

Artículo original

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN OF A MULTI-FAMILY HOUSING BUILDING WITH DUCTILITY-LIMITED WALLS

ROSMERY THAIS ANCO MAMANI ¹

 <https://orcid.org/0000-0002-7835-041X>

ANIBAL RICHARD MAMANI ZAPANA ²

 <https://orcid.org/0000-0001-5413-9348>

DINA MARLENE COTRADO FLORES ³

 <https://orcid.org/0000-0002-4262-5733>

Información del artículo:

Recibido: 21/01/2021

Aceptado: 01/06/2021

Publicado: 28/06/2021

^{1,2} Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Privada de Tacna

³ Docente en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Privada de Tacna

E-mail: ¹ thaiss.cyc@gmail.com, ² anibalrichard25@gmail.com, ³ dcotrado@upt.edu.pe



Vol. 3, N° 1

Enero - junio del 2021

ISSN – Online: 2708-3039

DOI: <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.481>



Esta obra está bajo licencia internacional
Creative Commons Reconocimiento 4.0



Facultad de Ingeniería
Publicación Oficial

Resumen

El estudio tuvo por finalidad analizar y diseñar estructuralmente un Edificio de Vivienda Multifamiliar de 5 niveles con Muros de Ductilidad Limitada en la Ciudad de Tacna en base al Reglamento Nacional de Edificaciones. Metodología: Para lo fue necesario definir características del proyecto como ubicación, definición del modelo arquitectónico y obtención del estudio de mecánica de suelos para la obtención de la capacidad portante. Posteriormente se realizó el predimensionamiento, metrado de cargas, análisis y modelación estructural del proyecto mediante el uso del software ETABS para realizar el diseño de los elementos, se empleó las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones para finalmente efectuar el análisis y discusión de resultados del proyecto.

Resultados: Se realizó el análisis estático y dinámico obteniendo la distorsión de entrepiso en la dirección X de 0.0012 y en la dirección Y de 0.0005, los cuales no sobrepasan la distorsión máxima permisible de 0.005 que establece la norma E.030. Para el diseño estructural se consideró muros de ductilidad limitada de 15 cm de espesor, losas macizas en dos direcciones con una altura de 10 cm en toda su extensión, exceptuando las áreas de los baños donde se utilizó 20 cm para facilitar las instalaciones sanitarias. Para la cimentación de la edificación se consideró una platea de cimentación de 30 cm de espesor y vigas de bordes e interiores de 30 x 80 cm.

Conclusión: Finalmente se concluye que los sistemas de Muros de Ductilidad Limitada presentan un adecuado comportamiento estructural ante la amenaza sísmica, ya que cumplen con los requisitos del Diseño Sismo resistente y del Diseño Estructural que plantea el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

Palabras Claves: Análisis estático y dinámico, distorsión máxima, Muros de Ductilidad Limitada.

Abstract

Objective: analyze and structurally design a Multifamily Housing Building of 5 levels with Walls of Limited Ductility in the City of Tacna based on the National Building Regulations. Methodology: was necessary to define characteristics of the project such as location, definition of the architectural model and obtaining the study of soil mechanics to obtain the supporting capacity. Subsequently, the pre-dimensioning, load-taking, analysis and structural modelling of the project was carried out through the use of ETABS software to design the elements, the Rules of the National Building Regulations were used to finally carry out the analysis and discussion of project results.

Results: Static and dynamic analysis was performed obtaining mezzanine distortion in the X direction of 0.0012 and in the Y direction of 0.0005, which do not exceed the maximum permissible distortion of 0.005 set by E.030.

For the structural design, walls of limited ductility of 15 cm thick were considered, solid slings in two directions with a height of 10 cm in all its extension, except for the areas of the bathrooms where 20 cm was used to facilitate sanitary facilities. For the foundation of the building was considered a foundation plate of 30 cm thick and beams of edges and interiors of 30 x 80 cm.

Conclusion: Finally, it is concluded that the systems of Walls of Limited Ductility exhibit adequate structural behavior in the face of the seismic threat, since they meet the requirements of the Resistant Sismo Design and Structural Design posed by the National Building Regulations of Peru.

Keywords: Static and dynamic analysis, maximum distortion, Limited Ductility Walls.

1. Introducción

La ciudad de Tacna presenta un crecimiento importante en su sociedad en los aspectos socioeconómico y comerciales, evidenciándose en la construcción de edificaciones de 4 niveles en promedio, los que tienen múltiples usos, estos edificios son principalmente de sistemas estructurales duales, por ello se propone la construcción de edificios con muros de ductilidad limitada ya que podría permitir una adecuada respuesta estructural para el uso de la edificación.

Las edificaciones con muros de ductilidad limitada son estructuras donde la respuesta sísmica es absorbida por muros de concreto de espesores reducidos, por otro lado, presentan un diseño efectivo que junto a los procesos constructivos adecuados permiten reducir los tiempos y costos de la construcción.

Este estudio tuvo como propósito determinar los criterios estructurales para diseñar un edificio considerando como sistema estructural los muros de ductilidad limitada, realizar el análisis sísmico y el diseño estructural de manera didáctica, para que nuevos investigadores sigan indagando sobre este tipo de sistema; la ciudad de Tacna está ubicada en el extremo Sur del Perú, según el mapa de vulnerabilidad pertenece a una zona altamente sísmica, debido a ello se han generado importantes eventos sísmicos a lo largo de los últimos años como el terremoto del 23 de junio del 2001 con una intensidad máxima de 8° en la escala de Mercalli, con varias réplicas en los departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Con lo cual muchas edificaciones han sufrido daños producto de los sismos, los cuales siguen siendo difíciles de predecir, todo esto conlleva a realizar mejoras en los diseños sísmicos con el propósito de reducir las consecuencias por riesgo sísmico. Debido a que estamos en una zona altamente sísmica se necesita investigar sobre ciertas edificaciones que puedan resistir a los sismos, se busca como alternativa de solución uno de los sistemas que mejor comportamiento tenga frente a los sismos, por tanto, es responsabilidad del profesional que elabora el estudio, realizar el análisis y diseño para proyectar estructuras capaces de soportar las fuerzas originadas por los sismos.

Almeida, (2015), al analizar el comportamiento sísmico de muros delgados de hormigón armado con malla de refuerzo central única y evaluar el tipo de acero y la cuantía de refuerzo en el comportamiento sísmico de los muros. Las primeras fisuras observadas en los especímenes fueron grietas diagonales en su mayoría, los ensayos terminaron cuando los muros no eran capaces de soportar más la carga lateral aplicada, teniendo como resultados que el comportamiento de los muros con malla electrosoldadas fue frágil debido a que la capacidad de elongación de la malla es limitada. Todos los muros fallaron por corte, que es la falla que se espera en este tipo de muros.

Egoabil, (2019), determinar los criterios estructurales para diseñar un edificio considerando los muros de ductilidad limitada como sistema estructural y realizar el análisis sísmico y el diseño estructural, realiza el análisis estático y dinámico, cumpliendo con la distorsión máxima de entrepiso, 0.005 en ambos casos y en las dos direcciones (X y Y)".

(Vargas & Terrazos, 2016), para desarrollar el análisis sísmico con la norma sismorresistente E.030. Primero se desarrolla el análisis estático y luego el análisis dinámico. Se comprueba que los valores de las derivas en la dirección X y en la dirección Y son menores que el valor máximo especificado en la norma. También está enfocado en el diseño de los elementos estructurales, se efectúa el diseño por flexión, cortante y flexo compresión para muros, losas, escaleras y la platea de cimentación.

Como lo menciona (Blanco, 2011), "A partir del año 2001 se impulsó nuevamente la construcción de edificaciones con muros de concreto armado debido que este sistema ayuda en el tiempo de ejecución de obra y al tener muros de espesores más delgados de 10, 12 y 15cm se incrementa los espacios útiles en las viviendas, ideología base en viviendas multifamiliares con áreas reducidas".

Por lo expuesto, bajo este contexto se hace evidente la necesidad de analizar el comportamiento estructural de una edificación de vivienda multifamiliar aplicando este tipo de sistema estructural con

Muros de Ductilidad Limitada, recomendando las adecuaciones del proceso constructivo a la realidad regional de Tacna bajo cumplimiento del reglamento nacional de edificaciones y normas vigentes de la construcción.

Desde el punto de vista científico, permite brindar una mejor metodología de desarrollo para el análisis y diseño de edificaciones mediante el sistema de ductilidad limitada en la ciudad de Tacna aplicando el Reglamento Nacional de Edificaciones según las normas de diseño sismoresistente E.030, de Concreto Armado E.060 y de Suelos y cimentaciones E.050.

Desde el punto de vista social, con aportes y criterios para el diseño de un edificio multifamiliar con muros de ductilidad de modo que pueda ayudar a profesionales y estudiantes a tomar mejores decisiones durante el desarrollo de la misma.

2. Objetivo

Analizar y Diseñar Estructuralmente un Edificio de Vivienda Multifamiliar de 5 niveles con Muros de Ductilidad Limitada en la Ciudad de Tacna en base al Reglamento Nacional de Edificaciones.

3. Metodología

Este estudio considera como dato lo indicado en el texto (Blanco, 2011) “Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado del Ingeniero, recomienda que la estructuración sea simple y viable de manera que el análisis sismo-resistente sea lo más cercano a la realidad”, por ello se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Simplicidad y Simetría.
- Resistencia y Ductilidad.
- Hiperestaticidad y Monolitismo.
- Uniformidad y Continuidad de la Estructura.
- Rigidez lateral.
- Existencia de las losas que permitan considerar a la estructura como una unidad.
- Influencia de los Elementos no Estructurales.

El tipo de investigación por su finalidad es aplicativo, del nivel integrativo, porque está orientada a realizar el análisis y diseño estructural de un edificio de vivienda multifamiliar con muros de ductilidad limitada en la ciudad de Tacna en base al Reglamento Nacional de Edificaciones. El diseño de investigación causal evaluativo, que tiene el propósito de realizar el Análisis y Diseño Estructuralmente un Edificio de Vivienda Multifamiliar con Muros de Ductilidad Limitada en la Ciudad de Tacna en base al Reglamento Nacional de Edificaciones. La muestra fue 01 Edificio de 5 niveles con Muros de Ductilidad Limitada en el distrito de Gregorio Albarracín. Para el Análisis y Diseño Estructural de un Edificio de Vivienda Multifamiliar de 5 niveles con Muros de Ductilidad Limitada en la Ciudad de Tacna se tienen variables dependientes e independientes que se determina de los parámetros de diseño.

Variable: X = Análisis y Diseño estructural. Indicadores: Periodos y modos de vibración (Desplazamientos y distorsiones de entrepiso y cuantías de acero)

Variable: Y = Vivienda Multifamiliar con muros de ductilidad Limitada. Indicadores: según el análisis y el comportamiento de cada elemento estructural. (Sistema estructural, Ubicación geográfica, Capacidad portante y Propiedades mecánicas de los materiales)

Las técnicas empleadas en el presente trabajo son: La técnica documental, ya que se ha recolectado información a través de fuentes documentales que se relacionan con la problemática

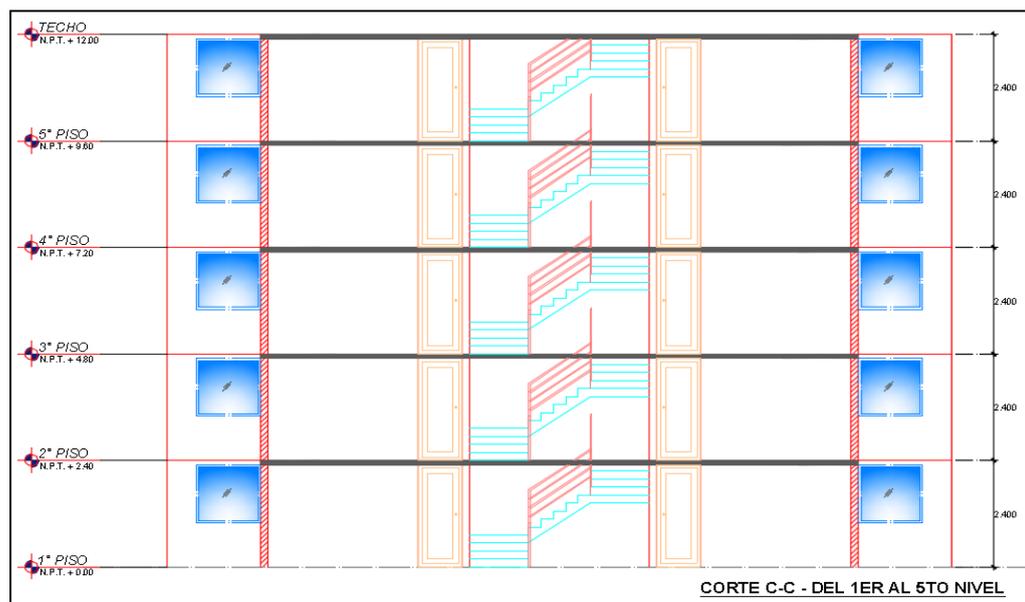
estudiada. Y la técnica de procesamiento de datos, lo que nos ha servido para el análisis y diseño del muro. Los instrumentos empleados fueron fichas de recolección de datos y entrevistas con especialistas en el diseño estructural.

4. Resultados

La estructura del proyecto trata de un edificio de vivienda multifamiliar de 05 niveles sobre un terreno total de 236.73 m², se ubica en el Distrito de Gregorio Albarracín, cuenta con un área techada de 219.02 m² por piso, la altura de entrepiso es de 2.40 m y una altura total de 12.00 m.

El edificio cuenta con dos entradas que permite el acceso a los departamentos, en el 1er piso se encuentra la escalera, así como el elevador para transportar personas u objetos del 2do al 5to nivel de la edificación. La planta del edificio es típica y tiene 4 departamentos por nivel las cuales están distribuidas de la siguiente manera: 01 sala-comedor, 01 cocina, 01 hall, 02 dormitorios y 01 baño. Cada departamento tiene un área aproximada de 46 m².

Figura 1
Corte C-C del 1er al 5to nivel



Muros de Ductilidad Limitada: La vivienda multifamiliar esta íntegramente estructurado por muros delgados de concreto armado, los que están modelados para resistir combinaciones de fuerza cortante, fuerza axial y momentos provocados por oscilaciones sísmicas; empleamos muros delgados de concreto que tienen un grado de asimilación con la albañilería armada y no demuestran desplazamientos inelásticos sustanciales debido al poco espacio en las paredes sin contar que no posee confinamiento en las esquinas. La edificación está compuesta por muros de 15cm. Según en el RNE Norma E.030 Diseño Sismo resistente, Artículo 21.9.3.2 y Artículo 3.2.1. Para nuestro diseño se tomó 15 cm de espesor del muro. En concordancia con el Capítulo 14 ítem 14.5 de RNE Norma E.060 Concreto Armado.

Análisis sísmico: El análisis sísmico busca hallar las fuerzas y desplazamientos que se producen en cada uno de los elementos estructurales del edificio, para realizar el diseño respectivo.

Modelo Estructural: Para el análisis del edificio se realizó un modelo tridimensional mediante el uso

del software ETABS (Figura 2). Los muros fueron modelados como elementos bidimensionales de 15 cm de espesor. Para cada piso de la estructura se estableció un diafragma rígido con tresgrados de libertad por piso y todos los elementos verticales fueron empotrados en la base. Las cargas debidas al peso de las losas fueron establecidas a elementosárea (membrana), ya que su función principal es la transferencia de las cargas gravitacionales a los muros.

Factor de amplificación sísmica: factor C

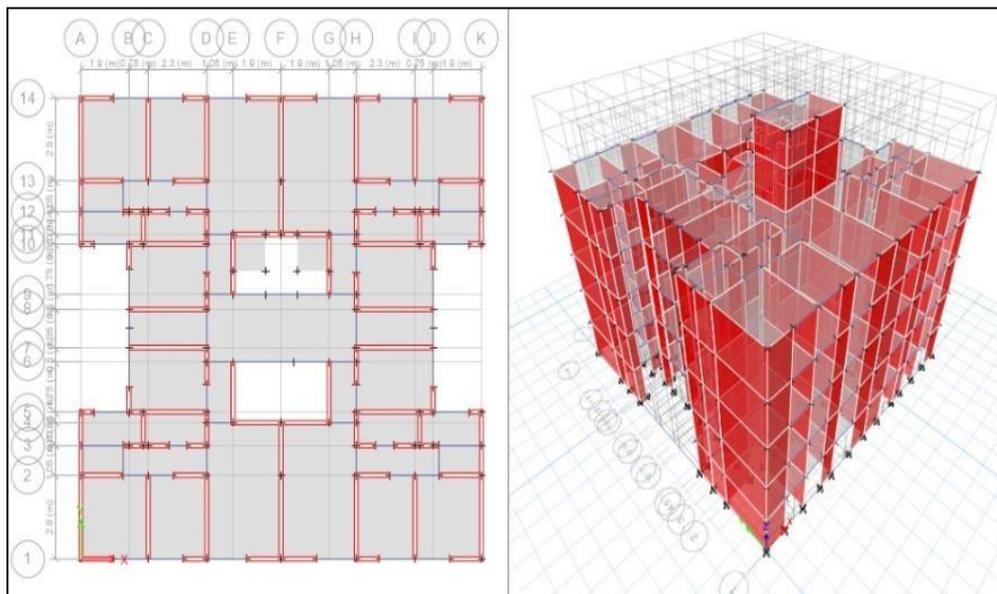
(Norma E.030, 2018), “Este coeficiente es interpretado como el factor de amplificación de la respuesta de la estructura con respecto a la aceleración del suelo”. Requisitos generales:

Categoría de las Edificaciones: Según el Artículo 15 de la Norma E030 la categoría del edificio se clasifica como categoría “C” – Edificaciones Comunes y le corresponde un factor de uso de $U = 1$

Sistema Estructural: La norma actual plantea un análisis más íntegro para determinar el factor de reducción (R). Fuerza cortante en la base.

Figura 2

Vista en Planta y 3D del modelo estructural en Etabs



Análisis dinámico

Según la (Norma E.030, 2018), indica que “existen dos formas de realizarel análisis dinámico, el primero es de una superposición espectral y el segundo es un análisis tiempo – historia”.

Análisis de modos de vibración

La vivienda multifamiliar contempla diafragmas rígidos en todos los niveles, 03 modos de vibración por nivel (02 de desplazamiento y 01 de giro). Teniendo un total de 15 modos de vibración por los 05 niveles.

Tabla 1*Periodos y porcentaje de masas participativas en cada dirección*

Modo	Periodo (s)	%Masa Participativa	
		X-X	Y-Y
1	0,160	69,00	0,00
2	0,126	0,00	0,00
3	0,111	0,00	71,00
4	0,057	2,00	0,00
5	0,044	0,00	3,00
6	0,044	0,00	0,00
7	0,037	0,00	0,00
8	0,035	19,00	0,00
9	0,030	0,00	0,00
10	0,028	0,00	8,00
11	0,025	0,00	10,00
12	0,021	1,00	0,00
13	0,016	5,00	0,00
14	0,014	0,00	0,00
15	0,013	0,00	5,00

Según la (Norma E.030, 2018), en el numeral 29.1.2. Indica que: “en cada dirección se considere aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, además debe tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección del análisis”.

En tabla 2 expresan los modos de vibración para cada dirección.

Tabla 2*Modo de vibración predominante en la dirección*

Modo	Periodo(s)	%Masa Participativa X-X
1	0,160	69,00
8	0,035	19,00
13	0,016	5,00
Total		93,00
Modo	Periodo(s)	%Masa Participativa Y-Y
3	0,111	70,00
10	0,028	8,00
11	0,025	10,00
15	0,013	5,00
TOTAL		94,00

Figura 3

Espectro de Respuesta de Pseudo aceleración dirección X-X

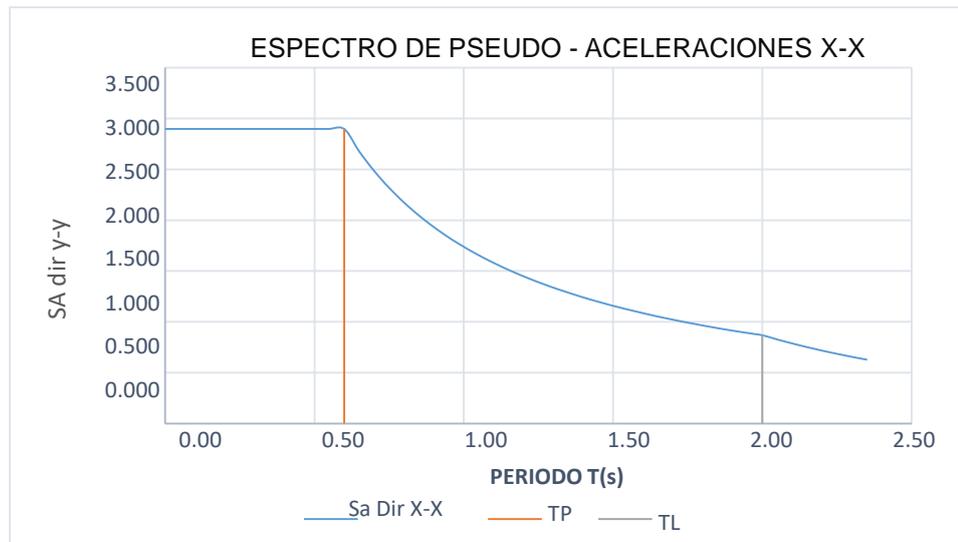
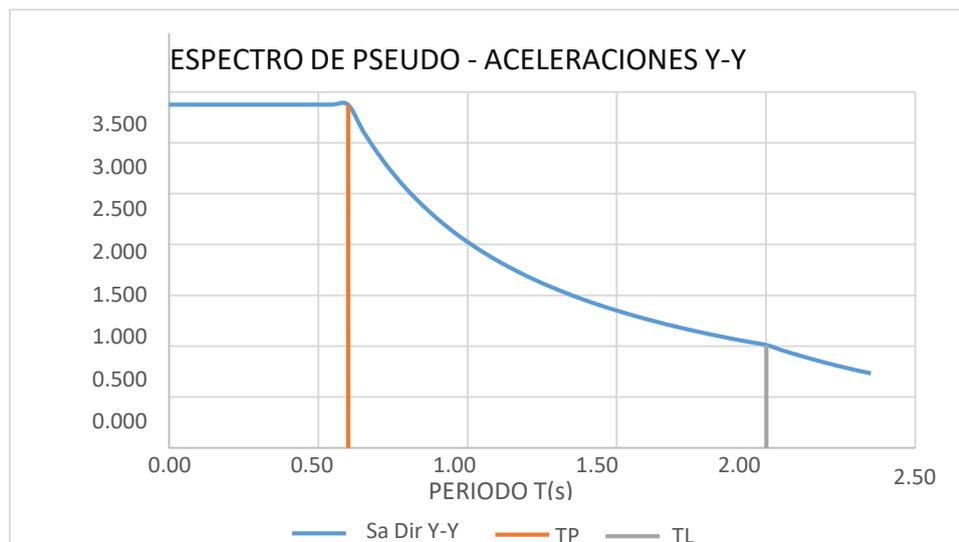


Figura 4

Espectro de Respuesta de Pseudo aceleración dirección Y-Y



Criterios de combinación: Se Utilizó combinación cuadrática completa (CQC).

Desplazamientos de edificación: De acuerdo al análisis, se obtuvieron los desplazamientos laterales lineales y con ellos se halló los desplazamientos relativos elásticos, y al multiplicarlos por 0.85R se obtuvo los desplazamientos relativos inelásticos.

La (Norma E.030, 2018), indica que: “la relación entre el desplazamiento relativo inelástico y la altura de entrepiso (Deriva) no deben ser mayor a 0.005, para muros de ductilidad limitada”.

En las figuras 5 y 6, se muestran las operaciones para comprobar los desplazamientos para las direcciones X e Y.

Figura 5
Derivas Inelásticas en la dirección X

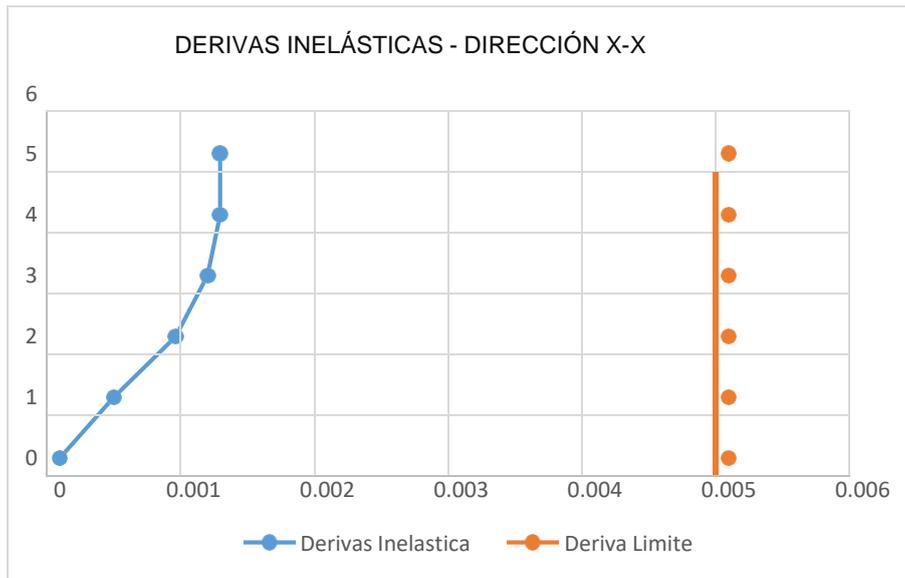
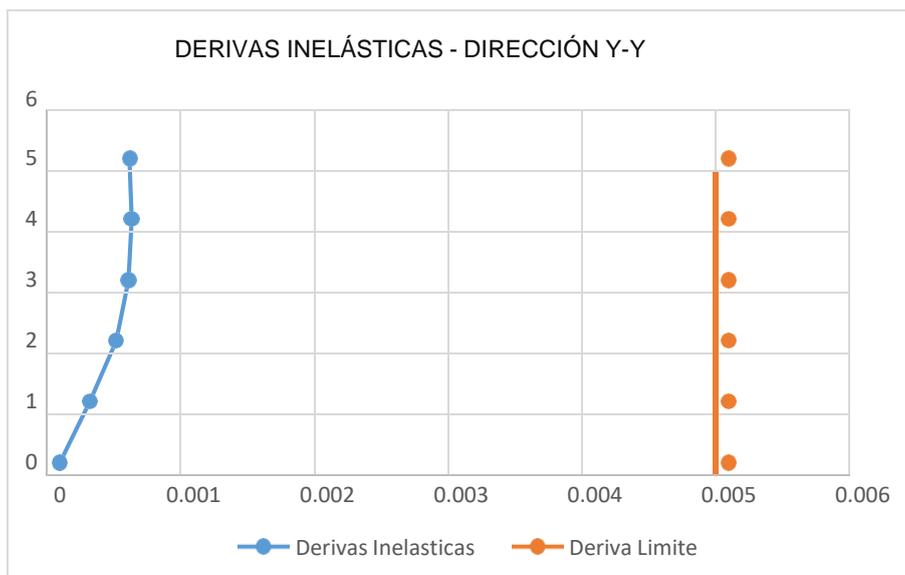


Figura 6
Derivas Inelásticas en la dirección Y



Cortante de diseño

La (Norma E.030, 2018) indica que, “para cada sentido del análisis, la fuerza cortante en la base es mayor al 80% en edificaciones regulares y mayor a90% en edificación irregularidades”.

También indica que, si es preciso incrementar la cortante para cumplir requerimientos mínimos, se debe de escalar equitativamente todos los otros resultados obtenidos, a excepción de los desplazamientos.

Diseño en Concreto Armado

Cargas de diseño: Se indican dos tipos de cargas de gravedad: carga muerta (CM) y carga viva (CV). Para la carga muerta se consideran las cargas permanentes como el peso propio y alguna máquina inmóvil. Sin embargo, en la carga viva se consideran el peso de los habitantes, equipos móviles,

mobiliarios o pesos transitorios. Igualmente, se toma en cuenta la carga de sismo (S).

Método de diseño: Las edificaciones se ejecutan con el diseño de ruptura o también resistencia. De acuerdo a este diseño se proporciona al muro una resistencia menor igual a la requerida, esta resistencia lo obtenemos realizando una multiplicación de las cargas actuantes por factores de amplificación.

Combinación de carga y factores de amplificación: En el capítulo 9 de la (Norma E.060, 2009), Requisitos de Resistencia y de Servicio, indican que: “las combinaciones de cargas para la obtención de la carga última y de la resistencia requerida, dichas combinaciones contienen, entre otras, a la carga muerta (CM), carga viva (CV) y carga de sismo (S)”.

Factores de reducción de resistencia: La tabla 3 muestra los factores de reducción de resistencia según el artículo 9.3 de la (Norma E.060, 2009).

Tabla 3

Factores de reducción de resistencia

	ϕ
Flexión sin carga axial	0,90
Flexión con carga axial	0,90
Cortante	0,85
Carga axial	0,70

Fuente: Norma E.060

Diseño de Muros de ductilidad

Tener en cuenta las instrucciones de diseño de muros establecidos por la norma E.060. Si el espesor de los muros es de 10cm, no deben confinarse, sin embargo, si los muros son de un espesor de 15cm si deben de confinarse.

Para acero vertical, consideramos usar acero de 3/8 de pulgada y 5/8 de pulgada de diámetro. El acero se distribuye en dos filas en muros de 15 cm, y se utilizan estribos de 3/8 de pulgada para confinar el final de los muros.

En este tipo de diseño, el objetivo es hacer que el muro falle a flexión en lugar de corte, a fin de garantizar que se proporcione la sobre resistencia requerida para que ello se produzca.

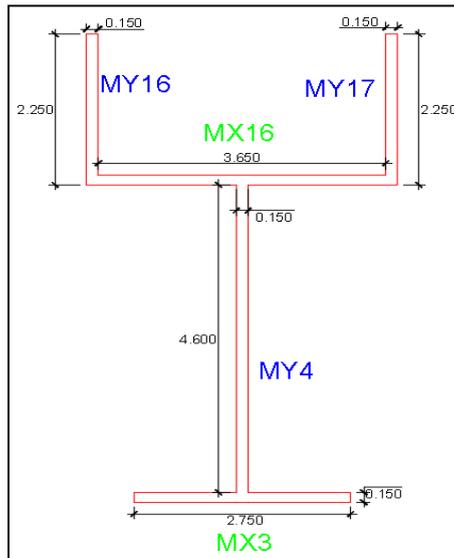
Diseño por flexocompresión

El muro está sometido a fuerzas axiales y momentos flectores porque debe analizarse por flexocompresión. Esto implica agregar un gráfico de interacción y viene dado por una combinación de normales y el momento de la parte utilizada.

A partir del análisis de flexocompresión, tenemos el modelo de estructura y fuerzas combinadas.

A continuación, se detallan los pasos realizados para el diseño.

Figura 7
Geometría del Muro Md



Se observa las fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores para los casos de carga muerta, viva, Sismo en la dirección X y en la dirección Y.

Tabla 4
Cargas en la base del Muro Md

Carga	P (Tnf)	Vx (Tnf)	Vy (Tnf)	Mx (Tnf-m)	My (Tnf-m)
Muerte (CM)	120,15	-1,87	0,14	-0,48	0,22
Vive (CV)	23,16	-0,55	0,06	-1,93	0,14
Sismo X (Sx)	0,01	46,70	0,09	528,06	1,00
Sismo Y (Sy)	1,05	0,20	36,85	2,13	409,42

Tabla 5
Fuerzas Últimas del muro Md

Combinaciones	Pu (Tn)	(Tn)	(Tn)
1.4CM+1.7CV	207,58	-3,54	0,30
Vu X-X	SISMO EN X		
1.25(CM+CV)+Sx	180,22	43,68	0,34
1.25(CM+CV)-Sx	178,04	-49,72	0,16
0.9CM+Sx	109,22	45,02	0,21
0.9CM-Sx	107,04	-48,38	0,04
Vu Y-Y	SISMO EN Y		
1.25(CM+CV)+Sy	179,14	-2,82	37,10
1.25(CM+CV)-Sy	179,13	-3,22	-36,60
0.9CM+Sy	108,13	-1,48	36,98
0.9CM-Sy	108,12	-1,88	-36,73

Con la herramienta Section Designer del programa ETABS, se realizó el diseño del muro Md toando en cuenta los valores de la cuantía mínima de acero vertical. La figura 8 Muestra la distribución del acero considerado. Los puntos se localizan dentro de la curva de interacción el cual nos indica que la distribución del acero es el adecuado, entonces podemos decir que el muro de ductilidad limitada logrará resistir las cargas y momentos que actúan en la estructura.

Diseño por Cortante:

Figura 9

Diagrama de Interacción X-X para determinar el Mu.

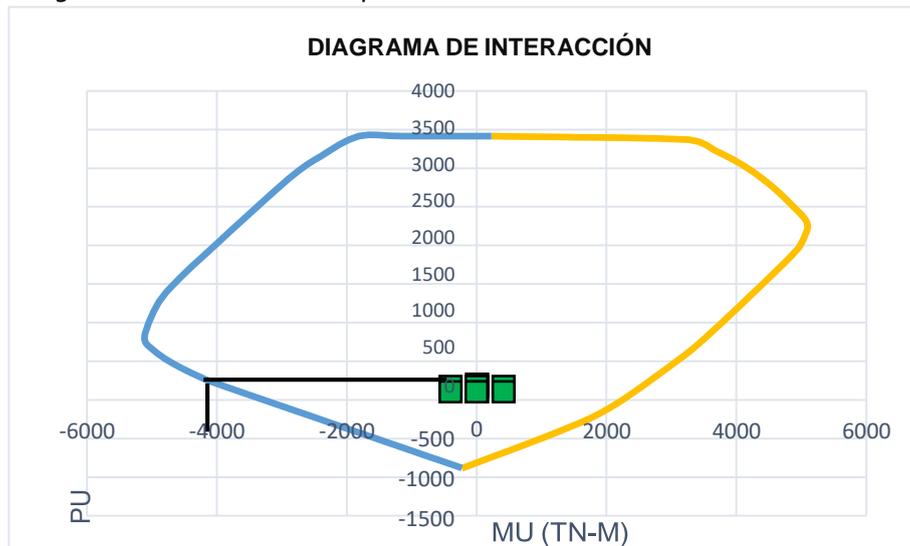
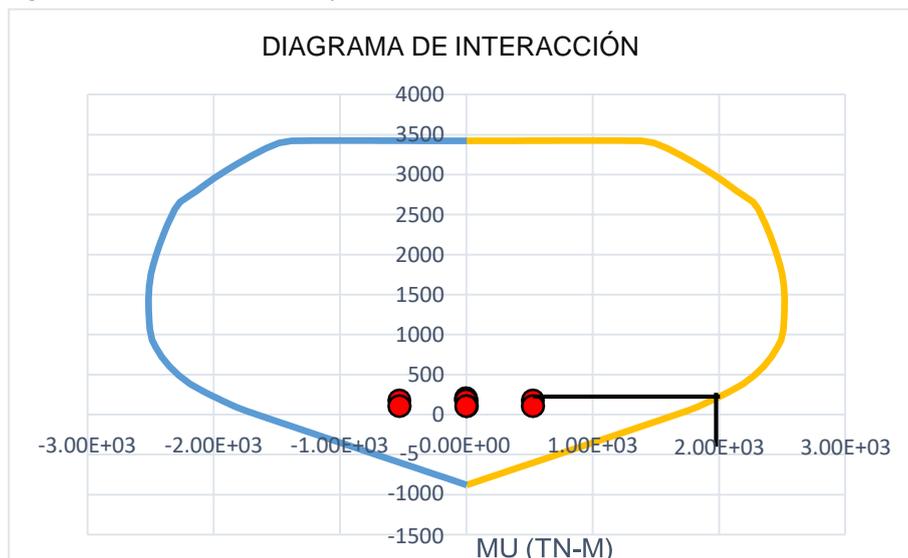


Figura 10

Diagrama de Interacción Y-Y para determinar el Mu.



Diseño de Losa Maciza

Diseño por flexión: Siempre deben implementarse las condiciones de equilibrio de fuerza, compatibilidad de desplazamiento y relaciones constitutivas.

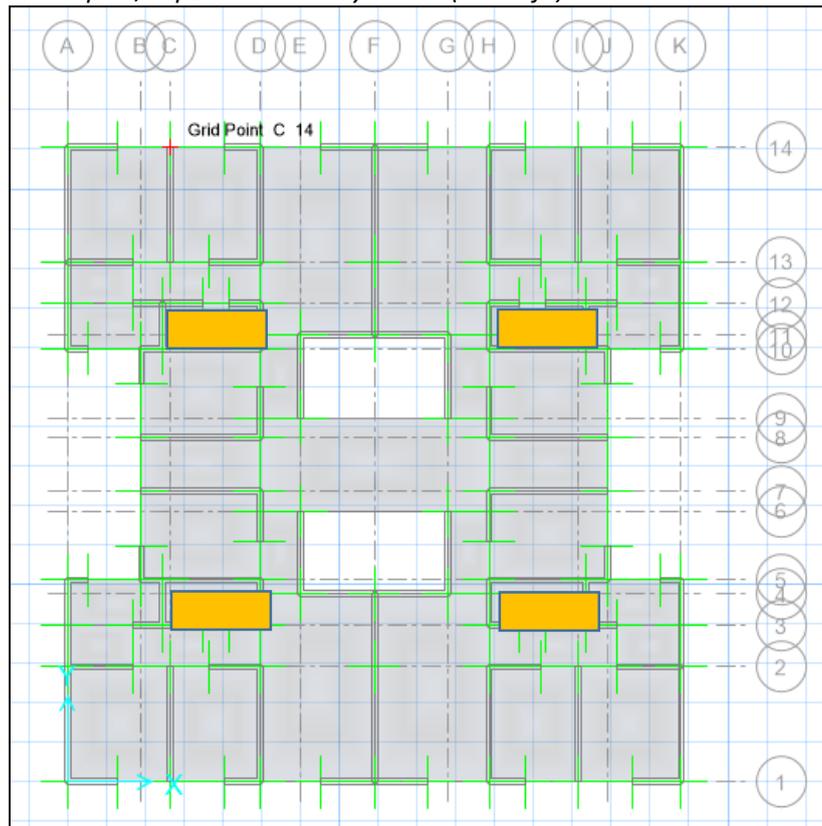
Acero mínimo, cuantía balanceada y acero máximo: La cuantía de acero calculada con las fórmulas anteriores debe cumplir con los requisitos determinados en la norma E.060. Con la menor cantidad de acero, es necesario asegurarse de que la sección de fisura pueda resistir al menos 1,2 veces el momento de agrietamiento (M_{cr}).

Ejemplo de diseño de losa maciza: El diseño de losas del edificio se realizó con la ayuda del programa SAFE. Los cálculos se efectuaron empleando un modelo de elementos finitos.

Para la losa típica se consideraron espesores de 10 cm y en el área del baño de 20 cm, en el techo se consideró el espesor de toda la losa de 10 cm debido a que no hay instalaciones sanitarias.

Figura 11

Losa Típica, Espesores 10 cm y 20 cm (Naranja)



Diseño por flexión y cortante

- Las losas se diseñaron por metro lineal; es decir, considerando una franja de 100 cm.
- El acero de refuerzo se distribuyó en una sola capa para las losas de 10 cm y en dos capas para las de 20 cm.
- El peralte efectivo en losas de 10 cm se consideró de 5 cm; en losas de 20 cm, la altura disminuida en 3 cm.
- Convenientemente se colocó el acero mínimo como refuerzo base, y en las zonas donde se requería de una mayor cantidad de acero se colocaron bastones para satisfacer la demanda del refuerzo por flexión.

Diseño de Escalera

Diseño por flexión: Se usó el programa SAP2000 para obtener los valores de la fuerza cortante última (V_u) y momento cortante último (M_u).

Figura 12

Diagrama de fuerza cortante de la escalera - Piso típico

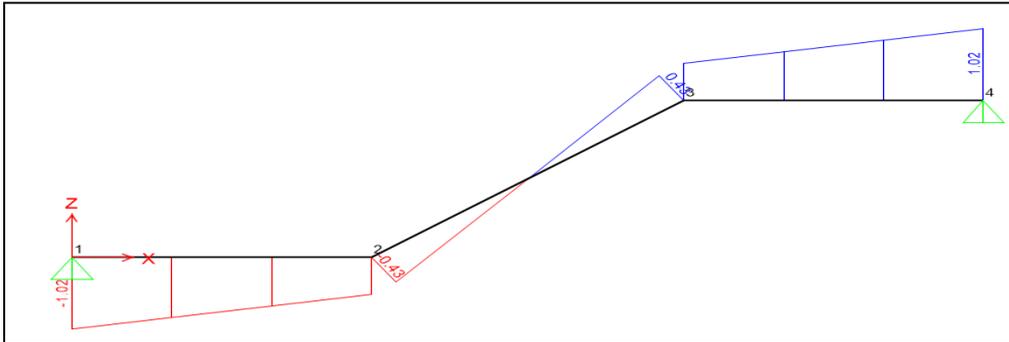
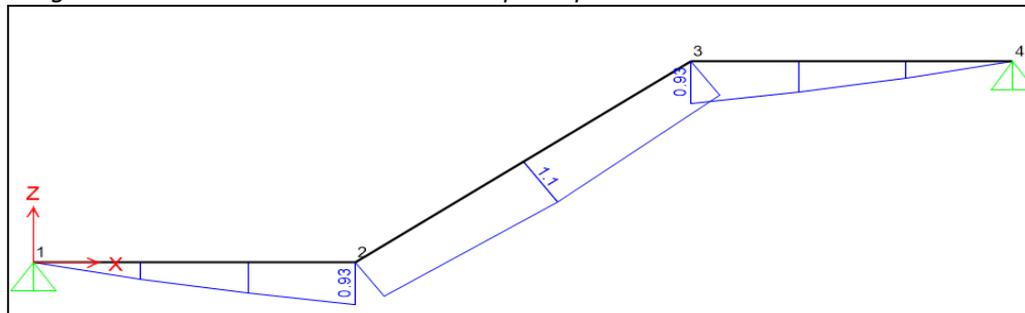


Figura 13

Diagrama de momento Flector - Escalera piso típico



Diseño de Platea de cimentación

Esta cimentación es la una de la más utilizadas para este tipo de sistema estructural, para su aplicación el terreno debe de estar nivelado, comúnmente es usada en terrenos no homogéneos donde usualmente se producen asentamiento del tipo diferencial, sin embargo, por su facilidad en la construcción y el tiempo de colocación en obra respecto a otros sistemas de cimentación, se toma en cuenta este tipo de cimentación.

Esfuerzos en el Suelo: Las presiones que se ejercen sobre la cimentación deben de ser de compresión, los valores máximos de dichas compresiones deberán ser menores a la carga admisible.

En la siguiente tabla se indica las combinaciones por gravedad y sismo según la Norma E.050.

Tabla 6

Valores Máximos de presión en el suelo por combinación de carga.

	Combinación	Valor máximo
Carga por Gravedad	CM+CV	Q=3,00 kg/cm ²
Carga de Sismo en X	CM+CV±0.8 S _x	1.2Q=3,6 kg/cm ²
Carga de Sismo en Y	CM+CV±0.8 S _y	1.2Q=3,6 kg/cm ²

Para el diseño se aconseja el uso del SAFE, La rigidez obedecerá a la capacidad portante del suelo y lo evaluamos empleando el cuadro de coeficiente de balasto. Se asigna un coeficiente de balasto de $K_s = 6 \text{ kg/cm}^3$ para $q = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ y 7.2 kg/cm^3 para capacidad portante de 3.6 kg/cm^2 .

Diseño por Flexión y Cortante: El diseño de desarrollo de forma parecida al diseño de losas

macizas, se diseñó la platea por metro Lineal, es decir, se consideró una franja de 100cm.

El Acero de refuerzo se distribuye en dos capas considerando un peralte efectivo de 33 cm cuyo recubrimiento es de 7cm, Con la siguiente expresión calculamos el acero mínimo:

Se buscó que se cumpla la relación $\phi V_n > V_u$, con el fin del cumplir los requerimientos de fuerza cortante.

Se colocaron estribos en la viga de cimentación de $\frac{1}{2}'' @ 20\text{cm}$

Figura 14
Momentos Flector en la dirección X-X platea de cimentación.

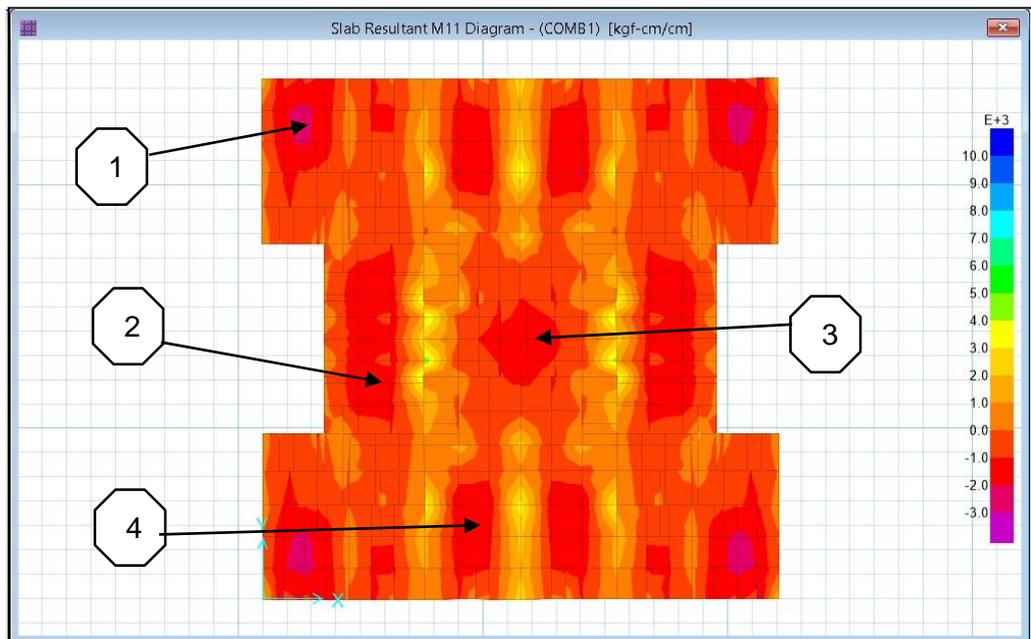


Figura 15
Momentos Flector en la dirección Y-Y platea de cimentación

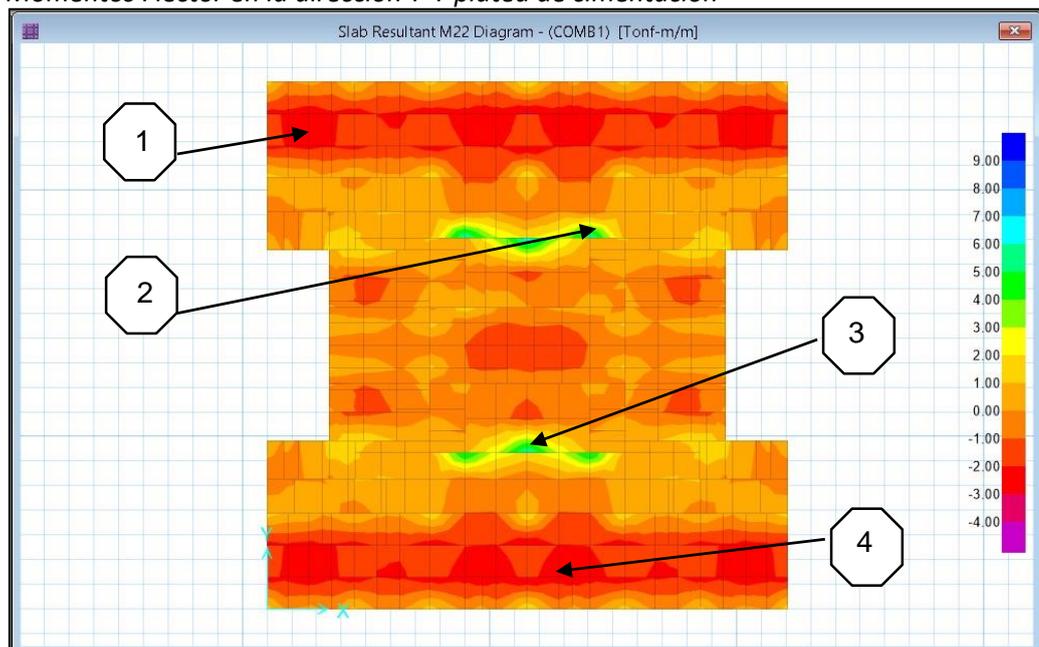
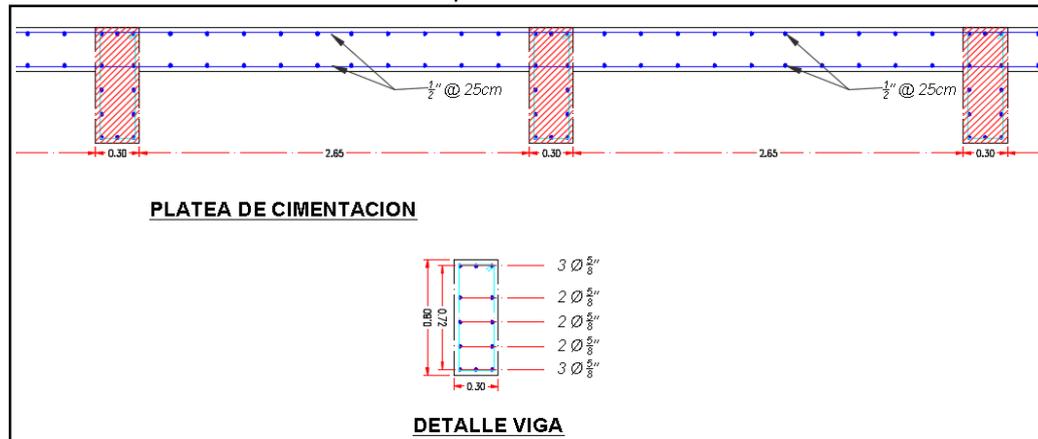


Figura 16

Detalle de distribución de acero en la platea de cimentación.



5. Discusión

A partir de los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis general que establece que el análisis y diseño estructural del edificio de 5 niveles con muros de ductilidad limitada en la Ciudad de Tacna cumple con los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene los siguientes autores, (Egoabil, 2019), (Coaquira, 2018) y (Vargas & Terrazos, 2016) que este sistema con Muros de Ductilidad Limitada presentan un adecuado comportamiento estructural ante amenazas sísmicas, ya que cumplen con los parámetros de Diseño Sismo resistente y del Diseño Estructural que plantea el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

Actualmente, la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, indica que el límite de la distorsión de un edificio de concreto armado con muros de ductilidad limitada es 0,005 y con este

sistema se puede construir como máximo 8 pisos. En base a los resultados del modelamiento de la edificación en el software Etabs obtuvimos distorsiones máximas de entrepiso en la dirección X de 0.0012 y en la dirección Y de 0.0005, de igual manera los autores (Egoabil, 2019), (Coaquira, 2018) y (Vargas & Terrazos, 2016) obtuvieron resultados similares a los nuestros. Estos valores se encuentran dentro del rango indicado por la Norma Técnica E.030.

Sin embargo, en la investigación realizada por (Cotrado, 2017) menciona que: "En base a los resultados de los ensayos cíclicos realizados en el CISMID, el Dr. Carlos Zavala (Jefe del laboratorio de estructuras del CISMID-UNI) sugiere que sólo se debe trabajar con una distorsión máxima de 4/1000 o 0.004, así mismo se debe limitar el número de pisos a 4".

Se tomaron en cuenta las consideraciones para el diseño de los elementos estructurales indicados en el capítulo 21 "Disposiciones especiales para el diseño sísmico" establecidos en la Norma E.060. El resultado del cálculo obtenido se consideró muros estructurales de espesor de 15cm siendo comprobado en la etapa de predimensionamiento y en la etapa de diseño.

Para el diseño de losas macizas en dos direcciones según el libro (Blanco, 2011) indica que "el espesor del paño debe ser mayor al perímetro dividido entre 180, del cual obtuvimos como resultado 10 cm de espesor de losa, exceptuando las zonas de baño las cuales tendrán losas de 20 centímetros de espesor para facilitar las instalaciones sanitarias.

Para el acero vertical se consideró el uso de acero de 3/8" y 5/8" de diámetro, el acero se distribuyó en dos hileras para los muros de 15cm y adicionalmente se usó estribos de 3/8" mm para confinar los extremos de los muros de igual manera el autor (Egoabil, 2019) considera el mismo diámetro de acero vertical. En cambio, los autores (Vargas & Terrazos, 2016) y (Coaquira, 2018) utilizaron acero de 8 mm y 12 mm. Sin embargo (Cotrado, 2017) recomienda el uso de acero de 3/8" como mínimo en muros de ductilidad limitada.

Se optó por el diseño de una platea de cimentación de 0,30 m de espesor con vigas de cimentación de 0.30 x 0.80 m, esto es concordante a lo que indica la norma E.050 en el artículo 19 "Las plateas de cimentación deben ser losas rígidas de concreto armado, con acero en dos direcciones y deberán llevar una viga perimetral de concreto armado cimentado a una profundidad mínima de 0,40 m, medida desde la superficie del terreno o desde el piso terminado, la que sea menor".

Los autores (Egoabil, 2019) y (Vargas & Terrazos, 2016) consideran un espesor de la platea de cimentación 0,40 m y 0,50 m respectivamente, mientras que para las vigas de borde consideraron 0,3x0,80 m y 0.30x1.10m, las cuales cumplen lo indicado por la norma E.050, la Norma E.060 en el numeral capítulo 21 numeral 21.10.3 indica también que Las vigas (uñas o dientes) interiores de las plateas deberán tener una profundidad mínima por debajo de la losa 600 mm o de dos veces el espesor de la losa. Por lo tanto, se puede deducir que la mejor opción en cuanto a la cimentación para el sistema de muros de ductilidad limitada es el de platea de cimentación.

6. Conclusiones

Del análisis y diseño estructural con el sistema de Muros de Ductilidad Limitada y según las delimitaciones establecidos, se concluye que los sistemas de Muros de Ductilidad Limitada presentan un adecuado comportamiento estructural ante la amenaza sísmica, ya que cumplen con los requisitos del Diseño Sismo resistente y del Diseño Estructural que plantea el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

Del análisis estático y dinámico que se realizó mediante el programa Etabs, se concluye que el sistema de Muros de Ductilidad Limitada posee una adecuada rigidez lateral. De los resultados obtenidos en los desplazamientos de entre pisos se obtuvo una distorsión máxima de 0.0012 en la dirección X y una distorsión máxima de 0.0005 en la dirección Y, las cuales son inferiores al límite permisible (distorsión máxima de 0.005). Asimismo, para estructuras irregulares, la Norma

E.030 indica que: "la fuerza cortante dinámica en la base debe ser por los menos 90% de la calculada en el análisis estático", caso contrario este deben ser escaladas, por lo que en nuestro análisis sísmico los factores escalares fueron de 1,19 para el eje X y para Y es 1,175.

En el diseño estructural todos los muros de ductilidad limitada tienen un espesor de 15 cm, siendo comprobados en la etapa de redimensionamiento y diseño. Se consideraron losas macizas en dos direcciones de 10 cm de altura a excepción de las áreas de los servicios higiénicos donde se consideró una losa de 20 cm de altura esto con fin de facilitar las instalaciones sanitarias. Por lo tanto, se concluye que los resultados obtenidos cumplen con los parámetros establecidos en el Norma E.060 –Concreto Armado.

Se realizó el diseño de plateas de cimentación para los muros de ductilidad limitada, mediante el uso de software SAFE, se optó por el diseño de una platea de cimentación de 0,30 m de espesor con vigas de cimentación de 0.30 x 0.80 m. esto es concordante a lo que indica la norma E.050 en el artículo 19 "Las plateas de cimentación deben ser losas rígidas de concreto armado, con acero en dos direcciones y deberán llevar una viga perimetral de concreto armado cimentado a una profundidad mínima de 0,40 m, medida desde la superficie del terreno o desde el piso terminado, la que sea menor". Del diseño estructural se requiere varillas de acero de 1/2" espaciadas a 25 cm.

Se recomienda a las entidades públicas o privadas la importancia de indagar respecto a los criterios de diseño. Es importante mencionar que la utilización de una mayor cantidad de concreto en Muros de Ductilidad Limitada es factible a diferencia de otros sistemas, ya que las dimensiones y el rendimiento se optimizan.

En base a los resultados obtenidos de otras investigaciones se recomienda a los futuros ingenieros especialistas en la rama de estructuras, trabajar con distorsión permisible de 4/1000 o 0.004, así mismo se debe limitar el número de pisos a 4 para evitar que sobrepasen los límites indicados en la Norma Técnica E.030.

El Sistema de muros de ductilidad limitada se aplica mejor al uso de viviendas multifamiliares en el que se requiere gran densidad de muros portantes y simetría en la construcción de los departamentos. Esto genera que sean un proceso constructivo práctico y con óptimos tiempos productivos.

Finalmente indicamos que, para suelos de baja capacidad portante, en el Sistema de muros de ductilidad limitada se recomienda el uso de Plateas de cimentación debido a que el área de contacto de cimentación es mayor a la mitad del área total (50%).

7. Referencias Bibliográficas

- Almeida, F. J. (2015). *Análisis experimental de muros delgados de hormigón armado para viviendas de baja altura [Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile]*. Repositorio institucional, Santiago, Chile. Obtenido de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/15718>
- Blanco, A. (2011). *Estructuración y diseño en Concreto Armado*.
- Coaquira, T. (2018). *Análisis y diseño estructural de una vivienda multifamiliar de 7 pisos con muros de ductilidad limitada en la ciudad de Puno*. Repositorio institucional de la Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez, Juliaca.
- Cotrado, D. (2017). *Elaboración de curvas de Fragilidad de Muros de Ductilidad Limitada de 10 cm de Espesor, Basados en Ensayos Experimentales, Período 2011-2015*. Repositorio Institucional, Tacna.
- Egoabil, X. L. (2019). *Análisis y diseño estructural de un edificio de viviendas multifamiliares de 6 pisos con muros de ductilidad limitada [Tesis Pregrado, Universidad Continental]*. Repositorio institucional, Huancayo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7110>
- Norma E 0.30. (2018). *Diseño Sismoresistente*.
- Norma E.060. (2009). *Concreto Armado*.
- Vargas, A., & Terrazos, T. (2016). *Diseño estructural de un edificio de 7 pisos con Muros de Ductilidad Limitada [Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio institucional, Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7022>