



*Comportamiento estructural de muros portantes*

*Structural behavior of bearing walls*

*Comportamento estrutural das paredes do rolamento*

Andrés Esteban Orellana-Jara <sup>I</sup>

[andres.orellana.01@est.ucacue.edu.ec](mailto:andres.orellana.01@est.ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6301-9487>

Juan Sebastián Maldonado-Noboa <sup>II</sup>

[jmaldonadon@ucacue.edu.ec](mailto:jmaldonadon@ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>

**Correspondencia:** [andres.orellana.01@est.ucacue.edu.ec](mailto:andres.orellana.01@est.ucacue.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de julio de 2022 \* **Aceptado:** 18 de agosto de 2022 \* **Publicado:** 30 de septiembre de 2022

- I. Ingeniero Civil, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismo Resistentes, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. Maestro en Ingeniería Civil, Docente, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

## Resumen

El comportamiento de muros portantes está basado en el análisis computacional de una estructura combinada entre vigas de acero y muros de hormigón con un estudio complementario de mecánica de suelos en el sector de Challuabamba y Misicata en la ciudad de Cuenca en la provincia de Azuay, proporcionado por la Dirección General de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del Cantón Cuenca.

La edificación analizada consta de planta baja, 6 plantas altas y una cubierta, misma que tiene un uso ocupacional de viviendas departamentales y locales comerciales.

Se estudió el comportamiento de la estructura frente a fuerzas sísmicas y cargas aplicadas según la Normativa Ecuatoriana NEC que actualmente se encuentra vigente. De acuerdo a la Normativa se establecieron los parámetros fundamentales para elaborar el espectro elástico e inelástico con la finalidad de definir el período fundamental de la estructura.

Como punto inicial se han modelado 3 estructuras similares en cuanto a la geometría y aplicación de cargas, pero con variables en su materialidad estableciendo un conjunto de estructuras simultáneas que permitan valorar su comportamiento individual y de esa manera compararlo con los resultados del modelo principal.

Los parámetros analizados son: peso de la estructura, desplazamientos, deformaciones, diagramas de fuerzas cortantes, diagramas de momentos, período fundamental, participación de masa modal, modos de vibración, derivas, distribución del cortante basal por piso.

Se resume que el desempeño de la estructura con muros portantes supera a los otros modelos analizados, debido a que su configuración genera mayor ductilidad y rigidez a todo el conjunto de vigas y losas.

Los parámetros analizados para cada modelo cumplen los rangos dictados por la normativa ecuatoriana de la construcción NEC 2015, así como para los elementos de hormigón y acero con la normativa ACI 318-19 y AISC 360-16 respectivamente.

**Palabras claves:** Muros; Análisis; Deformación; Capacidad; Hormigón; Acero.

## Abstract

The behavior of load-bearing walls is based on the computational analysis of a combined structure between steel beams and concrete walls with a complementary study of soil mechanics

in the Challuabamba and Misicata sectors in the city of Cuenca in the province of Azuay, provided by the General Directorate of Risk Management of the Municipal GAD of the Cuenca Canton. The analyzed building consists of a ground floor, 6 upper floors and a roof, which has an occupational use of departmental housing and commercial premises. The behavior of the structure against seismic forces and applied loads was studied according to the Ecuadorian NEC Regulation that is currently in force. According to the Regulations, the fundamental parameters were established to elaborate the elastic and inelastic spectrum in order to define the fundamental period of the structure. As a starting point, 3 similar structures have been modeled in terms of geometry and application of loads, but with variables in their materiality, establishing a set of simultaneous structures that allow their individual behavior to be assessed and thus compared with the results of the main model. The parameters analyzed are: weight of the structure, displacements, deformations, shear force diagrams, moment diagrams, fundamental period, modal mass participation, vibration modes, drifts, base shear distribution per floor. It is summarized that the performance of the structure with load-bearing walls exceeds the other models analyzed, because its configuration generates greater ductility and stiffness to the entire set of beams and slabs. The parameters analyzed for each model meet the ranges dictated by the Ecuadorian construction regulations NEC 2015, as well as for concrete and steel elements with the ACI 318-19 and AISC 360-16 regulations, respectively.

**Keywords:** Walls; Analysis; Deformation; Ability; Concrete; Steel.

## Resumo

O comportamento de paredes portantes é baseado na análise computacional de uma estrutura combinada entre vigas de aço e paredes de concreto com um estudo complementar de mecânica dos solos nos setores Challuabamba e Misicata na cidade de Cuenca na província de Azuay, fornecido pelo Direção Geral de Gestão de Riscos do GAD Municipal do Cantão de Cuenca. O edifício analisado é constituído por rés-do-chão, 6 pisos superiores e cobertura, que tem uma utilização ocupacional de habitação departamental e estabelecimento comercial. O comportamento da estrutura frente às forças sísmicas e cargas aplicadas foi estudado de acordo com o Regulamento NEC equatoriano atualmente em vigor. De acordo com o Regulamento, foram estabelecidos os parâmetros fundamentais para elaborar o espectro elástico e inelástico

para definir o período fundamental da estrutura. Como ponto de partida, foram modeladas 3 estruturas semelhantes em termos de geometria e aplicação de cargas, mas com variáveis na sua materialidade, estabelecendo um conjunto de estruturas simultâneas que permitem avaliar o seu comportamento individual e assim comparar com os resultados das principais modelo. Os parâmetros analisados são: peso da estrutura, deslocamentos, deformações, diagramas de forças cortantes, diagramas de momentos, período fundamental, participação modal da massa, modos de vibração, desvios, distribuição de base cortante por piso. Resume-se que o desempenho da estrutura com paredes portantes supera os demais modelos analisados, pois sua configuração gera maior ductilidade e rigidez a todo o conjunto de vigas e lajes. Os parâmetros analisados para cada modelo atendem às faixas ditadas pelas normas equatorianas de construção NEC 2015, bem como para elementos de concreto e aço com as normas ACI 318-19 e AISC 360-16, respectivamente.

**Palavras-chave:** Paredes; Análise; Deformação; Habilidade; Concreto; Aço.

## Introducción

En la ciudad de Cuenca en la provincia del Azuay se han implementado estructuras de tipología general consistente en sistemas de pórticos de hormigón armado y/o acero para viviendas y edificaciones de altura promedio entre 15 a 20 metros. Para edificaciones de mayor altura se han construido en su mayoría con sistemas de hormigón armado y losas alivianadas por su versatilidad y rigidez que ofrece tras un evento sísmico frente al sistema de acero que por su ventaja de rápido armado es más flexible y amigable con sus componentes estructurales, sin dejar de lado su comportamiento dúctil en sismos.

Tras el sismo ocurrido en la ciudad de Pedernales el 16 de abril de 2016 se ha podido verificar que el sistema constructivo regular es medianamente deficiente en viviendas y edificaciones con más de 20 años de vida útil. Sin embargo, las construcciones más contemporáneas han resistido en cierta medida el sismo, pero con daños considerables y otras que han colapsado.

Una de las fallas al momento de la construcción es la modelación, pues en ciertos casos las normativas vigentes han sido ignoradas en cuanto a sus recomendaciones e indicaciones para las diferentes zonas sísmicas de nuestro país.

De tal forma que para el análisis del comportamiento de muros portantes se han modelado 2 tipos de edificaciones con igual consideración de dimensiones, cargas y fuerzas accidentales (sismo)

de acuerdo a su tipología teniendo en consideración la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 misma que tiene como referencia la ACI 318 para elementos de hormigón y la AISC 360-16 para elementos de acero, pues el modelo de muros portantes considera éstas normativas para un correcto comportamiento de cada modelo realizado para evaluar su comportamiento frente a un mismo sismo.

Las consideraciones del suelo para la base de las estructuras han sido proporcionadas por la Dirección General de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Cuenca que tiene información sobre los distintos tipos de estratigrafías que se encuentran en el cantón, así como su clasificación, capacidades portantes límites de asentamientos, mapas de peligrosidad y zonas de riesgo. Esta información se utilizó para general el espectro elástico e inelástico de las estructuras según su materialidad, pero con la misma geometría.

La evaluación de los resultados que se obtengan de los análisis servirá para determinar el comportamiento estructural más idóneo y de la misma manera verificar el costo beneficio que representan para su construcción dentro del sistema económico de la ciudad.

## Metodología

Para el análisis del comportamiento de muros portantes se han creado 2 modelos adicionales en hormigón y acero con la misma geometría, cargas y fuerza para poder comparar sus resultados frente al modelo principal, pues estos 2 descritos son los más comunes en la ciudad de Cuenca.

Los modelos analizados tienen un uso ocupacional para viviendas las cuales están sometidas a cargas vivas y muertas. A continuación, se muestra:

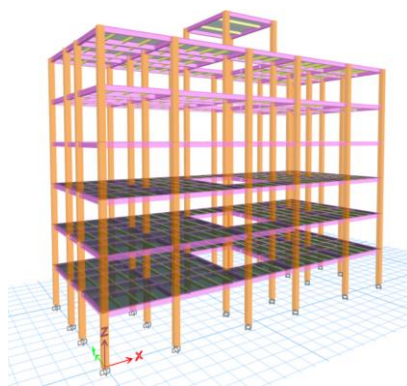
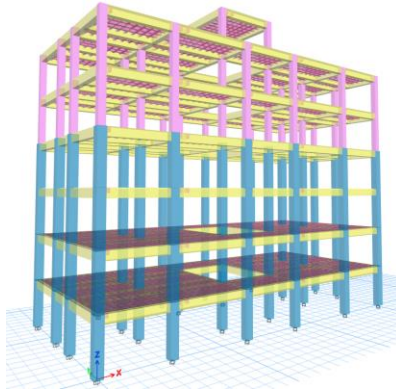
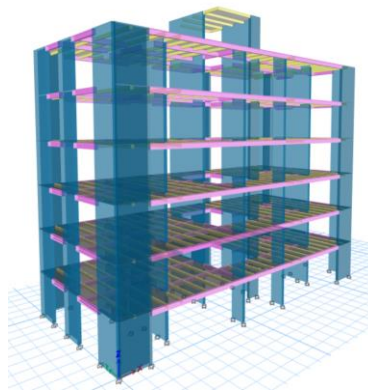


Figura 1: Modelo computacional en Acero



**Figura 2:** Modelo computacional en Hormigón



**Figura 3:** Modelo computacional en Muros Portantes

Las cargas vivas fueron asumidas mediante la normativa NEC 2015 en su código NEC-SE-CG apartado 4.2. Carga Viva: sobrecargas mínimas.

Viviendas (Unifamiliares y bifamiliares) = 2.00 kN/m<sup>2</sup> – 205 kg/m<sup>2</sup> (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Las cargas muertas fueron consideradas de acuerdo a su utilidad, es decir:

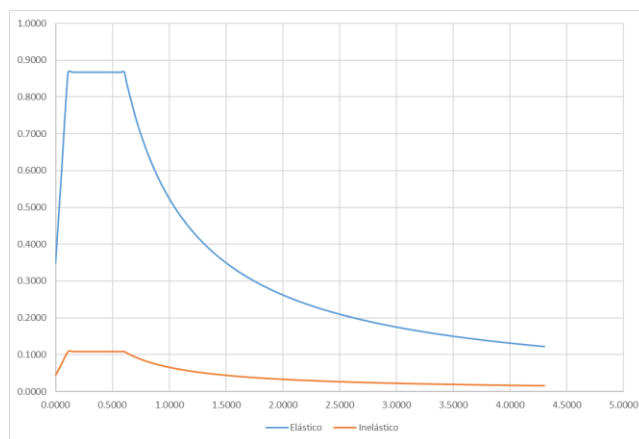
- Cargas de mamposterías y cielo raso,
- Cargas de recubrimientos (losas y paredes),
- Cargas de Sistemas Sanitarios y
- Cargas de Sistemas Eléctricos.

Dando un total de 290 kg/m<sup>2</sup> para cada entrepiso.

De la misma forma para el piso de cubierta la Norma NEC2015 tiene un peso de carga viva correspondiente a 0.70 kN/m<sup>2</sup> (75 kg/m<sup>2</sup>) para cubiertas planas, inclinadas y curvas. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Se calcula la fuerza del cortante basal estático y el espectro elástico e inelástico en base la zona de ubicación y las condiciones del suelo proporcionadas por la Dirección General de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Cuenca, para zonas de mayor peligro sísmico estableciendo el suelo como tipo D de acuerdo a su clasificación y estratigrafía.

La zona analizada corresponde a Challuabamba ubicada al Noreste de la ciudad, la zona presentada tiene una estratigrafía que comprende arcillas expansivas y su capacidad de carga es baja, debido a ello el modelo adopta estas características y se obtiene el espectro mostrado:



**Figura 4** Espectro Elástico e Inelástico

## Resultados

### Modelo estructural de edificación con muros portantes

En el programa ETABS versión 19 se modeló la estructura para obtener los resultados que permiten evaluar su comportamiento individual.

La masa que se considera para el análisis es el 100% del peso propio y la sobrecarga y el 25% de la carga viva. (Marcelo Guerra Avendaño, 2020)

De acuerdo a la normativa NEC 2015 se han establecido las combinaciones de carga, estados de carga y coeficientes sísmicos de carga. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Para estructuras de hormigón armado se toma como inercia agrietada 0.6g para muros estructurales en base a la normativa. (American Concrete Institute, 2019)

## Elementos estructurales

Las secciones y materiales utilizados para el análisis son:

**Figura 5:** Secciones y Materiales para el análisis

Descripción	Características	Material
Muros portantes	Espesor: 25 cm	Hormigón $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$
Vigas Principales	2G 300x100x30x4 mm	Acero ASTM A-36
Vigas Secundarias	2G 200x50x15x3 mm	Acero ASTM A-36
Losas	Novalosa 0.65mm e=5cm	Acero ASTM A-653 Gr. 37
		Hormigón $f'c= 240 \text{ kg/cm}^2$

## Configuración en planta y elevación

La edificación tiene unos funcionales para viviendas por lo que se ha establecido una configuración en planta y elevación correspondiente a 3 m de altura en cada entrepiso desde planta baja a cubierta dando un total de 21 m de altura para la edificación.

## Resultados del análisis estático y dinámico

### Desplazamientos

Para el análisis de los desplazamientos se han tomado nudos de control en el piso de terraza que es el punto más alejado de la base, pues el piso de cubierta final es únicamente el techo de cubierta de escaleras y ascensor.

Por tanto, los nodos a controlar son: Nodo 6 y Nodo 1 para los casos de carga de  $S_x$ - $S_y$ - $D_x$ - $D_y$  que son los sismos estáticos y dinámicos.



Figura 6: Cuadro de desplazamientos nodales

TABLE: Joint Displacements						TABLE: Joint Displacements					
Story	Label	Output Case	Ux	Uy	Uz	Story	Label	Output Case	Ux	Uy	Uz
			cm	cm	cm				cm	cm	cm
Terraza	6	SX	1.7684	0.0319	-0.0641	Terraza	6	DX	1.948	0.053	0.0724
P5	6	SX	1.3854	0.0238	-0.0647	P5	6	DX	1.5166	0.0406	0.0726
P4	6	SX	1.0018	0.0164	-0.0637	P4	6	DX	1.0889	0.0287	0.0706
P3	6	SX	0.6365	0.01	-0.0583	P3	6	DX	0.6864	0.0179	0.0638
P2	6	SX	0.3197	0.005	-0.0473	P2	6	DX	0.3419	0.009	0.0509
P1	6	SX	0.0908	0.0016	-0.0282	P1	6	DX	0.0962	0.0027	0.03
Base	6	SX	0	0	0	Base	6	DX	0	0	0

TABLE: Joint Displacements						TABLE: Joint Displacements					
Story	Label	Output Case	Ux	Uy	Uz	Story	Label	Output Case	Ux	Uy	Uz
			cm	cm	cm				cm	cm	cm
Terraza	1	SY	-0.0593	0.5614	-0.0268	Terraza	1	DY	0.0985	0.6004	0.0262
P5	1	SY	-0.0469	0.4403	-0.0269	P5	1	DY	0.0766	0.4682	0.0263
P4	1	SY	-0.0343	0.3191	-0.0261	P4	1	DY	0.0549	0.3368	0.0252
P3	1	SY	-0.0219	0.2036	-0.0235	P3	1	DY	0.0346	0.2131	0.0224
P2	1	SY	-0.011	0.1033	-0.0187	P2	1	DY	0.0172	0.1071	0.0176
P1	1	SY	-0.003	0.0302	-0.0114	P1	1	DY	0.0049	0.031	0.0106
Base	1	SY	0	0	0	Base	1	DY	0	0	0

### Verificación de derivas

Establecidos los desplazamientos de piso de acuerdo al nodo de control se verifican las derivas de piso en base a la normativa NEC 2015 para lo cual se calculó mediante la fórmula:

$$0.75 * R * \Delta_E$$

Dónde:

- R= Factor de reducción de resistencia
- $\Delta_e$ = Desplazamiento obtenido en la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

Figura 7: Derivas analizadas

VERIFICACIÓN DE DERIVAS			
Sx	Sy	Dx	Dy
0.001279	0.000405	0.001446	0.000454
0.77%	0.24%	0.87%	0.27%
Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

De acuerdo a la normativa en su apartado 4.2.2. Límites permisibles de las derivas de los pisos; se expone que las mismas en base a su tipología estructural no debe exceder 0.02 (2%). Como es posible observar los límites calculados están dentro del rango normativo. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

### Período y participación de masa modal

Se evalúan los modos de vibración de acuerdo al número de pisos y los grados de libertad por cada uno, dando un total de 21 modos de vibración.

**Figura 8:** Períodos y Participación de masa modal

Radios de participación de masa modal							
Modo	Periodo sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.596	0.671	0.002	0.671	0.002	0.002	0.002
2	0.338	0.002	0.676	0.673	0.678	0.000	0.002
3	0.302	0.002	0.000	0.675	0.678	0.681	0.683
4	0.117	0.191	0.001	0.866	0.678	0.001	0.683
5	0.067	0.001	0.203	0.867	0.881	0.000	0.683
6	0.06	0.000	0.000	0.867	0.881	0.198	0.881
7	0.057	0.031	0.001	0.897	0.882	0.002	0.882
8	0.04	0.050	0.000	0.947	0.882	0.000	0.882
9	0.028	0.000	0.067	0.947	0.948	0.000	0.882
10	0.025	0.000	0.000	0.947	0.948	0.063	0.945
11	0.023	0.030	0.000	0.977	0.948	0.000	0.945
12	0.022	0.000	0.000	0.977	0.948	0.007	0.952
13	0.019	0.000	0.009	0.977	0.957	0.000	0.952
14	0.016	0.014	0.000	0.992	0.957	0.000	0.952
15	0.016	0.000	0.025	0.992	0.982	0.000	0.952
16	0.015	0.000	0.000	0.992	0.982	0.028	0.980
17	0.014	0.002	0.000	0.994	0.982	0.000	0.980
18	0.013	0.000	0.000	0.994	0.982	0.000	0.980
19	0.013	0.000	0.000	0.994	0.982	0.000	0.980
20	0.013	0.000	0.000	0.994	0.982	0.000	0.980
21	0.013	0.000	0.000	0.994	0.982	0.001	0.981

De acuerdo al período calculado en el espectro se obtiene  $T = 0.54$  seg y el período calculado en ETABS es  $T = 0.59$  seg en su modo 1.

De la misma forma se establece que en el primer modo de vibración existe una participación de masa del 67% al igual que el modo 2 y en el modo 3 un 68%.

La participación de masa modal que alcanza el 90% corresponde al modo 8, 9 y 10.

De acuerdo a la participación de carga modal se cumple con más del 90% de la misma como se indica en el cuadro siguiente:

**Figura 9:** Participación de carga modal

Radios de participación de carga modal				
Caso	Tipo	Dirección	Estático	Dinámico
			%	%
Modal	Aceleración	UX	100	99.43
		UY	100	98.2

		UZ	0	0
--	--	----	---	---

### Distribución del cortante basal por piso

Para verificar los esfuerzos aplicados en cada piso por efecto de la carga sísmica estática aplicada por carga de cortante basal es posible determinar la distribución de ella por piso y determinar si ésta se encuentra correctamente aplicada en base a las masas.

De igual forma se analizó los cortantes aplicados de cada piso y de esta forma compararlos con el cortante basal general calculado.

El valor del cortante basal calculado es de -131.99 Ton. Para Sx (Sismo en dirección X) y Sy (Sismo en dirección Y).

### Ajuste del cortante basal estático y dinámico

Establecidas las fuerzas actuantes se procede a verificar y corregir los coeficientes de cortante basal en relación a la normativa NEC 2015 misma que en su apartado:

Métodos de análisis para el DBF, numeral 6.2.2. Procedimientos dinámicos de cálculo de las fuerzas sísmicas; literal b Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico, al respecto establece:

El valor del cortante dinámico total en la base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático (Estructuras regulares)
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático (Estructuras irregulares)

Se determinó el valor del cortante basal en función del peso reactivo de la estructura y el coeficiente del cortante basal. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Inicialmente se calculó un coeficiente de cortante basal de 0.1085 para la dirección X y Y.

Por tanto, se ha procedido a realizar el ajuste debido para el modelo dando como resultados las fuerzas equilibradas para el análisis final. Se muestran a continuación los datos obtenidos.

Para sismo estático

- Peso total de la estructura= 839.74 ton,
- Carga muerta= 376.74 ton,
- Peso total de la estructura + Carga muerta= 1216.48 ton,

- Cortante basal inicial= 0.1085 ton, y
- Fuerza horizontal calculada= 131.99 ton.

Para Sismo dinámico

- Fuerza Dx= 132.20 (eje x-x) 9.55 (eje y-y)
- Fuerza Dy= 9.57 (eje x-x) 131.53 (eje y-y)

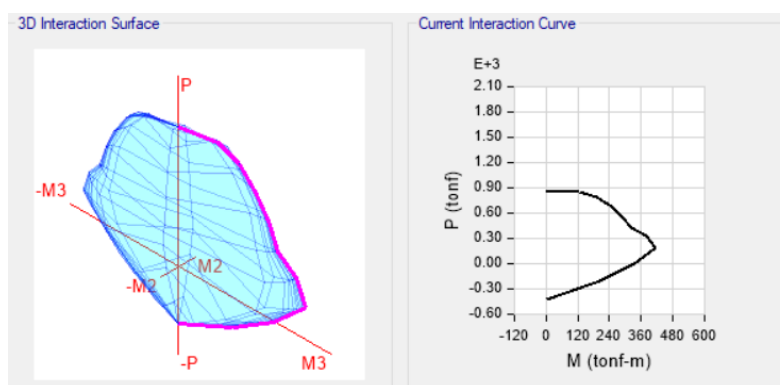
De esta forma se obtiene el análisis de la estructura modelada con muros portantes, estableciendo que sus valores resultantes están bajo la normativa ecuatoriana de la construcción NEC 2015.

### Comportamiento estructural

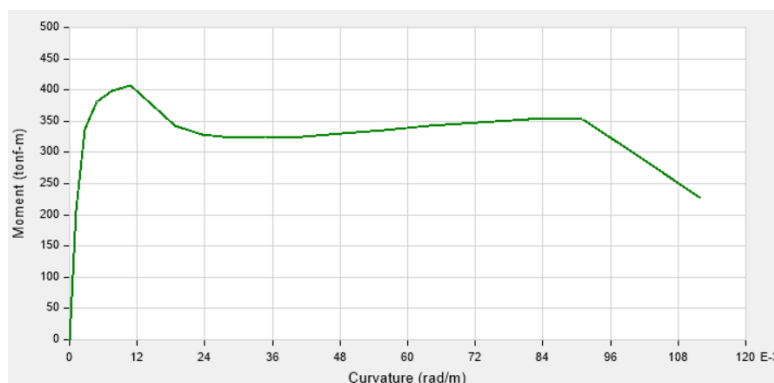
Para la evaluación del comportamiento estructural de la edificación con muros portantes es importante verificar los resultados de los modelos adicionales en hormigón y acero respectivamente y de esta manera establecer rangos de desempeño, seguridad y su costo beneficio frente al modelo de la edificación de muros portantes.

### Diagramas de interacción y momento-curvatura de muro

Se muestra el diagrama de interacción y la relación momento curvatura de la sección de muro para conocer la capacidad de ductilidad por curvatura y la máxima capacidad a flexión de tal forma que así se obtiene un valor referente para las demandas que se tienen por diseño. (Aguiar, 2015)



**Figura 10:** Diagrama de Interacción



**Figura 11:** Diagrama Momento – Curvatura

## Resultados del modelo en hormigón armado y acero

El modelo de la edificación está considerado en una tipología de sistema de pórticos armados con igual geometría, cargas permanentes, accidentales, espectro de acuerdo a la normativa NEC 2015 y parámetros geotécnicos.

### Modelo hormigón

Materiales: Hormigón, Resistencia a la compresión= 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>

Secciones: Columnas: 50x50 cm Pisos 1-4; 40x40 cm Pisos 5-7

Vigas: 50x35cm; 40x30 cm

Losa: Alivianada tipo waffle (ETABS)

Macizado: Losa tipo Drop 30 cm (ETABS)

### Modelo acero

Materiales: Acero ASTM A-36; Hormigón  $f'c= 240$  kg/cm<sup>2</sup>

Secciones: Columnas: 2C 350x350x8 mm

Vigas: 2G 300x100x30x4mm; 2G 200x50x15x3 mm

Losa: Novalosa 5cm

## Resultados del análisis estático y dinámico

### Desplazamientos

Para el análisis se consideraron los mismos nodos de control para X y Y, considerados en el modelo de muros portantes, es decir, nodo 6 para la dirección X y nodo 1 para la dirección Y.

### Modelo Hormigón

Sx= 1.1629 cm (Terraza - Nodo 6)

Dx= 1.106 cm (Terraza - Nodo 6)

Sy= 1.0743 cm (Terraza - Nodo 1)

Dy= 1.0088 cm (Terraza - Nodo 1)

### Modelo Acero

Sx= 3.5073 cm (Terraza - Nodo 6)

Dx= 3.2935 cm (Terraza - Nodo 6)

Sy= 3.1144 cm (Terraza - Nodo 1)

Dy= 2.934 cm (Terraza - Nodo 1)

Es evidente la diferencia de desplazamientos entre estructuras de diferente materialidad puesto a que el acero tiene mayor flexibilidad frente a la rigidez del hormigón. Para disminuir los desplazamientos de la estructura de acero se podría optar por arrostramientos diagonales.

## Derivas

Con igual criterio normativo se evaluaron las derivas de cada modelo, llegando a los siguientes resultados:

VERIFICACIÓN DE DERIVAS			
SX	SY	DX	DY
0.002656	0.002319	0.002543	0.002238
1.5936	1.3914	1.5258	1.3428
Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

**Figura 12:** Derivas de los modelos en Acero

VERIFICACIÓN DE DERIVAS			
SX	SY	DX	DY
0.00081	0.00074	0.0008	0.000784
0.486	0.444	0.48	0.4704
Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

**Figura 13:** Derivas de los momentos en hormigón

Es evidente el incremento de derivas de piso que presenta el modelo en acero debido a su materialidad.

Al igual que los desplazamientos se debe considerar disminuir las derivas de pisos mediante arrostramientos o rigidizando las columnas con el vertido de hormigón.

## Período y participación de masa modal de modelos adicionales

Figura 14: Periodo y participación de la masa modal - Modelo de Hormigón

Radios de participación de masa modal							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	Sum RZ
	sec						
1	0.600	0.807	0.000	0.807	0.000	0.000	0.000
2	0.575	0.000	0.789	0.807	0.789	0.009	0.009
3	0.517	0.000	0.010	0.807	0.799	0.798	0.808
4	0.213	0.106	0.000	0.913	0.799	0.000	0.808
5	0.205	0.000	0.116	0.913	0.914	0.001	0.808
6	0.184	0.000	0.001	0.913	0.915	0.108	0.916
7	0.130	0.023	0.000	0.956	0.915	0.000	0.916
8	0.128	0.000	0.017	0.956	0.931	0.000	0.916
9	0.109	0.027	0.000	0.963	0.931	0.000	0.916
10	0.107	0.000	0.032	0.963	0.963	0.002	0.918
11	0.104	0.000	0.001	0.963	0.964	0.038	0.956
12	0.094	0.000	0.000	0.963	0.964	0.006	0.962
13	0.082	0.014	0.000	0.977	0.964	0.000	0.962
14	0.081	0.000	0.014	0.977	0.978	0.000	0.962
15	0.074	0.000	0.000	0.977	0.978	0.016	0.977
16	0.063	0.017	0.000	0.994	0.978	0.000	0.977
17	0.062	0.000	0.016	0.994	0.994	0.000	0.977
18	0.056	0.000	0.000	0.994	0.994	0.017	0.994
19	0.048	0.006	0.000	1.000	0.994	0.000	0.994
20	0.048	0.000	0.006	1.000	1.000	0.000	0.994
21	0.043	0.000	0.000	1.000	1.000	0.006	1.000

Figura 15: Periodo y participación de la masa modal - Modelo de Acero

Radios de participación de masa modal							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	Sum RZ
	sec						
1	1.063	0.802	0.000	0.802	0.000	0.000	0.000
2	0.999	0.000	0.803	0.802	0.803	0.000	0.000
3	0.857	0.000	0.000	0.802	0.803	0.808	0.808
4	0.327	0.108	0.000	0.910	0.803	0.000	0.808
5	0.31	0.000	0.111	0.910	0.914	0.000	0.808
6	0.265	0.000	0.000	0.910	0.914	0.109	0.916
7	0.178	0.042	0.000	0.952	0.914	0.000	0.916
8	0.172	0.000	0.039	0.952	0.952	0.000	0.916
9	0.143	0.000	0.000	0.952	0.952	0.044	0.960
10	0.129	0.000	0.015	0.952	0.967	0.000	0.960
11	0.127	0.017	0.000	0.969	0.967	0.000	0.960
12	0.099	0.017	0.000	0.985	0.967	0.000	0.960
13	0.099	0.000	0.000	0.985	0.967	0.007	0.967
14	0.099	0.000	0.018	0.985	0.986	0.000	0.967
15	0.089	0.000	0.000	0.985	0.986	0.018	0.984
16	0.075	0.011	0.000	0.996	0.986	0.000	0.984
17	0.075	0.000	0.011	0.996	0.996	0.000	0.984
18	0.066	0.000	0.000	0.996	0.996	0.012	0.996
19	0.062	0.004	0.000	1.000	0.996	0.000	0.996
20	0.062	0.000	0.004	1.000	1.000	0.000	0.996
21	0.054	0.000	0.000	1.000	1.000	0.004	1.000

## Cortante basal por piso

Se evalúa también la distribución del cortante basal por piso con el cual se puede ver la edificación más sensible al mismo.

**Figura 16:** Resumen de Fuerzas Cortantes

MODELO	FUERZAS CORTANTES		UNIDAD
	SX	SY	
ACERO	-53.59	-53.59	Tonf
HORMIGÓN	-105.83	-105.83	Tonf

### Resumen de resultados para modelos adicionales

Los resultados de los análisis para los modelos en acero y hormigón establecen un precedente importante debido al material que se usaría para una misma edificación, que por el contrario al modelo de muros portantes ofrece ventajas sobre éstos.

En resumen, la estructura de acero al ser más flexible permite mayor desplazamiento y derivas debido a las fuerzas de corte basal que absorbe de un mismo cálculo de espectro de diseño, pues al ser menos rígido que la estructura de hormigón su periodo fundamental incrementa considerablemente.

Sin embargo, estos valores pueden mejorar con un criterio más conservador al implementar rigidizadores de cualquier tipo conocido, pero al mismo tiempo disminuye su conceptualización arquitectónica con la que fue concebido.

Por otro lado, el modelo de hormigón armado es más rígido por lo que absorbe mayor fuerza de corte basal debido a su peso, y con esa ventaja lo hace menos vulnerable a cambios que afecten su principio arquitectónico.

Esto no impide que existan también desfases de período, desplazamientos y derivas porque mientras más alta sea la edificación, existe mayor fuerza de corte y los elementos de base serán más vulnerables y así el punto de equilibrio ( $U_x$ ,  $U_y$  y  $R_z$ ) de la estructura se tendrá que estabilizar con otras estructuras complementarias como lo son los muros de corte, volviendo a la estructura más pesada y poniendo en desventaja su arquitectura.

### Síntesis de evaluación y comportamiento estructural

Se ponen a continuación en síntesis los datos obtenidos para los 3 modelos analizados:



Figura 17: Síntesis de Resultados

SÍNTESIS DE RESULTADOS DE MODELOS ESTRUCTURALES															
Configuración Estructural	Desplazamientos (cm)				Periodo	Participación de Masa Modal			Derivas de piso (%)				Coeficientes de carga sísmica		Fuerzas Cortantes
	SX	SY	DX	DY	seg	Ux	Uy	SumZ	SX	SY	DX	DY	C	K	tonf
Modelo Estructural - Acero	3.51	3.11	3.29	2.93	1.063	0.80	0.80	0.81	1.59	1.39	1.53	1.34	0.074	1.1612	53.593
Modelo Estructural - Hormigón	1.16	1.07	1.11	1.00	0.600	0.81	0.79	0.81	0.48	0.44	0.48	0.47	0.0755	1.1759	105.832
Modelo Estructural - Muros Portantes	1.77	0.56	1.95	0.60	0.596	0.67	0.68	0.68	0.77	0.24	0.87	0.27	0.108	1.0198	131.997

Como es posible observar en los resultados de los modelos analizados existen variedad para cada parámetro, siendo la estructura de acero la más elástica en comparación los modelos de hormigón y muros portantes debido a que su periodo fundamental el más extenso y su participación de masa modal cubre equilibradamente al 80%, por tanto, sus derivas son más altas y en comparación a las fuerzas basales de piso son menores.

El modelo estructural en hormigón controla de mejor manera los desplazamientos en ambas direcciones manteniéndolos entre 1.16 cm y 1 cm en condiciones de sismo estático y dinámico de igual forma el período permanece en 0.60 seg lo que permite un mejor desempeño modal espectral como se puede observar en su participación de masa, manteniendo bajas las derivas.

La estructura de muros portantes reduce el desplazamiento en la dirección Y y aumenta ligeramente en el sentido X, pues su geometría es rectangular y lógicamente su eje más extenso es X. Este comportamiento también es evidente en cuanto a las derivas calculadas. Su período es similar al modelo de hormigón sin embargo su participación de masa modal bordea los 67% a 68% asumiendo mayor carga de fuerza accidental (sismo).

### Análisis de beneficio constructivo

La situación económica actual en Ecuador establece límites constantes en el sector constructivo pues la calidad de los materiales se ve comprometida con la producción de materia prima para los diversos componentes estructurales como lo es principalmente el acero y el cemento, mismos que son primordiales en las edificaciones.

En razón de ello la economía limita la proporcionalidad de materiales a usarse en la construcción, por lo que para la mayor cantidad de población ecuatoriana es preferible lo más económico sin llegar a pensar en lo técnicamente adecuado de acuerdo a su zona local.

Con base en la tabla 12 se puede apreciar la cantidad involucrada de los elementos estructurales que intervienen en cada modelo, sin considerar varillas para elementos de hormigón, malla de refuerzo para losas, encofrados, replantillos y cimentación.

Estableciendo un rango de cantidades desde el más alto al más bajo se situarán en el orden de: Hormigón, Muros Portantes y Acero.

**Figura 18:** Lista de materiales

MODELO EN ACERO			MODELO HORMIGÓN			MODELO MUROS PORTANTES		
TABLE: Material List by Object Type			TABLE: Material List by Object Type			TABLE: Material List by Object Type		
Object Type	Material	Weight tonf	Object Type	Material	Weight tonf	Object Type	Material	Weight tonf
Column	A36	38.14	Column	H280kg/cm2	232.97	Beam	A36	37.05
Beam	A36	51.62	Beam	H280kg/cm2	350.68	Wall	fc 280	556.12
Floor	H240 kg/cm2	236.76	Floor - Drop	H240kg/cm2	135.63	Floor	fc 210	236.76
Metal Deck	N.A.	9.81	Floor	H240 kg/cm2	441.94	Metal Deck	N.A.	9.81

## Ventajas

**Figura 19:** Ventajas de los Modelos

Modelo en Acero	Modelo en Hormigón	Modelo de Muros Portantes
Comodidad constructiva	Disponibilidad de material	Capacidad resistente a Flexión, corte y tracción
Tiempo de acabado de obra	Ductilidad	Mejor comportamiento sísmico
Fácil armado de perfilería	Durabilidad	Poco mantenimiento
Resistencia	Resistencia al fuego	Resistencia
Reutilización	Rigidez	Ductilidad
Peso	Poco mantenimiento	Resistencia al Fuego
		Adaptabilidad arquitectónica

## Desventajas

**Figura 20:** Desventajas de los Modelos

Modelo en Acero	Modelo en Hormigón	Modelo de Muros Portantes
Corrosión	Peso de la estructura	Peso de la estructura

Fuego	Aumento de cargas gravitatorias	Aumento de cargas gravitatorias
Economía	Excesivo volumen de material	Excesivo volumen de material
Mano de obra	Menor resistencia en arquitectura moderna	Costo económico
Alto mantenimiento		No es posible implementar vigas de hormigón
		Aumento de volumetría de requerir cabezales o elementos de borde
		Sección única desde la base al piso final

### Recomendaciones

En resumen, se establece que, de acuerdo al análisis estructural para los 3 modelos con diferente materialidad y composición, pero de igual geometría tienen un comportamiento muy independiente uno del otro, en el cual, cada uno deja un precedente en cuanto a volumetría, peso, desplazamiento, derivas, participación de masa modal.

Esto es muy claro cuando se observa su disposición de elementos estructurales en cada modelo como se muestra a continuación:

**Figura 21:** Secciones de los Modelos

	MODELO ESTRUCTURAL - ACERO	MODELO ESTRUCTURAL - HORMIGÓN	MODELO ESTRUCTURAL - MUROS PORTANTES
<b>Material</b>	Acero ASTM A-36	Hormigón f'c= 240 kg/cm <sup>2</sup>	Hormigón f'c= 280 kg/cm <sup>3</sup>
	Hormigón f'c= 240 kg/cm <sup>3</sup>	Hormigón f'c= 280 kg/cm <sup>3</sup>	Acero ASTM A-36
<b>Secciones</b>	Columnas	2C 350x350x8mm	Columnas
			50x50 cm
			Pisos 1-4
			40x40 cm
			Pisos 5-7
			Muros
			25 cm
	Vigas	2G 300x100x30x4mm	Vigas
		2G 200x50x15x3mm	
			50x35 cm
			40x30 cm
			Vigas
			2G 300x100x30x4 mm
			2G 200x50x15x3 mm
	Losa	Novalosa 5cm	Losa
			Macizado
			Alivianada tipo Waffle (Etabs)
			Losa tipo Drop 30cm (Etabs)
			Losa
			Novalosa 0.65mm e=5cm

Analizado los 3 modelos estructurales más el giro económico que entorna a Ecuador, la calidad de los materiales y la geología del país se recomienda:

- ESTRUCTURA EN ACERO

- Configuración estructural con arriostramientos tipo V o X según arquitectura,
- Columnas compuestas (rellenas con hormigón),
- Secciones variables en columnas,
- Considerar conexiones a cortante y
- Diseño con sistemas IMF o SMF por la geología ecuatoriana.
- ESTRUCTURA EN HORMIGÓN
  - Análisis estructural con inercias agrietadas,
  - Modelo con interacción Suelo – Estructura,
  - Verificación de elementos a flexo compresión y
  - Considerar el criterio CF-VD (Columna fuerte – Viga débil).
- ESTRUCTURA CON MUROS PORTANTES
  - Diseñar elementos de borde (cabezales de muros),
  - Considerar inercias agrietadas para muros,
  - Modelo con interacción suelo estructura,
  - Considerar conexiones a cortante en vigas de losas y
  - Análisis a corte unidireccional o bidireccional de cimentación.

## Conclusiones

Es necesario correlacionar parámetros como tipo de cimentación escogida con el tipo de suelo antes de comparar costos sin embargo en suelos estables se puede conseguir modelos económicos y livianos formados por marcos resistentes con muros diafragmas en sus esquinas.

Es necesario considerar que en el Ecuador se han producido sismos de magnitud considerable que han dejado huellas y marcas mortales debido a colapsos de edificaciones de acero y hormigón, es por eso que en esta investigación se ha propuesto analizar cada sistema sus ventajas y desventajas, dentro del país considerando suelos tipo D y E en el que las fuerzas sísmicas llegan con mayor intensidad a través de las ondas expansivas que permite el suelo.

En síntesis, el modelo estructural en acero resulta más liviano, de rápido montaje y de mayor accesibilidad económicamente, si no se consideran las recomendaciones descritas en el numeral anterior.

El modelo en hormigón reduce considerablemente los desplazamientos y el periodo de vibración pues como es lógico su propio peso y sus conexiones rígidas hacen trabajar la estructura de una manera más uniforme tomando mayor masa de la edificación.

Por otro lado, la volumetría del material la vuelve más pesada y el suelo de baja capacidad se vería sobre esforzado por lo que se deberá prever un mejoramiento de la subrasante previa construcción de la cimentación, o modificar el tipo de cimentación a utilizar como zapatas corridas.

La cimentación es otro parámetro a considerar se debe incluir un análisis de asentamientos diferenciales, capacidades portantes y punzonamiento en zapatas, para evitar incumplir la normativa en estos aspectos se debe implementar a los diseños vigas corridas o losas de cimentación el modelo de muros portantes exige cimentaciones corridas o continuas y en comparación al modelo de hormigón su peso es más ligero, pero más pesado que el modelo de acero.

Es evidente que el peso con muros portantes es menor al modelo de hormigón, pero no al de acero, pues para este sistema se incorporaron vigas metálicas con conexiones a cortante para asentar la losa de piso, lo que explica su participación de masa.

## Referencias

1. Aguiar, R. (2015). *Análisis Sísmico por desempeño*. Quito.
2. American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for Structural Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
3. Marcelo Guerra Avendaño, M. (2020). *Diseño sismoresistente de edificios de hormigón armado*. Quito: Proyectos estructurales.
4. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
5. ADDIN Mendeley Bibliography CSL\_BIBLIOGRAPHY Acebo Castro, C. A. (2016). *Análisis de muros portantes de hormigón armado según la norma Ecuatoriana de construcción (NEC), como un sistema de estructura alternativo de implementación de en proyectos de viviendas masivas*.
6. Amaguaña, M. (2015). *Análisis Comparativo de los sistemas estructurales: Aporticado y*

- Muros portantes, edificio de 10 pisos en Quito. *Universidad Central Del Ecuador*.
7. Bolaños Luna, H., & Moreno Alván, M. A. (2007). *Ensayo de carga lateral cíclica en muros portantes placa P-14*.
  8. Huaman Aguilera, W., & Pintado Vilchez, E. S. (2019). *Diseño de una vivienda con muros portantes de botellas plásticas (PET) recicladas*.
  9. Pacco Chata, Y. G. (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico de unidades de albañilería de arcilla en muros portantes utilizados en la ciudad de Juliaca, 2018*.
  10. Pazmiño Lescano, T. V. (2018). *Estudio comparativo de la productividad de construcción de sistema de muros portantes de hormigón armado*. 103.
  11. Poveda, C. (2013). *Efectos de la relación largo/ancho del diafragma en la determinación de la demanda sísmica en edificaciones regulares de pórticos y muros portantes*.
  12. Quintuña Tuapante, C. A. (2015). *Determinación de la capacidad de muros portantes en bahareque y diseño estructural de la hacienda yakana*.
  13. Salas Navarro, A., & Hernández Hernández, A. (2021). *Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado*.
  14. Sánchez, W., & Gutiérrez, E. (2018). *Implementación De La Metodología De Evaluación Sísmica Propuesta En El Documento Asce/Sei 31-03Y Nsr 10 Para Edificaciones Tipo Urma (Muros Portantes De Mampostería No Reforzada Y Diafragmas Rígidos)*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13334/SanchezRoaWilsonEduardo2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  15. Valderrama Romero, G. (2016). *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático*.
  16. Valencia Ruiz, C. M., & Arteaga Rodríguez, J. P. (2021). *Influencia del porcentaje de escombros de muros portantes sobre la resistencia a la compresión, manejabilidad y absorción en morteros de enlucido y asentado*.
  17. Veloz Freire, J. A., & Saltos Pacheco, J. A. (2015). *“Análisis comparativo de sistemas constructivos: tradicional y sistema de muros portantes, para un proyecto de condominios de interés social en la ciudad de Durán*.
  18. Yactayo Mori, H. A. (2019). *Evaluación sismorresistente de muros portantes con variación de unidades de albañilería de arcilla cocida y concreto*. *Repositorio Institucional*

- UCV.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).