



FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis comparativo de: Muros acoplados mediante vigas

Autor: GRECIA MURIEL TREJO LUQUE

Asesor: Mg. David Miguel Chalco Pari

Trabajo de Investigación presentado a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil como parte de los requisitos para optar el grado académico de Bachiller en Ingeniería Civil.

AREQUIPA-PERÚ

2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su confianza puesta en mí, por su comprensión, por el esfuerzo y apoyo realizado para poder emprender y culminar mis estudios universitarios de manera satisfactoria. A Dios por brindarme sabiduría, por mantenerme sana, por los momentos difíciles y por los triunfos obtenidos durante todos los ciclos universitarios. A mi asesor del proyecto de tesina por brindarme de su tiempo, paciencia, orientación y conocimientos valiosos. Estoy realmente colmada de mucha gratitud por el apoyo de las diversas personas que se presentaron para aportarme de manera positiva e indirecta en este trabajo, que sin su

presencia y perspectivas no tendría los conocimientos básicos adquiridos hoy en día, que fueron pieza clave para desarrollar el proyecto de tesina.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesina está dedicado a Dios, a mi gran familia y seres queridos, que aportaron en cierta forma a poder cumplir con mis objetivos mediante su apoyo incondicional, preocupación y motivación continua.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “Análisis comparativo de: Muros acoplados mediante vigas”, presentará un análisis comparativo de resultados obtenidos mediante el método de las rigideces y el de elementos finitos, estos últimos resultados obtenidos mediante el programa ETABS 2016 v.2.1 que permite modelar muros como elementos tipo shell y vigas como elementos tipo link, ambos métodos de análisis se realizan con el objetivo de comprender a fondo el análisis realizado (análisis estático) de una forma automática por el programa los cuales nos muestra resultados semejantes al método tradicional de rigideces para cada uno de los elementos que componen la estructura analizada, reforzando conocimientos indispensables para poder manejar este tipo de programas automatizados, y también nos muestra cómo es el comportamiento de los muros acoplados y la importancia del grado de acoplamiento, el cual consigue reducciones importantes en términos de: desplazamientos por niveles, esfuerzos de corte y momento en los muros de albañilería; conectados con este tipo de vigas. Cabe mencionar que el análisis realizado fue en un marco plano por temas de simplicidad y mostrar el comportamiento netamente de los muros acoplados por vigas, el objetivo en general es validar el método de rigideces.

El siguiente trabajo presenta al largo de su extensión una investigación no experimental pero que describe y explica las características de este tipo de muros acoplados mediante la información de cada uno de los capítulos.

En el capítulo 1 se presenta la importancia de determinar el grado de acoplamiento en los muros acoplados por vigas y qué parámetros intervienen para determinar este parámetro. En el capítulo 2 se entiende el mecanismo del comportamiento estructural de forma ilustrativa

de este tipo de muros y porqué conviene elegirlos, en el capítulo 3 y 4 se profundiza acerca de lo que la norma de albañilería E.070 nos menciona acerca de este tipo de muros acoplados y cuáles son los métodos hoy en día aplicados para análisis estructural con muros en la configuración de un edificio. Los resultados alcanzados fueron positivos y los esperados de acorde con los objetivos y las hipótesis planteada, culminando con las recomendaciones respectivas para trabajos futuros y conclusiones.

Palabras clave: Grado de acoplamiento, Muros acoplados, Método de rigideces, MEF.

ABSTRACT

This paper entitled "Comparative analysis of: Walls coupled by beams", present a comparative analysis of results obtained by the rigidity method and the last finites, these results program ETABS 2016 v.2.1 that allows walls model as shell-like elements and beams as link-like elements, both methods of analysis is performed with the aim of fully understanding the analysis performed (static analysis) automatically by the program which results us results traditional method of rigidities for each of the elements that make up the analyzed structure, reinforcing indispensable knowledge to be able to handle such automated programs, and beads with the movements of the walls coupled and the importance of the degree of coupling, which achieves significant reductions in terms of: level displacement, cutting efforts and momentwork in masonry walls; connected to such beams. It should blink that it takes over in a flat frame for simple reasons and show the one that is due to the walls coupled by beams, the overall goal is to validate the method of rigidities.

The following work presents a non-experimental research throughout its extension, which describes and explains the characteristics of this type of walls coupled the information of each of the chapters.

Chapter 1 presents the importance of determining the degree of coupling on beam-coupled walls and what parameters this parameter is involved in. Chapter 2 means the mechanism of structural movement illustratively of this type of walls and why it is appropriate to choose them, in Chapter 3 and 4 we delve into the standard of masonry E.070 mentions us about this type of coupled walls and which ones are the methods now applied for structural analysis with walls in the configuration of a building. The positive and expected results in line with the objectives and recommendations, culminating in the respective results for future work and conclusions.

Keywords: Couplet Grade, Coupled Walls, Rigidity Method, MEF.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PROBLEMÁTICA	2
3	HIPÓTESIS	3
4	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
5	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	4
6	OBJETIVOS	4
6.1	Objetivo General	4
6.2	Objetivo Específico	4
7	ALCANCES (CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN)	5
8	LAS LIMITACIONES	5
9	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	6
9.1	Recopilación de datos	6
9.2	Procedimiento	7
10	CAPÍTULO 1: GRADO DE ACOPLAMIENTO	8
10.1	Estudio Paramétrico	11
10.2	Análisis elástico de muros cortantes acopladas	12
	10.2.1 Método medio continuo	12
	10.2.2 Comportamiento estructural por el método medio continuo	13

10.2.3	Significado del parámetro geométrico \mathbf{kaH}	15
10.2.4	Resultados del estudio paramétrico	19
11	CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE UN MARCO PLANO CON MUROS DE CORTANTE	21
11.1	Sistemas de muros estructurales	21
12	CAPITULO 3: COMENTARIOS NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 “ALBAÑILERÍA”	23
13	CAPÍTULO 4: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MUROS EN UN MARCO PLANO- Método de la columna ancha equivalente (marco equivalente)	25
14	CÁLCULOS	26
14.1	Enunciado del ejercicio	27
14.2	Ensamble automático	33
14.3	Obtención de desplazamientos y giros globales	34
14.4	Cálculo de deformaciones en coordenadas locales y de elementos mecánicos	35
15	RESULTADOS DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL	37
16	CONCLUSIONES	39
17	RECOMENDACIONES	42
18	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	LISTA DE FIGURAS	

Figura 10.1 Kent A. Harries, J. Dan’l Moulton y Robert L. Clemson (a) Parámetros de

Muros y Cargas, (b) Reacciones y Fuerzas Internas	14
Figura 10.2 Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson (2004). Ductilidad de vigas de acoplamiento y demanda promedio de fuerza cortante	17
Figura 10.3 Grado de acoplamiento. (adaptado de Stafford-Smith y Coull 1991)	19
Figura 10.4 Efecto de acoplamiento acción sobre desviación de entrepiso (adaptado de Stafford-Smith y Coull)	19
Figura 10.5 Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson (2004). Valores de deformaciones de vigas de acoplamiento producto de la fluencia por la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas	20
Figura 11.1 Ejemplo de un edificio analizado por Clough, King y Wilson. (a) Planta. (b) Distribución de fuerzas cortantes. (c) Momentos en los miembros verticales	23
Figura 12.1 San Bartolomé, Á. (2005) Vigas de acoplamiento	24
Figura 13.1 Tena, A. Método de marco equivalente	26
Figura 14.1 (a) Marco con muros en estudio (b) Marco equivalente del marco con muros	28

LISTA DE TABLAS

Tabla 14.1 Resultados del análisis estructural de muros de corte	35
Tabla 16.1 Resultados de variación en porcentaje entre fuerzas de corte y momentos flectores	40
Tabla 16.2. Resultados de variación entre fuerzas de corte y momentos flectores entre los modelos 1 y 2.	40
Tabla 16.3 Resultados de variación entre Desplazamientos por nudo por ambos métodos de análisis	41
Tabla 16.4 Resultados de variación entre Desplazamientos por nudo entre el modelo con viga chata y el modelo con viga peraltada	41

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día en la actualidad de la práctica constructiva peruana se utilizan lo que son muros acoplados de albañilería mediante vigas de concreto armado, estos muros resisten altamente las fuerzas laterales producto de solicitaciones sísmicas y vendrían siendo una de las primeras líneas de defensa en una edificación citado de esta forma por la norma peruana E0.70, ameritando una investigación El análisis estático es el que se ha desarrollado para este tipo de muros mediante una comparación de resultados como: desplazamientos, fuerzas cortantes y momentos. Dos son los métodos desarrollados en el siguiente proyecto de tesina , utilizando conocimientos obtenidos del nivel académico universitario, el primer método desarrollado es el método matricial de las rigideces teniendo como referencia a los autores Tena, A., Ghail, A., y Neville, A.M. para resolver el análisis de muros acoplados en un marco plano, surge entonces ciertas complejidades en el análisis como tener en cuenta ciertas simplificaciones realizadas como el asumir un diafragma rígido, y ciertas consideraciones en el cálculo como en el modelamiento en el programa ETABS16.2.1 el cual aplicará el método de elementos finitos. Se toma en cuenta en el desarrollo de este proyecto de investigación dejar una puerta abierta para una futura investigación que logré la demostración de una optimización o alternativa de solución para un mejor desenvolvimiento de estos muros reemplazando las vigas por algún disipador que satisfaga su comportamiento y garantice una falla dúctil, frente a sismos severos para estos muros acoplados. Se demuestra en los primeros capítulos el comportamiento satisfactorio que implica conectar los dos muros a tener dos muros con comportamientos individuales y totalmente aislados, analizar en sí el aporte y ventaja de este tipo de muros destinados para muros de concreto armado o albañilería, y para niveles desde 4 o edificios mucho más altos.

2 PROBLEMÁTICA

En la actualidad la filosofía del diseño sismorresistente de muros en albañilería, admite cierto daño en este tipo de elemento estructural; por ejemplo sea el caso de una edificación que está sometida bajo un sismo severo, lo que se produce a modo de efecto-respuesta es que los muros incurrirán o actuarán bajo el dominio inelástico donde puede llegar alcanzar una distorsión de 0.005 en los entrepisos que corresponde a un límite de reparación de la albañilería según la Norma E. 070 ALBAÑILERÍA, más allá de ese valor la estructura del muro muestra daños catastróficos que se traducen en un colapso inminente de este elemento, donde la respuesta más factible, recomendable y por seguridad que debería realizarse es la demolición total puesto que el elemento se encuentra actuando en el dominio más crítico donde sucederá una pronta falla. Como se menciona, la concepción actual del diseño sismorresistente acepta deformaciones inelásticas siendo esto no más que una forma de reflejar la disipación de una buena parte de la energía entregada por la acción sísmica, sin embargo, para lograr esta disipación en una estructura convencional implica la aceptación de ciertos niveles de daño como: Pérdidas de recubrimiento y fisuras. Surge entonces la necesidad hoy en día que las edificaciones de albañilería confinada puedan disipar la mayor cantidad de energía sísmica mediante los elementos que la componen sin la necesidad de que estas causen daño a otros elementos estructurales como en este caso vendrían siendo los muros ya mencionados en estudio, estas necesidades y problemáticas amerita un mayor enfoque de aquellos elementos que tienen la mayor capacidad de disipación de energía sísmica, en esta investigación nos referiremos al análisis de los muros conectados con vigas de acople, estas vigas conocidas como vigas de acoplamiento puesto que conectan dos muros, tiene un

potencial alto para disipar energía mediante la formación de rótulas en sus extremos, por otro lado la norma E.070 de Albañilería considera a estas vigas de acople como una de las primeras líneas de defensa en este tipo de muros. Es preciso optimizar el comportamiento de estos muros mediante un estudio de las vigas de acople, con el fin de poder generar conclusiones y soluciones que permita reducir la vulnerabilidad del sistema de estos muros y de este modo poder disminuir los daños así evitar invertir en reparaciones, mejorar su desempeño (es decir, que cumpla con las funciones de servicio para las que fue diseñada aún después de un sismo muy fuerte) y de salvar vidas humanas. A consecuencia de esta optimización, implicaría una mejoría en el diseño que normalmente es muy conservativo y envuelve un reforzamiento excesivo por seguridad.

3 HIPÓTESIS

En la práctica constructiva peruana actual se utilizan muros en concreto armado y también de albañilería acoplados mediante vigas de concreto armado los cuales vendrían aportar cierta rigidez, resistencia y grado de acoplamiento a las estructuras, puesto que se busca con estos muros conectados es que se fusionen de tal forma que resistan las fuerzas laterales del sismo mediante su comportamiento integrado como un solo sistema estructural que a comparados con dos muros no conectados estos actuarían cada uno por su lado como dos muros aislados, es decir, el acoplamiento que le da la viga de concreto armado a una estructura es fundamental pues mejora su desempeño, la interacción entre viga y muro merece ser estudiado mediante un análisis estructural esperando que mediante modificaciones en función de parámetros

geométricos se obtenga resultados favorables a nivel de disminución de fuerzas cortantes y momentos en los muros de acoplamiento.

4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es necesario comprender el comportamiento estructural de este tipo de muros mediante un análisis estructural que comprenda un método manual y la validación de este mediante un análisis computacional que sirva como una aplicación de la base de conocimientos académicos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, la presente investigación aportará con conocimiento y resultados que abran puertas a futuras investigaciones. Este proyecto de investigación nos permitirá determinar cuáles son los beneficios de implementar en muros acoplados

5 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.

Las variables que servirán como análisis de resultados serán los siguientes:

- Desplazamientos laterales máximos de muros.
- Esfuerzos debido a momentos y fuerzas cortantes.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo General.

- Analizar la influencia de las vigas de acoplamiento en los muros de albañilería

6.2 Objetivo Específico.

- Comparar la precisión de resultados entre el análisis computacional (Elementos finitos-MEF) y el método analítico-manual (Método de las rigideces).

7 ALCANCES (CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN)

En el siguiente tema de investigación se estudiará el comportamiento y desempeño de los muros acoplados con vigas mediante el análisis estructural hacia estos mismos muros en un marco plano así también se procederá al modelamiento mediante programas computacionales con el objetivo no solamente de realizar comparaciones de resultados, sino también intentar poder obtener relaciones paramétricas entre los resultados obtenidos del modelamiento modificando en este algunas variables como su longitud y peralte de las vigas de acople como último punto de objetivo es pretender que los resultados sirvan para una tentativa de diseño menos conservativo teniendo en cuenta los resultados favorables del análisis estructural.

Por otro lado, este análisis estructural conllevará a un análisis de resultados donde se verificará la obtención de la reducción de esfuerzos.

8 LAS LIMITACIONES

- La investigación no abarca el diseño estructural, ni mucho menos el presupuesto de estos muros de acoplamiento por lo que no se obtendrán comparaciones de resultados en la mejora que pueda tener en estos mismos (diseño de muros e inversión económica), refiriéndonos a una reducción en cimentaciones o necesidad de acero que conlleve a una menor inversión.
- El análisis estructural tradicional involucra ciertas hipótesis que conllevan a una cierta distancia o desfase con los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos.

- En la realización de este proyecto en cuanto al análisis de la estructura no se tendrá en cuenta la interacción suelo – estructura lo cual aumenta en cierta forma el grado conservativo del análisis.
- El trabajo se centra en el análisis resistente del que proporcionan las vigas de acoplamiento que conforma la estructura armazón principal de dos muros unidos sin considerar aspectos constructivos como tampoco aspectos arquitectónicos, tampoco el diseño estructural o armado de esta.
- El análisis se limita al análisis estático.

9 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

La investigación del tema a desarrollar tendrá variables a analizar de tipo cuantitativa, los datos analizados serán medibles y permitirán predecir el comportamiento de los muros. La herramienta primordial para el análisis de resultados y modelamiento de los muros de acoplamiento es la aplicación del programa ETABS V.2016 así como también el método manual que vendría siendo el método de la columna ancha equivalente, también es necesario saber las variables que serán fijas y las variables que se tendrán que estudiar para realizar el modelamiento para esto se seguirán los siguientes pasos.

9.1 Recopilación de datos

- **Variables que se considerarán constantes:**
 - Disposición geométrica y propiedades de los materiales, planteada en las investigaciones realizadas de los muros de albañilería ($E'm$, $E'c$, H muro, Long. muro y viga, y t muro y t viga.)
- **Variables a estudiar:**
 - Número de vigas de acople necesarios para mejorar la respuesta estructural.

9.2 Procedimiento

En primera instancia, se tendrá el enunciado del ejercicio, las propiedades físicas y geométricas del material, así como también la estructura con los muros distribuidos en un bosquejo que será analizado en un marco plano de dos niveles, seguido de esto se realizarán los cálculos manuales utilizando el método de las rigideces donde para simplificar el análisis de los muros se tomarán como si estos fueran columnas anchas equivalentes mientras las vigas y columnas serán tomadas como elementos tipo viga-columna, este método considerará uniones entre vigas-muros o vigas-columnas como una porción con una rigidez infinita, todo lo anterior mencionado es con el fin de determinar las fuerzas cortantes y momentos de cada elementos así como también las deformaciones y distorsiones de cada elemento y nudo de la estructura. El análisis computacional se realizará mediante el programa de estructuras ETABS 2016 V2.1 en el cual se definen las propiedades de los elementos, se grafica la estructura en un marco plano en este caso se utilizan elementos tipo Shell para graficar los muros y elementos tipo frame para las vigas y columnas, se realiza un enmallado automático para los muros a su vez se determina las cargas laterales puesto que la estructura será analizada bajo un análisis estático.

Se modelará 2 casos:

-1er caso: Muros acoplados mediante vigas de 2 niveles de un espesor constante.

-2do caso: Se analizará el mismo muro acoplado mediante viga del primer caso con la variación del peralte de la viga a un peralte doble que el anterior caso con el fin de determinar su influencia en los resultados del análisis.

10 CAPÍTULO 1: GRADO DE ACOPLAMIENTO

Los muros acoplados son conocidas por ser sistemas eficientes de resistencia a la carga lateral; sin embargo, la relación entre su comportamiento global como un todo de sistema estructural y su comportamiento a nivel local de cada uno de sus elementos como lo son las vigas de acople y los muros, no se entiende bien y a pesar de esto se ha demostrado este tipo de sistemas estructurales tienen excesivas demandas de deformación interna o esfuerzos en sus subestructuras de componentes.

Con el fin de investigar los parámetros apropiados para identificar geometrías de muros acopladas eficientes, se ha reportado un estudio paramétrico de más de 2000 variantes geométricas de muros acopladas realizadas por los siguientes autores: Harries, K. A., Moulton J. D., y Clemson R.L. Estos análisis permitieron evaluar la sensibilidad de la respuesta estructural a diversos parámetros geométricos. El objetivo de aquel estudio paramétrico fue investigar los parámetros de respuesta elástica de las estructuras de muros acoplados e identificar parámetros que permitan una estimación inicial precisa del comportamiento global de un sistema acoplado, el comportamiento local de las vigas de acoplamiento y la interacción entre los comportamientos globales y locales. Mediante el análisis elástico y las propiedades de sección bruta, se ilustra el papel de los parámetros geométricos representativos en la respuesta de las estructuras acopladas. También se analiza el efecto del uso de varias propiedades de sección reducida prescritas en código. También se ilustra el papel crítico del diseño del haz de acoplamiento (vigas de acople).

Ha habido un considerable cuerpo de trabajo que investiga la respuesta de las estructuras de pared acopladas. El énfasis de la mayoría de los estudios sobre el comportamiento de los muros acopladas ha sido la respuesta global de los muros ya que simboliza de forma cercana el desempeño completo de un edificio, y toma en cuenta la interacción del muro con los elementos estructurales a los que conecta. Las paredes acopladas son conocidas por ser

sistemas eficientes de resistencia a la carga lateral y por lo tanto la mayoría de los estudios de su comportamiento se concentran en optimizar el proceso de diseño, pero sigue existiendo una interrogante basada en la respuesta esperada del sistema de acoplamiento con muros anexadas con vigas de acople la cual es:

- ¿Pueden detallarse las vigas de acoplamiento para proporcionar la ductilidad y deformabilidad necesarias para que los muros logren una respuesta eficiente? Existe una divergencia significativa entre la rigidez a la flexión de los muros en voladizo o aislado y la rigidez de la " estructura acoplada ", conformada por los muros y las vigas de acoplamiento. La rigidez de la estructura acoplada es en gran parte una función de la rigidez axial de los muros.

La relación entre el muro de acople y la acción de "marco" que se genera, es decir, la relación entre la rigidez de la viga de acople con la rigidez de los muros se conoce como el grado de acoplamiento. El grado de acoplamiento (*doc*) de un sistema de muro acoplado se define como el cociente entre el momento total de vuelco resistido por la acción de acoplamiento y el momento total de vuelco generado en cada muro y adicionando el momento del acoplamiento:

$$doc = \frac{L_w * N}{L_w * N + \sum M_w} = \frac{L_w * N}{L_w * N + M_{w1} + M_{w2}}$$

Donde:

doc: grado de acoplamiento

L_w: es el brazo de palanca entre centroides de muros de acople.

N : es la carga axial resultante en los muros debido a las fuerzas de corte generadas en cada viga de acople.

$\sum M_w$: sumatoria de los momentos de vuelco a los que resiste cada muro.

M_{w1} : momento de vuelco resistido por el muro 1.

M_{w2} : momento de vuelco resistido por el muro 2.

Cabe indicar que producto de adiciones la viga de acople se generan en estas fuerzas internas que serían las fuerzas de corte en el extremo de estas, estas fuerzas de corte se transmiten a los muros de corte en forma de fuerzas axiales, de compresión y tracción, generando un momento de vuelco mencionado anteriormente como momento del acoplamiento, adicional a esto en cada muro se genera un momento en la base lo que quiere decir que esto es un indicador positivo ya que los momentos que se generan van a contrarrestar el momento generado por las fuerzas laterales, es decir, se obtendría un mejor comportamiento de los muros acoplándolos en vez de si estos estuvieran aislados o actuarán como muros en voladizo. El par de fuerzas “ N ” (NL en la Ecuación 1) en los muros se desarrolla como ya se mencionó a través de la acumulación de fuerza cortante en las vigas de acoplamiento. Por lo tanto, las características históricas de las vigas de acoplamiento pueden afectar sustancialmente a la respuesta global del sistema de muros acoplados, especialmente para estructuras con un alto grado de acoplamiento. Poniéndonos en dos casos extremos, es decir, cuando las vigas de acoplamiento se vuelven más rígidas, el comportamiento del sistema de muros acoplados se acerca al de un muro aislado lo que presenta poca acción del acoplamiento como un marco integrador. Del mismo modo poniéndonos en el otro caso, con las vigas de acoplamiento flexibles dan como resultado que el sistema se comporte como dos muros aislados.

Con el fin de investigar los parámetros adecuados para identificar geometrías de pared acopladas eficientes, se llevó a cabo un estudio paramétrico de más de 2000 geometrías de pared acopladas. Estos análisis permitieron evaluar la sensibilidad de la respuesta estructural a diversos parámetros geométricos. La intención de este estudio fue investigar los parámetros de respuesta elástica de las estructuras de pared acopladas y su impacto en el comportamiento local y, por lo tanto, los parámetros de diseño de las vigas de acoplamiento. Los resultados de esta evaluación paramétrica se utilizan para: 1) evaluar el papel de los parámetros geométricos críticos en la determinación de la respuesta de los muros acoplados, centrándose en las demandas impuestas a las vigas de acoplamiento; 2) identificar una serie de estructuras prototipo representativas para una evaluación no lineal; y 3) identificar parámetros adicionales que afecten a la respuesta de las estructuras acopladas.

10.1 Estudio Paramétrico

Para este estudio paramétrico, sólo los muros acoplados de la estructura se considerarán los que contribuirán a la resistencia lateral de la estructura. La geometría general del prototipo para el estudio paramétrico se muestra en la figura 1. Los parámetros investigados se proporcionan en la tabla 1. Para el estudio paramétrico inicial, se consideró propiedades de sección bruta en los muros y se redujo la rigidez en las vigas de acoplamiento con el fin de tener en cuenta sus deformaciones por cizallamiento.

El prototipo es dos bloques de muros de concreto armado idénticos unidos mediante vigas de acople. Cada muro tiene un espesor de 450 mm uniforme a lo largo y alto. Las alturas de los pisos son constantes de 3600 mm, los anchos de las vigas de acople son de 400mm, para estas vigas se consideró que tienen una cuantía 0.02 y que este detalle de refuerzo es el ideal para satisfacer los requisitos sísmicos, a medida que se refina el estudio paramétrico se discutirá

los detalles reales del haz. Se supone que el marco generado que contiene muros y viga de acoplamiento es una estructura simétrica y que la torsión no se considerará, por otro lado, por planta se tiene aproximadamente un peso de 10000 kN se asume un $f'c$ de 30 MPa, y un $E=28.5\text{GPa}$ para todos los elementos estructurales.

Todos los parámetros y sus correspondientes combinaciones se investigaron en **el análisis elástico inicial**. Si bien se debe reconocer que la simplificación del prototipo utilizado (ver fig) no son arquitectónicamente o estructuralmente prácticas o poco prácticas, incluyendo por ende las combinaciones de parámetros se permitió investigar una amplia gama de respuestas.

Finalmente, sólo se ha investigado la dirección acoplada y se estimó que es la que otorgará la resistencia lateral a las fuerzas aplicadas. Se puede también reconocer que algunas estructuras prototipo estudiadas podrían no ser adecuadas cuando el **bw** toma valores pequeños, puesto que no resistirían las fuerzas perpendiculares a su dirección

10.2 Análisis elástico de muros cortantes acopladas

10.2.1 Método medio continuo

Los análisis elásticos iniciales de las 2016 geometrías prototipo realizadas se llevaron a cabo utilizando el método de medio continuo desarrollada por Chitty en 1947 para el sistema acoplado modelado. El método de medio continuo da como resultado soluciones de forma cerrada para las fuerzas internas y deformaciones del sistema en general. El método analiza la estructura de los muros acoplados en un plano como se muestra en la **Fig. 2(a)**, donde las vigas de acoplamiento se modelan como un medio continuo. Las fuerzas y reacciones internas resultantes se muestran en la Fig. 2(b). Después de haber determinado las fuerzas internas en el medio continuo, es una cuestión sencilla recolectar en cada uno de los haces de acoplamiento discretos las fuerzas independientes de reacción entre estas y el muro de acople.

10.2.2 Comportamiento estructural por el método medio continuo

Como se muestra en la figura #2 la carga lateral que incide sobre los muros de acoplamiento y que son distribuidos por nivel según la norma NTE 0.30 como una carga puntual, sin embargo, el método del medio continuo lo considera como una carga distribuida que varía uniformemente en función del largo de la altura de los muros $P(z/H)$, la interacción producida entre muros y viga de acople por efecto de dicha carga generan el desarrollo de fuerzas internas, reacciones en los elementos y desplazamientos laterales que serán halladas mediante el método en mención, una de las fuerzas que se generan es la cortante en este caso denominado como el flujo de cizallamiento, $q(z)$, después de encontrar este flujo en el medio de acoplamiento y tras suponer que la base de los muros tienen un tipo de conexión fija puede encontrarse la deflexión relativa entre los extremos de la viga de acoplamiento (δ) mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{1}{(k\alpha H)^2} * \frac{pH^3 L_w}{EI} * F_2(z/H, k\alpha H)$$

Donde p , H , L_w , y z están definidos en la Fig. 9.1; k , I , E y α se definen más adelante; mientras la función F_2 para el caso de la carga triangular (carga distribuida en función de la altura de pisos) se puede determinar con la siguiente ecuación propuesta por Stafford-Smith and Coull en 1991 :

$$F_2 = \left[\frac{\sinh k\alpha H - k\alpha H + k\alpha H}{(k\alpha H) \cosh k\alpha H} - \frac{\sinh[k\alpha(H-z)]}{(k\alpha H) \cosh[k\alpha(H-z)]} - \frac{z}{(1-H) - 0.5(1-H)} - \frac{z^2}{(1-H) - 0.5(1-H)} + \frac{1}{(k\alpha H)^2} \right]$$

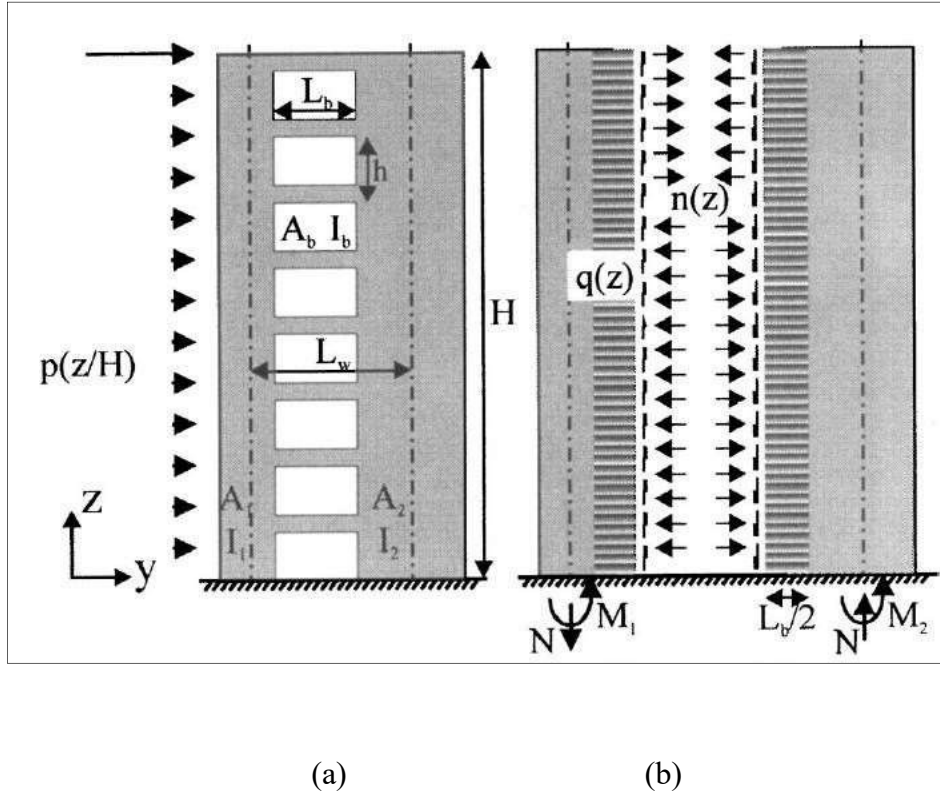


Figura 10.1 Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson (a) Parámetros de Muros y Cargas, (b) Reacciones y Fuerzas Internas

Fuente: Parametric Study of Coupled Wall Behavior Implications for the Design of Coupling Beams.

Para el grado de acoplamiento (**doc**-degree of coupling), el indicador del comportamiento del muro acoplado, también se puede determinar mediante este método desarrollado por Chaallal y Nollel en 1997:

$$doc = \frac{3 (k\alpha H)^2}{k_2(k\alpha H)^2 [3 \frac{k\alpha H}{\sinh(k\alpha H)} - 2 + \frac{k\alpha H}{\cosh(k\alpha H)}]}$$

10.2.3 Significado del parámetro geométrico $k\alpha H$

En las ecuaciones anteriores se visualiza repetitivamente los parámetros k y α , se define a continuación cada parámetro como sigue:

$$\alpha = \sqrt{\frac{12 \cdot I_c \cdot L_w^2}{L_b^3 \cdot h}}$$

I

$$k = \sqrt{1 + \frac{A \cdot I}{A_1 \cdot A_2 \cdot L_w^2}}$$

Donde I = sumatoria de momentos de inercia de cada uno de los muros por piso de forma individual ($I = I_1 + I_2$); A = suma de áreas transversales por cada muro en cada nivel; L_w , L_b y h se definen en la **Figura 9.1**; y I_c = momento efectivo de inercia de la viga de acople asociado a las deformaciones por cortante.

$$I_c = \frac{I_b}{1 + \left(\frac{12EI_b}{L_b^2GA_b} \right) \lambda}$$

Donde I_b y A_b = son el momento de inercia y área bruta de la sección de la viga de acople; E y G = módulo de Young y el módulo de corte de la viga de acoplamiento; y λ = factor de forma tomando un valor de 1.2 para secciones rectangulares.

El parámetro α es una medida de la flexibilidad relativa entre las vigas y muros, donde un valor bajo de esto representa un sistema de acoplamiento relativamente flexible. En tal caso, el comportamiento general del sistema se gobierna por la respuesta flexible de los muros en forma individual un comportamiento muy lejos de ser un sistema integrado sino un sistema individual conformado por dos muros, para valores de α altos conduce una mayor acción de acoplamiento (como un marco) y compenetración integrada del sistema de muros y vigas en conjunto.

Por otro lado el parámetro k es una medida de la flexión relativa a la rigidez axial entre los muros de acoplamiento, este parámetro tiene un límite inferior de $k=1$ que representa una conexión de acoplamiento axialmente rígidos y varía hasta valores de $k=1.2$. Cabe señalar que una estructura acoplada estructuralmente y arquitectónicamente practica o simple normalmente tendrá un valor de $k < 1.1$, un valor promedio de todas las estructuras analizadas en el estudio paramétrico de muros presentado por los autores Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson fue de $k=1.058$ El

parámetro $k\alpha H$:

$$k\alpha H = \sqrt{\left(1 + \frac{c w}{2 A_1 * A_2 * L_w}\right) * \frac{H^2}{L_b^3 h I}} \quad \text{AI} \quad 12 I L^2$$

Puede ser interpretado como una medida de la rigidez de la unión de acoplamiento en las vigas, este parámetro es sensible a los cambios en la longitud de la viga de acople o la rigidez de estas como se percibe en la ecuación correspondiente, si las vigas de conexión tienen rigidez despreciable, es decir, $k\alpha H = 0$ entonces el momento aplicado en la estructura es

resistido por los momentos a flexión desarrollados en cada muro, es decir, la estructura debido a una baja rigidez de acoplamiento lo que genera es que los muros resistan en contraposición a la fuerza ejercida sobre esta pero como un par de muros individuales no como un conjunto o marco acoplado. Si el valor de $k\alpha H = \infty$ se eleva o lo que representa unas vigas de acoplamiento rígidas, la estructura o el par de muros fusionan su comportamiento como si fueran un solo muro, un solo sistema acoplado. Por lo general, si el valor de $k\alpha H$ es menor que 1, la estructura se considera con un grado de acoplamiento (**doc**<20%) insignificante y se comporta como un arreglo de muros individuales o simplemente vinculados (algo similar a una par de muros en voladizo) mas no conectados o acoplados. Para valores mayores cerca de 8, las vigas de acoplamiento se consideran rígidos y la respuesta estructural está dominada por el acoplamiento que surge de la conexión entre vigas y muros, ese muelle entre muros. La relación entre $k\alpha H$ y el grado de acoplamiento (**doc**) se muestra en la Fig 9.2, la cual muestra que para valores de $k\alpha H$ mayores rondando cerca del 8, la respuesta incremental de la estructura acoplada se mantiene estable, es decir, a un aumento adicional de $k\alpha H$ después de ese valor la varianza en cuanto a la respuesta estructural es muy baja.

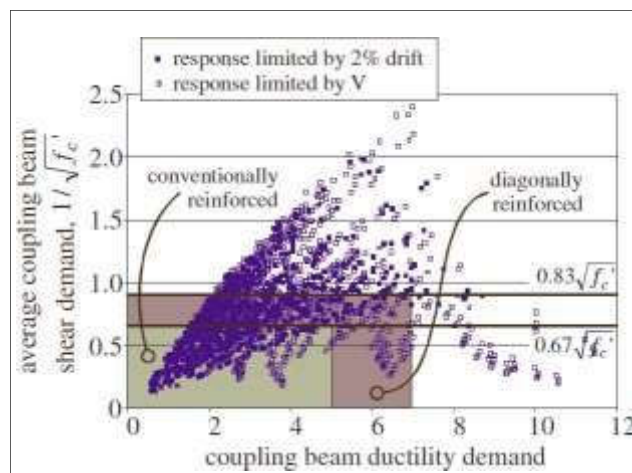


Figura 10.2 Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson (2004). Ductilidad de vigas de acoplamiento y demanda promedio de fuerza cortante.

Fuente: Parametric Study of Coupled Wall Behavior Implications for the Design of Coupling Beams.

Deformaciones estructurales globales, representadas por la desviación del entrepiso, se pueden deducir de la Fig 9.3, también son relativamente afectadas más allá de $k\alpha H = 8$. La desviación del entrepiso de un muro de acoplamiento debido a una fuerza lateral distribuida de forma lineal (y_H) se puede determinar mediante la ecuación propuesta por Stafford Smith y Coull en 1991 mediante la siguiente relación:

$$y_H = \frac{11pH^4}{120EI} F_{3[k\alpha H]}$$

El factor F_3 es la reducción en la desviación de entrepiso proporcionada por la acción de acoplamiento en comparación a la desviación de entrepiso de un par de paredes vinculados o en voladizo = $11pH^4/120EI$; y se da como:

$$F_{3[k\alpha H]} = 1 - \frac{120}{k^2} + \frac{1}{11} * \frac{1}{(k)^2(k\alpha H)^2} * \left[\frac{1}{3} - \frac{1 + 2(\frac{k\alpha H}{k\alpha H} - 1) \sinh(k\alpha H)}{(k\alpha H)^2 \cosh(k\alpha H)} \right]$$

La relación entre $k\alpha H$ y el grado de acoplamiento (doc) se muestra en la Fig 9.3 demuestra

de forma indirecta las ventajas de los muros de acoplamiento para controlar los desplazamientos laterales también el doc muestra poca variación con un aumento de $k\alpha H$ a medida que este se aleja del valor 8. A mayores grados de acoplamiento, la desviación de entrepiso disminuyen, por otro lado la Fig. 9.4 muestra que un mayor grado de acoplamiento (mayor $k\alpha H$), provoca una desviación de entrepiso que cae por debajo de 33% de los que espera si simplemente estaban vinculadas las paredes mismo, actuando como una colección de los voladizos, este es un buen síntoma o factor favorable.

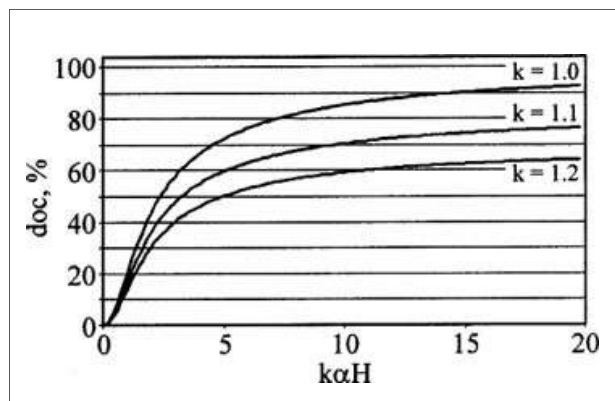


Figura 10.3 Grado de acoplamiento. (adaptado de Stafford-Smith y Coull 1991)

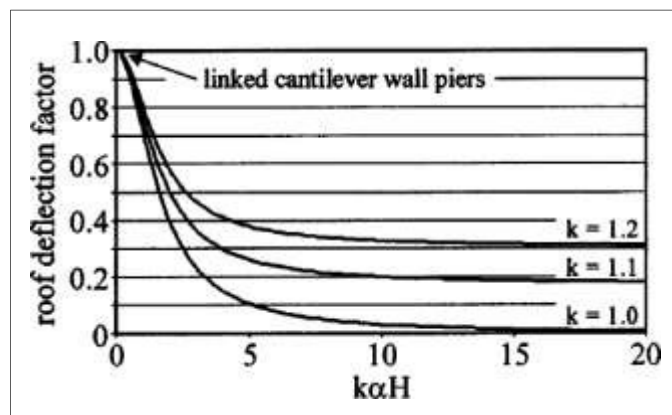


Figura 10.4 Efecto de acoplamiento acción sobre desviación de entrepiso (adaptado de Stafford-Smith y Coull).

10.2.4 Resultados del estudio paramétrico

Los resultados obtenidos de este estudio se muestran en la siguiente Fig. 9.5, el estudio tuvo en cuenta los resultados para los casos en los que las vigas cuentan con un reforzamiento tradicional y también un reforzamiento en disposición diagonal por si este causaba algún efecto en los resultados y así poder compararlos, los resultados resumen los datos hallados como las deformaciones y rotaciones producidos en la viga de acoplamiento, se observa que las deformaciones disminuyen a medida que se aumenta el peralte lo mismo sucede con las rotaciones, otro detalle es que a medida que se aumenta la longitud de las vigas de acoplamiento esto genera una mayor deformación, puesto que se pierde la acción del acoplamiento de las vigas en mención.

Beam length, L_s (mm)	700x400 mm beams			1000x400 mm beams		
	$\rho = 0.02$ (8-30 M bars top and bottom)			$\rho = 0.02$ (8-35 M bars top and bottom)		
	Arrangement	δ_y (mm)	ϕ_y	Arrangement	δ_y (mm)	ϕ_y
1,200	Diagonal	3.0	0.0025	Diagonal	2.4	0.0020
1,500	Diagonal	4.4	0.0029	Diagonal	3.4	0.0023
2,000	Diagonal or conventional	7.0	0.0035	Diagonal	5.4	0.0027
2,500	Diagonal or conventional	10.2	0.0041	Diagonal or conventional	7.8	0.0031
3,000	Conventional	14.0	0.0047	Diagonal or conventional	10.4	0.0035
3,500	Conventional	18.2	0.0052	Diagonal or conventional	13.6	0.0039

Note: 25.4 mm= 1 in.

Figura 10.5 Kent A. Harries, J. Dan'l Moulton y Robert L. Clemson (2004). Valores de deformaciones de vigas de acoplamiento producto de la fluencia por la formación de rótulas plásticas en los extremos de las vigas.

Fuente: Parametric Study of Coupled Wall Behavior Implications for the Design of Coupling Beams.

Los parámetros mencionados anteriormente pueden utilizarse para obtener una predicción básica del comportamiento de acoplamiento temprano en el proceso de diseño, cuando se conoce únicamente la geometría básica. Se reconoce bien que aumentando el grado de acoplamiento mejora el rendimiento global de una estructura, la mejora incremental es despreciable una vez $k\alpha H$ excede un valor de aproximadamente 5-8. Por otro lado, el uso de las propiedades de sección efectivas apropiadas es fundamental para determinar el

comportamiento estructural. La selección de propiedades de sección reducidas para las vigas de acoplamiento tiene un impacto considerable en las demandas de cortante y deformación previstas.

11 CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE UN MARCO PLANO CON MUROS DE CORTANTE

11.1 Sistemas de muros estructurales

Los sistemas de edificios con muros estructurales presentan un mejor desempeño sismorresistente en comparación con un sistema porticado esto para cuando se trata de estructuras desde medianas a altas, puesto que las ventajas que trae utilizar muros en un edificio es proporcionarle a este de mayor rigidez estructural, mayor ductilidad y absorción de energía. Es práctica común en estructuras de concreto reforzado la combinación de ambos sistemas, dando lugar a sistemas duales pórtico- muro. Según Lobo, W. (2011), sobre los 30 pisos la aplicación de muros estructurales es imperativa al combinarlos con pórticos de vigas acarteladas, en un sistema dual. La interacción entre ambos sistemas dependerá de sus rigideces, siendo conveniente que la relación entre ambos se mantenga constante en la altura, para garantizar un adecuado comportamiento estructural.

Estos sistemas son mucho más eficientes para predecir el comportamiento global de la estructura, en comparación con los sistemas de pórticos y paredes de mampostería. Según Ulrich, A. et al. (2011), para lograr esta mejor compatibilidad de deformaciones entre el esqueleto estructural y las paredes de mampostería, los sistemas estructurales a base de muros son evidentemente más eficientes, tal como lo evidenció el desempeño de muchos edificios en Chile durante el terremoto del año 2010.

Los autores Ghali, A y Neville, A.M. en su libro “Análisis Estructural un enfoque unificado convencional y matricial”, nos muestran un estudio de análisis de muros de corte en un plano realizado por Clough, R.W, el análisis se realizó a una estructura de 20 pisos con una distribución en planta mostrada a continuación, sometida a una carga por viento en la dirección principal eje x, se muestra a su vez los dos marcos existentes el marco A, el cual está compuesto de cinco crujiás con y 6 columnas de anchura nula en la dirección principal eje x; y por otro lado se encuentra el marco B, compuesto de tres crujiás, dos columnas y dos muros, en la Fig. 10.1 análisis realizado por Clough, se percibe la distribución de la fuerza cortante entre las columnas y los muros de cortante, donde se puede mostrar que ante una demanda de fuerza cortante la mayor resistencia lateral la proveen los muros resistentes al esfuerzo cortante mientras las columnas producen una proporción de resistencia lateral mucho menor a estos muros, por otro lado la figura que muestra los momentos flexionantes en el muro de corte ilustra el resultado de momentos flexionantes en el muro y columnas interiores del marco A. Estos resultados, demuestran de forma clara el comportamiento de las columnas versus al comportamiento de los muros de corte según el autor Clough menciona que *“el muro de corte es una columna en voladizo en la que la acción del marco sólo modifica ligeramente su diagrama de momentos, mientras que la columna individual muestra esencialmente la acción exclusiva del marco”*.

Las fallas acerca de este tipo de muros conectados con vigas suelen ser grietas en forma de X a lo largo de las vigas de acople de concreto armado lo que refleja la fuerza de la tensión diagonal desarrollada y es debido a una demanda de ductilidad por parte de la viga y de resistir elevadas fuerzas cortantes producto de su corta longitud.

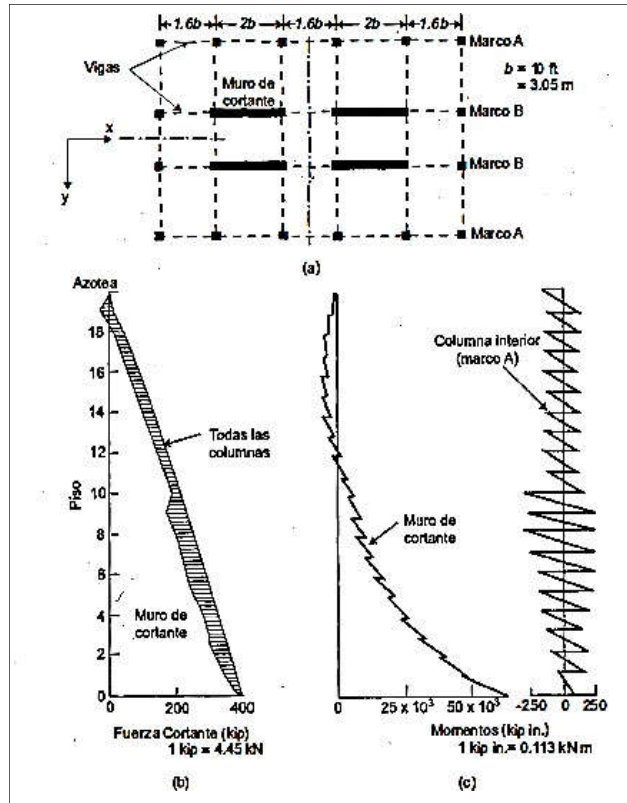


Figura 11.1 Ejemplo de un edificio analizado por Clough, King y Wilson. (a) Planta. (b) Distribución de fuerzas cortantes. (c) Momentos en los miembros verticales.

Fuente: “Análisis Estructural un enfoque unificado convencional y matricial”

12 CAPITULO 3: COMENTARIOS NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 “ALBAÑILERÍA”

La norma E.070 peruana nos hace mención acerca de las vigas dinteles peraltadas y nos recalca que conforme el peralte de estos elementos se ve incrementado las fuerzas que se desarrollan sobre estas también sucede de forma proporcional, sucediendo que estas fuerzas internas lo que sucede es que actúan en sentido contrario en los muros y tratan de contrarrestar los efectos sísmicos producidos por las fuerzas laterales aplicadas a estos, es decir, reducen la carga sísmica y no sólo esto sino también reducen el momento flector en la base de los muros esto trae como consecuencia:

- a) Un aumento sustancial en la rigidez lateral de los muros,
- b) Un aumento sustancial en la resistencia cortante,
- c) Una disminución sustancial en el tamaño de las cimentaciones, de igual forma con su refuerzo respectivo,
- d) Una disminución de la compresión por flexión en los talones del muro y;
- e) Una reducción de la distribución de acero vertical en los extremos de los muros.

Otro punto importante en la Norma Peruana acerca de estas vigas de acoplamiento es que se refiere a estos elementos de acoplamiento como la primera línea de resistencia sísmica, puesto que serán justamente estos elementos los primeros encargados de disipar energía ante las solicitaciones sísmicas luego de la falla de estos la solicitación sísmica o demanda incidirá sobre los muros quienes trabajaran o cumplirán su función después de que las vigas hallan fallado, sin embargo la falla para estos elementos debe inducirse a una falla dúctil por flexión donde se dé la formación de rótulas plásticas en sus extremos debido a la formación de momentos plásticos.

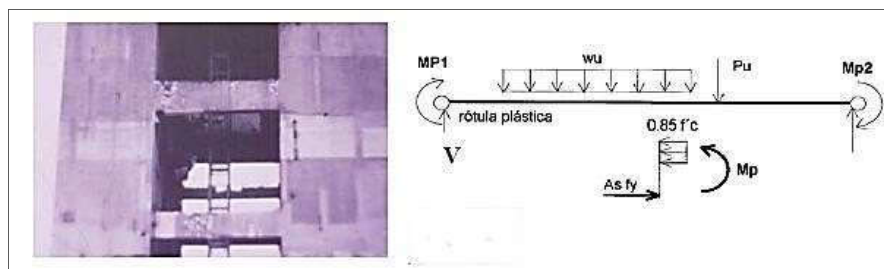


Figura 12.1 San Bartolomé, Á. (2005) Vigas de acoplamiento.

Fuente: Comentarios a la norma técnica de edificación E.070 (Perú)

13 CAPÍTULO 4: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MUROS EN UN MARCO

PLANO- Método de la columna ancha equivalente (marco equivalente)

Una forma de estimar el desplazamiento lateral de un elemento muro a nivel de su eje centroidal se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{Fh^3}{3EI} + \frac{Fh}{GA_c}$$

El autor Tena, A. nos indica que la anterior expresión es obtenida a partir de aplicar la teoría en vigas de Bernoulli-Euler equivalente y apto para materiales elástico lineales, homogéneos e isotrópico. Mientras tanto en 1999 Bazán y Meli indican que los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos se asemejan bastante a los resultados obtenidos mediante la ecuación anteriormente mencionada, este método de elementos finitos fue formulado para satisfacer la teoría de estado plano de esfuerzos para la misma hipótesis del material, sin embargo, la solución o resultado más correcta o acertado no sería el de la teoría de estado plano de esfuerzos sino que la solución más apropiada sería considerar los desplazamientos calculados con la ecuación del método Bernoulli-Euler puesto que si se quisiera estudiar el efecto de la viga con respecto a la relación de un muro (b/h) se debe considerar que la solución exacta sería el método de elementos finitos puesto que el muro podría asumirse como una viga en voladizo sin embargo es forma de simplificación matemática con el fin de obtener valores aproximados.

Lo que se quiere demostrar es que con fines de practicidad se pueden idealizar muros sólidos aislados con suficiente aproximación empleado como elemento viga-columna que es capaz de determinar para estas deformaciones por flexión y cortante, esta idea origina el método de la columna ancha o marco equivalente (siglo xx), esta idea inicialmente se aplicó para muros

solidos acoplados con vigas posteriormente aplico para sistemas de marcos que incluían muros como se muestra a continuación en la Fig12.1

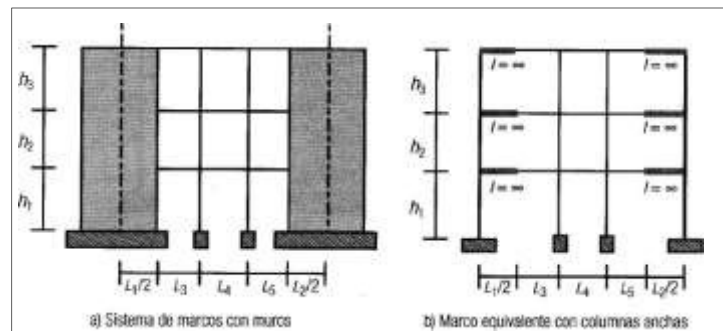


Figura 13.1 Tena, A. Método de marco equivalente.

Fuente: Análisis de estructuras con métodos matriciales.

Este método del marco equivalente, se simplifica asumiendo que los muros ahora serán columnas anchas ubicadas en el central del mismo muro, lo más importante de estos muros idealizados como columnas anchas es incluir en estos las deformaciones por cortante ya que trabajan principalmente a corte otro dato importante a considerar en el análisis es el tema de la proporción de infinita rigidez a la flexión ($I=\infty$) producto de la unión entre elementos vigas y columnas. Este tipo de análisis, aunque parezca increíble en su época se utilizó para realizar modelos razonables de estructuras complejas de muros y marcos con programas de análisis estructural de marcos planos, hoy en día no se debe extrapolarse para sistemas estructurales con muros y aberturas irregulares puesto que la diferencia entre resultados es imprecisamente significativa comparada con modelos más rigurosos.

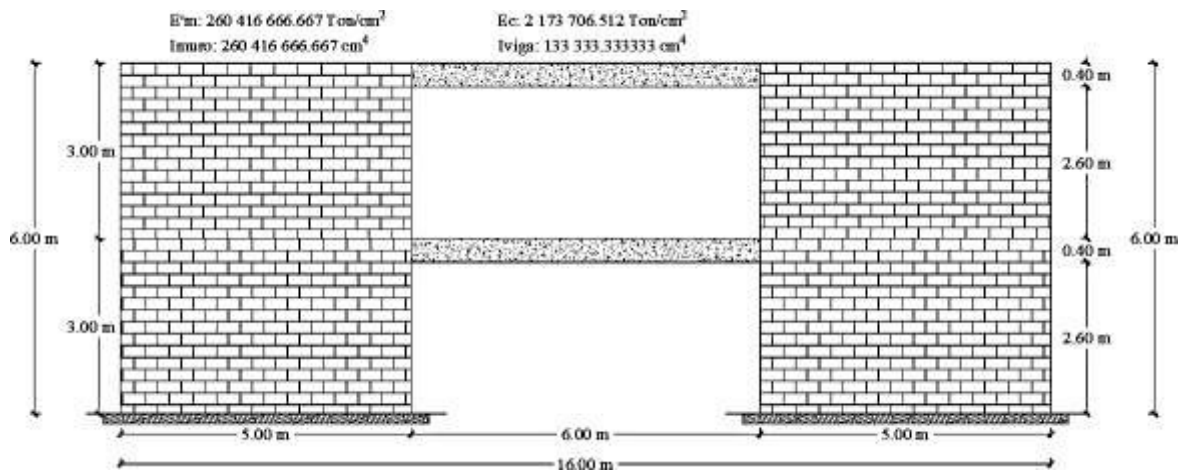
14 CÁLCULOS

Se realizó el análisis mediante el método de las rigideces basándonos en un ejercicio propuesto por el libro del autor Tena Colunga, A. Análisis de estructuras con métodos matriciales con el fin de determinar deformaciones en los nodos y elementos de este modo

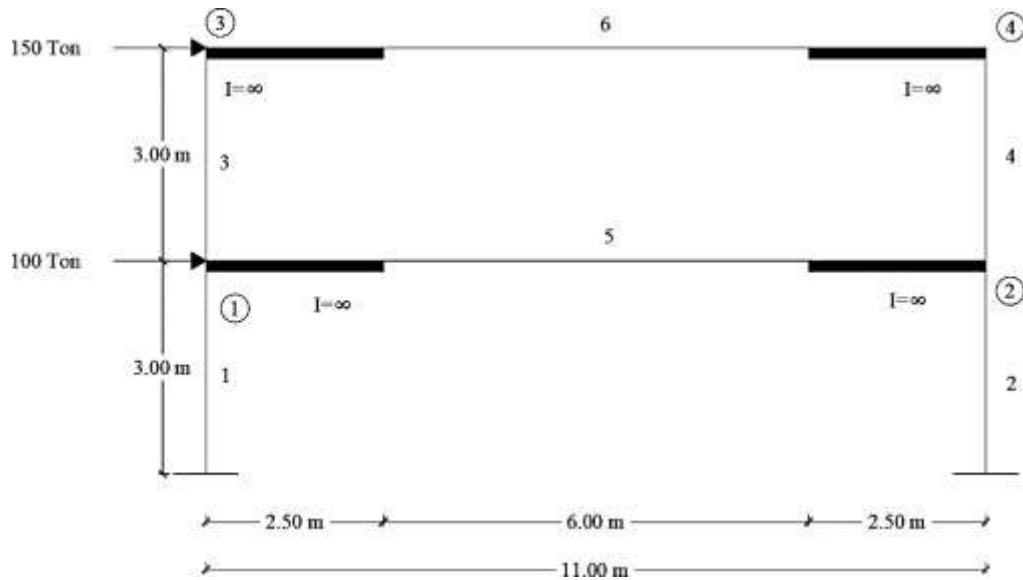
compararlos con el método de elementos finitos obtenidos del programa ETABS 2016 Ultimate 16.2.1

14.1 Enunciado del ejercicio:

Resolver completamente el marco con muros que se muestra en la Fig13.1, utilizando el método de la columna ancha equivalente. Considere que las vigas y columnas son elementos tipo viga bidimensionales. Las vigas son de sección rectangular de 25x40. El muro tiene un espesor de 25 cm y una longitud de 5 m. El módulo de elasticidad de todos los elementos es constante para cada tipo de elemento y vale $E'_m=352\ 000\ \text{Ton/cm}^2$ para los muros de albañilería y $E'_c=2\ 173\ 706.51\ \text{Ton/cm}^2$ para las vigas de concreto armado. La relación de Poisson es $\nu=0.20$. Considere que todos los elementos son axialmente rígidos.



(a)



(b)

Figura 14.1(a) Marco con muros en estudio (b) Marco equivalente del marco con muros

De la figura anterior (Figura 14.1) se muestra que el sistema contempla 4 nudos, cada nudo tendría 3 GDL (Dos desplazamientos en el plano ZY y una rotación en el eje X el cual para este caso es el eje fuera del papel), lo cual significa que daría una matriz global de ensamble de un orden de 12x12. Sin embargo, el ejercicio nos especifica que todos los elementos son axialmente rígidos, se refiere que cada nudo ahora tendría 2 GDL siendo el desplazamiento en "Y" restringido eso nos indica que cada nudo tendría desplazamientos nulos en el sentido vertical, a su vez la matriz de rigidez se va reduciendo cambiando de un orden de 12x12 a uno de 8x8. La reducción de la matriz de ensamble prosigue como se explicará más adelante de este capítulo.

Se procede hallar los coeficientes de rigidez (f_{az} , f_{abx} , f_{bax} , f_{12x} etc.), que forman la matriz de rigidez local de cada elemento (K_{el}).

Para los muros del primer y segundo nivel

Propiedades y datos del elemento:

a) Largo del muro:

$$L_m = 5 \text{ m}$$

b) Altura del muro:

$$L = 3 \text{ m}$$

c) Módulo de elasticidad de la albañilería:

$$E'_m = 5000 \text{ f'm} = 325000 \text{ Ton/m}^2$$

d) Inercia del muro de albañilería:

$$I_M = 2.604 \text{ m}^4$$

e) Espesor del muro:

$$t_m = 0.25 \text{ m}$$

f) Área de cortante de la sección del muro:

$$A_{cy} = \frac{I_M \cdot t_m}{(1+\nu)} = 17500 \text{ m}^2$$

g) Módulo de cortante:

$$\nu = 0.2 \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 135400 \text{ Ton/m}^2$$

h) Parámetro adimensional de cortante:

$$\phi = \frac{12 \cdot E \cdot I_M}{G \cdot A_{cy} \cdot L^2} = 8$$

Coefficientes de rigidez:

$$r_{axx} := \frac{12 \cdot E_m \cdot I_M}{L^3 \cdot (1 + \phi)} = 4.18 \cdot 10^4 \quad r_{abx} := \frac{6 \cdot E_m \cdot I_M}{L^2 \cdot (1 + \phi)} = 6.269 \cdot 10^4 \quad r_{bax} := \frac{6 \cdot E_m \cdot I_M}{L^2 \cdot (1 + \phi)} = 6.269 \cdot 10^4$$

$$r_{11x} := \frac{(4 + \Phi) \cdot E_m \cdot I_M}{L \cdot (1 + \Phi)} = 376157.407 \quad r_{22x} := \frac{(4 + \Phi) \cdot E_m \cdot I_M}{L \cdot (1 + \Phi)} = 376157.407 \quad r_{12x} := \frac{(2 - \Phi) \cdot E_m \cdot I_M}{L \cdot (1 + \Phi)} = -1.881 \cdot 10^5$$

$$r_{21x} := \frac{(2 - \Phi) \cdot E_m \cdot I_M}{L \cdot (1 + \Phi)} = -1.881 \cdot 10^5 \quad r_{ax} := 0$$

Matriz En Coordenadas Local para los muros (Kel)

$$K_m := \begin{bmatrix} r_{ax} & 0 & 0 & -r_{ax} & 0 & 0 \\ 0 & r_{aax} & r_{abx} & 0 & -r_{aax} & r_{bax} \\ 0 & r_{abx} & r_{11x} & 0 & -r_{abx} & r_{12x} \\ -r_{ax} & 0 & 0 & r_{ax} & 0 & 0 \\ 0 & -r_{aax} & -r_{abx} & 0 & r_{aax} & -r_{bax} \\ 0 & r_{bax} & r_{21x} & 0 & -r_{bax} & r_{22x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 41795.27 & 62692.9 & 0 & -41795.27 & 62692.9 \\ 0 & 62692.9 & 376157.41 & 0 & -62692.9 & -188078.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -41795.27 & -62692.9 & 0 & 41795.27 & -62692.9 \\ 0 & 62692.9 & -188078.7 & 0 & -62692.9 & 376157.41 \end{bmatrix}$$

Matriz de rigidez en coordenadas globales para el muro 1y2

$$KG_1 := a_1^T \cdot K_m \cdot a_1 = \begin{bmatrix} 41795.27 & 0 & -62692.9 & -41795.27 & 0 & -62692.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -62692.9 & 0 & 376157.41 & 62692.9 & 0 & -188078.7 \\ -41795.27 & 0 & 62692.9 & 41795.27 & 0 & 62692.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -62692.9 & 0 & -188078.7 & 62692.9 & 0 & 376157.41 \end{bmatrix}$$

Para las vigas de acoplamiento del primer y segundo nivel

Propiedades y datos de los elementos:

a) Largo de la viga:

$$L = 6 \text{ m}$$

b) Módulo de elasticidad del concreto:

$$E_c = 2\,173\,706.512 \text{ Ton/m}^2$$

c) Inercia del muro de albañilería:

$$I_{\text{viga}} = 0.00133 \text{ m}^4$$

d) Espesor o ancho de la viga:

$$t_m = 0.25 \text{ m}$$

e) Peralte de la viga: $t = 0.4 \text{ m}$

f) Área de cortante de la sección del muro:

$$A_{cy} = \frac{I_M}{(1+\nu) t} = 1.25 \text{ m}^2$$

g) Módulo de cortante:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 905\,700 \text{ Ton/m}$$

h) Parámetro adimensional de cortante:

$$\phi = G \frac{12 \cdot E \cdot I_M}{A_{cy} \cdot L^2} = 0.0008533$$

i) Coeficientes de zonas altamente rígidas:

$$\alpha = 0 \quad \beta = 0$$

Coeficientes de rigidez ($r_{\alpha\alpha} := 0$)

$$r_{aa} := \frac{12 \cdot E \cdot I_{viga}}{L^3} \cdot \left(\frac{1 + \alpha^2 + 2 \cdot \alpha + 2 \cdot \alpha \cdot \beta + 2 \cdot \beta + \beta^2}{1 + \phi} \right) = 160.878$$

$$r_{11x} := \frac{4 \cdot E \cdot I_{viga}}{L} \cdot \left(\frac{1 + \frac{\phi}{4} + 3 \cdot \alpha + 3 \cdot \alpha^2}{1 + \phi} \right) = 1.931 \cdot 10^3$$

$$r_{22x} := \frac{4 \cdot E \cdot I_{viga}}{L} \cdot \left(\frac{1 + \frac{\phi}{4} + 3 \cdot \beta + 3 \cdot \beta^2}{1 + \phi} \right) = 1.931 \cdot 10^3$$

$$r_{12x} := \frac{2 \cdot E \cdot I_{viga}}{L} \cdot \left(\frac{1 - \frac{\phi}{2} + 3 \cdot \alpha + 3 \cdot \beta + 6 \cdot \alpha \cdot \beta}{1 + \phi} \right) = 964.856$$

$$r_{21x} := \frac{2 \cdot E \cdot I_{viga}}{L} \cdot \left(\frac{1 - \frac{\phi}{2} + 3 \cdot \alpha + 3 \cdot \beta + 6 \cdot \alpha \cdot \beta}{1 + \phi} \right) = 964.856$$

$$r_{abx} := \frac{6 \cdot E \cdot I_{viga}}{L^2} \cdot \left(\frac{1 + 2 \cdot \alpha^2 + 3 \cdot \alpha + 2 \cdot \alpha \cdot \beta + \beta}{1 + \Phi} \right) = 482.634$$

$$r_{bax} := \frac{6 \cdot E \cdot I_{viga}}{L^2} \cdot \left(\frac{1 + 2 \cdot \beta^2 + 3 \cdot \beta + 2 \cdot \alpha \cdot \beta + \alpha}{1 + \Phi} \right) = 482.634$$

Matriz En Coordenadas Local para las vigas 5 y 6

$$K_v := \begin{bmatrix} r_{az} & 0 & 0 & -r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & r_{aax} & r_{abx} & 0 & -r_{aax} & r_{bax} \\ 0 & r_{abx} & r_{11x} & 0 & -r_{abx} & r_{12x} \\ -r_{az} & 0 & 0 & r_{az} & 0 & 0 \\ 0 & -r_{aax} & -r_{abx} & 0 & r_{aax} & -r_{bax} \\ 0 & r_{bax} & r_{21x} & 0 & -r_{bax} & r_{22x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 160.88 & 482.63 & 0 & -160.88 & 482.63 \\ 0 & 482.63 & 1930.95 & 0 & -482.63 & 964.86 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -160.88 & -482.63 & 0 & 160.88 & -482.63 \\ 0 & 482.63 & 964.86 & 0 & -482.63 & 1930.95 \end{bmatrix}$$

Matriz de rigidez en coordenadas globales para vigas 5 y 6

$$KG_1 := a_1^T \cdot K_v \cdot a_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 160.878 & 482.634 & 0 & -160.878 & 482.634 \\ 0 & 482.634 & 1930.948 & 0 & -482.634 & 964.856 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -160.878 & -482.634 & 0 & 160.878 & -482.634 \\ 0 & 482.634 & 964.856 & 0 & -482.634 & 1930.948 \end{bmatrix}$$

Nota: Es necesario indicar que para los coeficientes asociados a la rigidez axial de todos los elementos se asumieron como nulos, por la condición del ejercicio que todos los elementos son axialmente rígidos, introducir estos valores es necesario puesto que para el siguiente paso de multiplicar la matriz inversa de rigidez por la matriz de esfuerzos nos resultaría desplazamientos nulos en (u_y) que es lo correcto caso contrario de poner los valores resultantes EA/L implica que los elementos se pueden deformar axialmente todo lo que quieran, lo cual es incorrecto.

Esta condición de considerar elementos axialmente rígidos genera arreglos en la matriz de ensamblaje pues conviene reducir de la matriz global de rigidez las columnas y filas que corresponden a grados de libertad nulos o restringidos.

Sumado a esto reducir el orden de la matriz global de rigidez sumando entre filas y columnas los grados de libertad que sabemos que son iguales, como consecuencia de considerar a los elementos axialmente rígidos.

En caso no se desee realizar esta reducción se debería tomar valores de $r_{az} = \infty$ como lo hacen los programas generales de análisis estructural.

14.2 Ensamble automático:

Se realizará un proceso de ensamble entre las matrices de rigidez con respecto al sistema de ejes coordinados globales del elemento. Para esto se define los Grados de libertad de la estructura inicialmente son 18 sin embargo la matriz va reduciendo gradualmente debido a que el ejercicio condiciona que todos los elementos son axialmente rígidos. Se muestra la matriz de rigidez global indicando los desplazamientos a los que se asocia cada fila y columna.

GL= 12 Grados de libertad de la estructura.

$K_{Auto_{GL, GL}} := 0$ Definir una matriz de GL x GL de ceros.

$$K = \begin{bmatrix} 83590.535 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41795.267 & 0 & -62692.901 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 160.878 & 482.634 & 0 & -160.878 & 482.634 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 482.634 & 754245.763 & 0 & -482.634 & 964.856 & 62692.901 & 0 & -188078.704 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 83590.535 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41795.267 & 0 & -62692.901 \\ 0 & -160.878 & -482.634 & 0 & 160.878 & -482.634 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 482.634 & 964.856 & 0 & -482.634 & 754245.763 & 0 & 0 & 0 & 62692.901 & 0 & -188078.704 \\ -41795.267 & 0 & 62692.901 & 0 & 0 & 0 & 41795.267 & 0 & 62692.901 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 160.878 & 482.634 & 0 & -160.878 & 482.634 \\ -62692.901 & 0 & -188078.704 & 0 & 0 & 0 & 62692.901 & 482.634 & 378088.355 & 0 & -482.634 & 964.856 \\ 0 & 0 & 0 & -41795.267 & 0 & 62692.901 & 0 & 0 & 0 & 41795.267 & 0 & 62692.901 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -160.878 & -482.634 & 0 & 160.878 & -482.634 \\ 0 & 0 & 0 & -62692.901 & 0 & -188078.704 & 0 & 482.634 & 964.856 & 62692.901 & -482.634 & 378088.355 \end{bmatrix}$$

(Ton/m)

Como todos los elementos son axialmente rígidos y no existen cargas verticales se tiene que todos los desplazamientos verticales son nulos (u_y). Eliminamos las columnas y filas correspondientes a las deformaciones axiales para esto se toma como igual a cero. La matriz se reduce a una de 8x8

$$K = \begin{bmatrix} 83590.535 & 0 & 0 & 0 & -41795.267 & -62692.901 & 0 & 0 \\ 0 & 754245.763 & 0 & 964.856 & 62692.901 & -188078.704 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 83590.535 & 0 & 0 & 0 & -41795.267 & -62692.901 \\ 0 & 964.856 & 0 & 754245.763 & 0 & 0 & 62692.901 & -188078.704 \\ -41795.267 & 62692.901 & 0 & 0 & 41795.267 & 62692.901 & 0 & 0 \\ -62692.901 & -188078.704 & 0 & 0 & 62692.901 & 378088.355 & 0 & 964.856 \\ 0 & 0 & -41795.267 & 62692.901 & 0 & 0 & 41795.267 & 62692.901 \\ 0 & 0 & -62692.901 & -188078.704 & 0 & 964.856 & 62692.901 & 378088.355 \end{bmatrix}$$

(Ton/m)

Como todos los elementos son axialmente rígidos y se asume que los desplazamientos por cada nivel tendrán que ser iguales, para este caso solo los nudos pertenecientes a los extremos de cada nivel tendrán mismo desplazamiento. La matriz se reduce a una matriz de 6x6

$$K = \begin{bmatrix} 167181.07 & 0 & 0 & -83590.535 & -62692.901 & -62692.901 \\ 0 & 754245.763 & 964.856 & 62692.901 & -188078.704 & 0 \\ 0 & 964.856 & 754245.763 & 62692.901 & 0 & -188078.704 \\ -83590.535 & 62692.901 & 62692.901 & 83590.535 & 62692.901 & 62692.901 \\ -62692.901 & -188078.704 & 0 & 62692.901 & 378088.355 & 964.856 \\ -62692.901 & 0 & -188078.704 & 62692.901 & 964.856 & 378088.355 \end{bmatrix}$$

(Ton/m)

14.3 Obtención de desplazamientos y giros globales

Resolviendo el sistema y determinando el vector de fuerzas en la estructura: $F := K \cdot u$

$$F := \begin{bmatrix} 100 \\ 0 \\ 0 \\ 150 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(Ton)

Se tiene que el vector de desplazamientos globales es:

$$u := K^{-1} \cdot F = \begin{bmatrix} 0.005134 \\ -0.001429 \\ -0.001429 \\ 0.011786 \\ -0.001809 \\ -0.001809 \end{bmatrix} \begin{matrix} u_{1er} & \text{m} \\ \theta_{1x} & \text{rad/m} \\ \theta_{2x} & \text{rad/m} \\ u_{2do} & \text{m} \\ \theta_{3x} & \text{rad/m} \\ \theta_{4x} & \text{rad/m} \end{matrix}$$

14.4 Cálculo de deformaciones en coordenadas locales y de elementos

mecánicos

Tabla 14.1 Resultados del análisis estructural de muros de corte.

<p>Para los Elementos 1 y 2.</p>	<p>-Axial, Corte y Momento para el elemento (Ton, Ton, Ton.m):</p>
$u1 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ u_{1,1} \\ 0 \\ u_{2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.005 \\ 0 \\ -0.001 \end{bmatrix}$	$.F := K_m \cdot a_1 \cdot u1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 125 \\ 590.62 \\ 0 \\ -125 \\ -215.62 \end{bmatrix}$
<p>Para los Elementos 3 y 4</p>	<p>-Axial, Corte y Momento para el elemento (Ton, Ton, Ton.m):</p>

$u3 := \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ 0 \\ u_{2,1} \\ u_{4,1} \\ 0 \\ u_{5,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.005 \\ 0 \\ -0.001 \\ 0.012 \\ 0 \\ -0.002 \end{bmatrix}$	$.F := K_m \cdot a_1 \cdot u3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 75 \\ 219.76 \\ 0 \\ -75 \\ 5.24 \end{bmatrix}$
<p align="center">Para los Elementos 5.</p>	<p align="center">-Axial, Corte y Momento para el elemento (Ton, Ton, Ton.m):</p>
$u5 := \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ 0 \\ u_{2,1} \\ u_{1,1} \\ 0 \\ u_{3,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.005 \\ 0 \\ -0.001 \\ 0.005 \\ 0 \\ -0.001 \end{bmatrix}$	$.F := K_v \cdot a_1 \cdot u5 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.379 \\ -4.138 \\ 0 \\ 1.379 \\ -4.138 \end{bmatrix}$
<p align="center">Para el Elemento 6</p>	<p align="center">-Axial, Corte y Momento para el elemento:</p>
$u5 := \begin{bmatrix} u_{4,1} \\ 0 \\ u_{5,1} \\ u_{4,1} \\ 0 \\ u_{6,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.012 \\ 0 \\ -0.002 \\ 0.012 \\ 0 \\ -0.002 \end{bmatrix}$	$.F := K_v \cdot a_1 \cdot u5 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1.746 \\ -5.239 \\ 0 \\ 1.746 \\ -5.239 \end{bmatrix}$

15 RESULTADOS DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

Se modelo el marco con muro y columnas en el programa ETABS 2016.2.1 como

propiedades del material de las vigas y muros así también la creación de su geometría, cargas aplicadas, grado de enmallado y se corrió el programa para determinación de la deformada del marco de muros y columnas, para este ejercicio hubo una variante debido a que se dispuso a aumentar el peralte de las vigas de 25x40 del **modelo 1** inicial propuesto por el ejercicio analizado de forma manual o con el método de las rigideces, se cambió el peralte a 40 cm más, es decir, para analizar el marco muro con vigas ahora de 25x80, este sería el **modelo 2** y ver el efecto de este en los resultados de fuerzas cortantes, momentos y deformaciones. Los resultados obtenidos mediante el método computacional con vigas 25x40 se muestran a continuación:

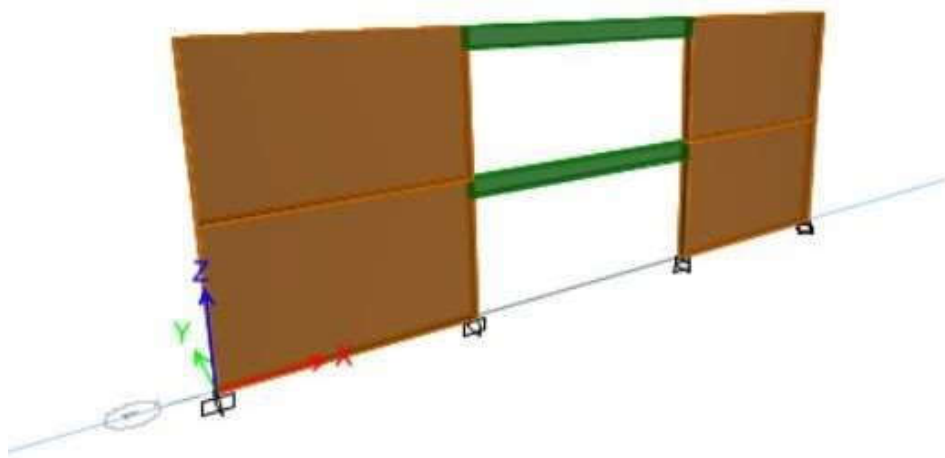


Figura 15.1 Deformada del marco de muro y columnas. (**Fuente:** Análisis en ETABS2016)

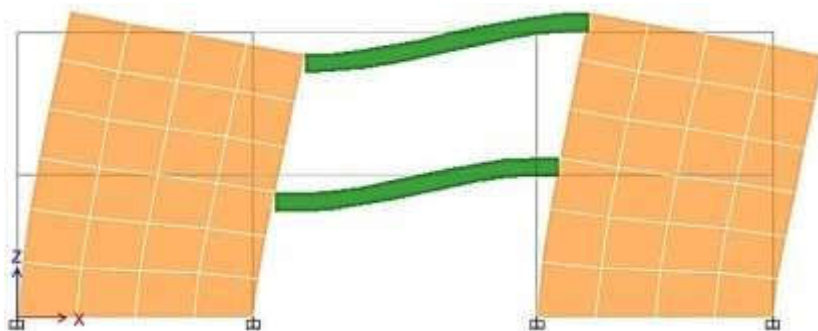


Figura 15 Deformada del marco de muro y columnas. (Fuente: Análisis en ETABS2016)

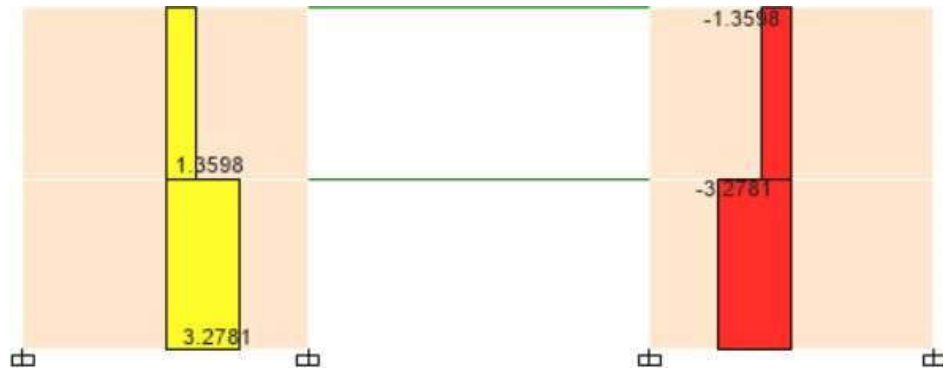


Figura 15.2 Diagrama de fuerzas axiales en los elementos del modelo 1 (DFA) (Fuente: Análisis en ETABS2016)

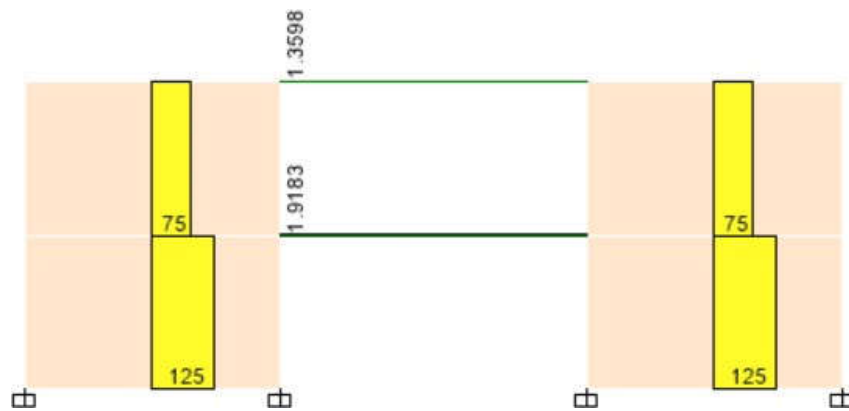


Figura 15.3 Diagrama de fuerzas cortante en los elementos del modelo 1 (DFC) (Fuente: Análisis en ETABS2016)

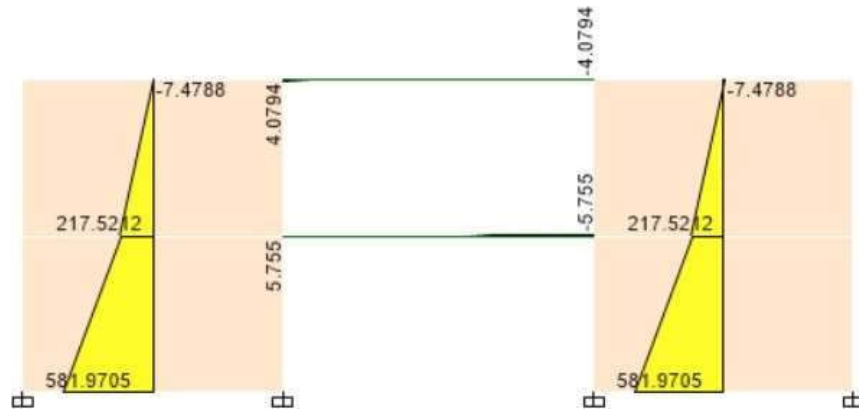


Figura 15.4 Diagrama de momento flector en los elementos del modelo 1 (DMF) (Fuente: Análisis en ETABS2016)

16 CONCLUSIONES

Se aprecia enseguida en las siguientes tablas una comparación entre los resultados obtenidos del método de la columna ancha y el método computacional de elementos finitos para cada uno de los elementos se observa que para las fuerzas cortantes basales la diferencia máxima fue pequeña (0.01%) mientras que para los momentos flectores basales la diferencia fue de 42.75% este valor no excede el 50%, al respecto con la siguiente Tabla 15.2 esta indica la variación en valor absoluto entre la variación de fuerzas cortantes de los elementos del sistema variando el peralte, se puede ver que cuando el peralte se aumentó las solicitaciones de fuerza cortante en los muros no disminuyeron de forma notoria sin embargo esto se debe a que el nivel de muros analizados es mínimo aumentado los niveles y de esta forma el acoplamiento la reducción de la solicitación de fuerzas cortantes en los muros reducirían, tomando en cuenta por otro lado que estos muros son recomendables en edificios altos ya que se puede conseguir el efecto deseado de reducción de esfuerzos y además que se tendría mayor número de vigas de acoplamiento que sumen a este resultado. Los resultados producto de aumentar el espesor del peralte de vigas en cuanto a vigas los valores de esfuerzos

cortantes y momentos en la viga aumentaron en un 4 Tonf y 6 Tonf.m más para los muros tanto del primer como del segundo nivel los momentos flexionantes disminuyeron en un 16 y 3 Tonf, es decir, el efecto que se obtiene al acoplar muros mediante vigas es que estas absorban gran cantidad de cortante y momento, mientras en los muros estos se reduzcan, de modo que la falla se genere en la viga específicamente según la bibliografía ya mencionada mediante la formación de rótulas plásticas.

Se puede concluir que no se podría realizar una comparación entre los esfuerzos cortantes que se desarrollan en los muros y columnas debido a que la diferencia es muy alta, se aprecia que los muros son efectivamente los elementos que resisten mayor esfuerzo de corte y efectivamente mayor momento en sus bases.

Tabla 16.1 Resultados de variación en porcentaje entre fuerzas de corte y momentos flectores.

ELEMENTO	ETABS2016	MÉT.RIGIDECES	%	ETABS2016		MÉT.RIGIDECES		%	%
	Cortante (ton)	Cortante (ton)	Variación	Momento flector (ton.m)		Momento flector (ton.m)		Variación, inicio	Variación, final
Muro-1	125	125	0.00%	581.97	206.97	590.62	215.62	1.46%	4.01%
Muro-3	75	75	0.00%	217.52	-7.48	219.76	-5.24	1.02%	42.75%
Viga-5	1.92	1.38	39.13%	5.76	-5.76	4.14	-4.14	39.13%	39.13%
Viga-6	1.36	1.75	22.29%	4.08	-4.08	5.24	-5.24	22.14%	22.14%

Tabla 16.2. Resultados de variación entre fuerzas de corte y momentos flectores entre los modelos 1 y 2.

ELEMENTO	V.CHATA	V.PERALTADA	Variación	V.CHATA		V.PERALTADA		Variación, inicio	Variación, final
	ETABS2016	ETABS2016		ETABS2016		ETABS2016			
	Cortante (ton)	Cortante (ton)		Momento flector (ton.m)		Momento flector (ton.m)			
Muro-1	125	125	0.00	581.97	206.97	565.91	190.91	16.06	16.06
Muro-3	75	75	0.00	217.52	-7.48	213.62	-11.38	3.90	3.90
Viga-5	1.92	4.13	2.21	5.76	-5.76	12.39	-12.39	6.63	6.63
Viga-6	1.36	2.07	0.71	4.08	-4.08	6.21	-6.21	2.13	2.13

Se puede validar el método de rigideces, es decir, el método de columna ancha sólo para un análisis en un marco plano de muros puesto que la variación es mínima con respecto a los

valores obtenidos con el método de elementos finitos, a su vez se pudo verificar el efecto que genera el aumento en las dimensiones del peralte de la viga. Para el cálculo manual la hipótesis de comportamiento en el plano como cuerpo rígido es importante pues disminuye considerablemente el grado de indeterminación.

En referencia a la diferencia entre los resultados de los desplazamientos en los nudos, la diferencia máxima fue de 17 % y la mínima fue de 6%, mostrados a continuación:

Tabla 16.3 Resultados de variación entre Desplazamientos por nudo por ambos métodos de análisis.

	ETABS2016	MÉT.RIGIDECES	
	Desplazamientos en los nudos	Desplazamientos en los nudos	Diferencia %
Ux1 (cm)	0.475	0.513	7%
Rz1 (rad/cm)	-0.16	-0.143	12%
Rz2 (rad/cm)	-0.16	-0.143	12%
Ux2 (cm)	1.11	1.18	6%
Rz4 (rad/cm)	-0.21	-0.181	16%
Rz5 (rad/cm)	-0.21	-0.181	16%

Tabla 16.4 Resultados de variación entre Desplazamientos por nudo entre el modelo con viga chata y el modelo con viga peraltada

	V.CHATA	V.PERALTADA	
	Desplazamientos	Desplazamientos en	Diferencia
Ux1 (cm)	0.475	0.464	0.011
Rz1 (rad/cm)	-0.16	-0.156	0.004
Rz2 (rad/cm)	-0.16	-0.156	0.004
Ux2 (cm)	1.11	1.08	0.030
Rz4 (rad/cm)	-0.21	-0.20	0.010
Rz5 (rad/cm)	-0.21	-0.20	0.010

Una opción viable que se puede dejar como alternativa de mejora u optimización es utilizar elementos estructurales como disipadores, que reemplacen el comportamiento de las vigas en los muros acoplados y reduzcan solicitaciones sísmicas de esfuerzos cortantes en los

propios muros y desplazamientos por nivel. Se concluye finalmente que se puede validar el método de las rigideces para poder utilizar estos resultados al menos como una forma de base para iniciar un pre dimensionamiento inicial estructural.

17 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuras investigaciones se realice un análisis dinámico y ver el efecto que este podría causar en los resultados.
- Se puede usar el parámetro kaH para investigar el comportamiento de los muros de acoplamiento de forma que se pueda obtener datos rápidos del grado de acoplamiento que se está obteniendo mediante la ecuación propuesta por Stafford-Smith y Coull.
- Se podría utilizar estos valores como forma de un pre dimensionamiento previo al diseño.

18 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ghail, A., y Neville, A.M.(2004) **“Análisis Estructural un enfoque unificado convencional y matricial”**, (Cuarta Edición).
- Harries, K. A., Moulton J. D., y Clemson R.L.(2004) **Parametric Study of Coupled Wall Behavior—Implications for the Design of Coupling Beams.**
- Santos Guzmán, H.D.A.(2018) **Estudio Numérico De La Respuesta De Sistemas De Muros De Hormigón Armado Acoplados Y Diseño Experimental Para Su Validación-Chile.**
- Norma Técnica de edificación E. 070, **Albañilería**, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 48 SENCICO, Lima, Perú, 2009.

- Tena, A. (2007) **“Análisis de estructuras con métodos matriciales”**, (1era Edición).
Editorial: Limusa-México.
- San Bartolomé, Á. (2005) **“COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA INFORME FINAL (Capítulos 1 a 10)”**.
- Briceño, A.P., Carreras, N.H., **“Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011”**- Chile.
- Palmieri, A., Noguera, L.H., Salvadeo, V., (2014) **“DISEÑO SISMICO POR CAPACIDAD PARA EDIFICIOS DE VARIOS NIVELES. ROTULAS PLASTICAS Y SU CONCEPTO EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL”**-Argentina.