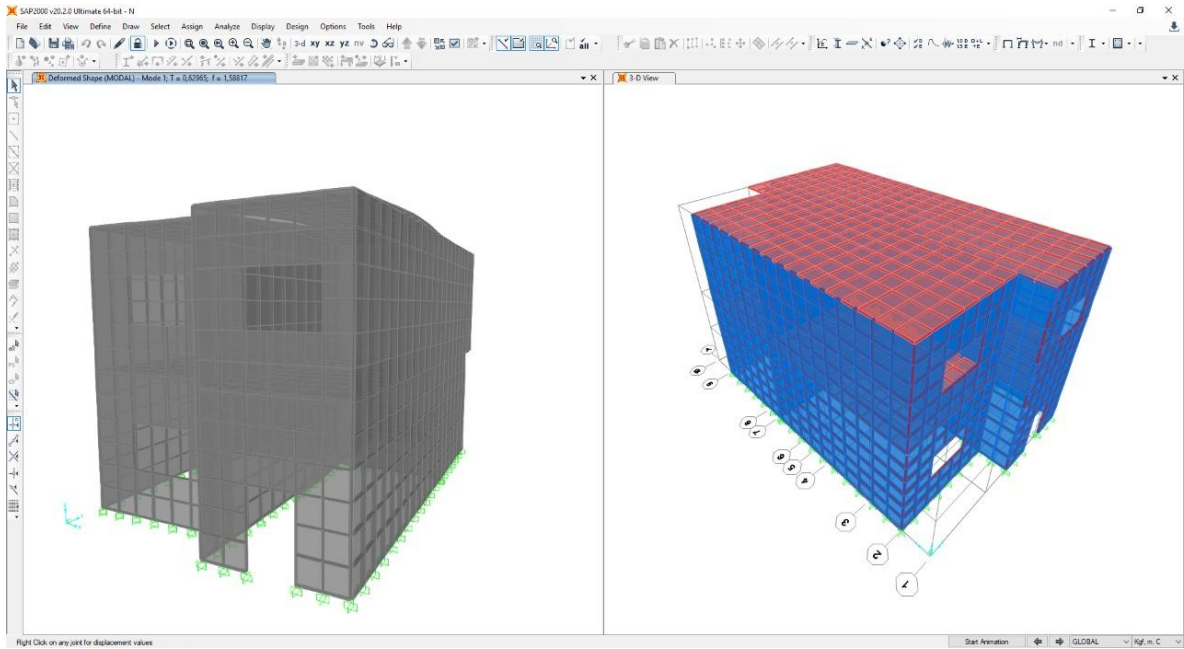


Figura 13 Modelo terminado y primer modo de vibración de la estructura
Fuente: Propia

| OutputCase | CaseType | GlobalFX Tonf | GlobalFY Tonf | GlobalFZ Tonf | GlobalMX Tonf.m | GlobalMY Tonf.m | GlobalMZ Tonf.m | GlobalX m | GlobalY m | GlobalZ m | XC |
|--------------|-------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----|
| Peso Propio | LinStatic | 5.817E-13 | -1.864E-12 | 72.7822 | 366.13616 | -233.223 | -0.744E-12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carga muerta | LinStatic | 1.699E-12 | -3.21E-12 | 56.7393 | 276.28035 | -175.76854 | -1.930E-11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DEAD | Combination | 1.67E-12 | -4.874E-12 | 128.9216 | 642.62651 | -408.99154 | -2.912E-11 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 14 Peso de la Estructura
Fuente: Propia

| LoadPat Text | Dir Text | PercentCo Unitless | EccOverride | UserZ Yes/No | MaxZ m | MinZ m | C Unitless | K Unitless | WeightInsd | BaseShear Tonf |
|-----------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|-----------|-----------|---------------|---------------|------------|-------------------|
| Sx | X | 0.05 | No | No | | | 0.3273 | 1 | 126.3983 | 41.37 |
| Sy | Y | 0.05 | No | No | | | 0.3273 | 1 | 126.3983 | 41.37 |

Figura 15 Corrección del Cortante Basal y su Acción
Fuente: Propia