

# MÉTODO SIMPLIFICADO PARA MODELACIÓN DE EDIFICIOS EN MEDIA ALTURA TIPO MARCO-PLATAFORMA DE MADERA UTILIZANDO UN PROGRAMA COMPUTACIONAL DE ELEMENTOS FINITOS

## SIMPLIFIED METHOD TO MODELING TIMBER MID-RISE BUILDINGS PLATFORM FRAME SYSTEM USING A FINITE ELEMENTS PROGRAM

Vargas, Jorge <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Ingeniero Civil Estructural. Santiago, Chile

### Resumen

El presente estudio consiste en la elaboración de una metodología simplificada de modelación computacional para el diseño sísmico de edificios en media altura compuestos de muros de corte de madera utilizando el sistema marco-plataforma, aplicando factores de modificación de las rigideces que actúan en el plano del muro de corte. Para ello, se considera un análisis lineal que cumple con las formulaciones presentadas por Euler-Bernoulli y la teoría de vigas de Timoshenko. La aplicación de estos coeficientes de modificación de rigidez a los distintos muros estructurales de corte modelados, permiten disminuir considerablemente los tiempos de proceso computacional al optar por un modelo lineal; en contraste con el modelo no-lineal e iterativo. Posteriormente, a partir de los resultados obtenidos del proceso de formulación y modelación, se crearon tablas de coeficientes de modificación de rigideces para distintas configuraciones de muros de corte respecto al sistema de muro marco-plataforma de madera.

*Palabras-clave: Edificios de madera, Muros de corte, sistema marco-plataforma de madera*

### Abstract

The present study consists of the elaboration of a simplified methodology of computational modeling for the seismic design of middle rise buildings composed of timber shear walls using the platform-frame system, applying factors of modification of the rigidities that act in the plane of the shear walls. To do this, it is considered a linear analysis that complies with the formulations presented by Euler-Bernoulli and Timoshenko's beam theory. The application of these coefficients of modification of rigidity to the different structural shear walls modeled, allow to reduce considerably the computational process times when opting for a linear model; in contrast to the non-linear and iterative model. Subsequently, from the results obtained from the formulation and modeling process, tables of coefficients of modification of rigidities were created for different configurations of shear walls with respect to the timber platform-frame system.

*Keywords: Timber buildings, Shear walls, Platform frame system*

## **1. INTRODUCCIÓN**

El sistema marco-plataforma de madera está dentro de los sistemas constructivos mas utilizados en los países productores de madera, como Canadá y Estados Unidos. Dentro de los atributos de este sistema se encuentran la prefabricación, velocidad de construcción, eficiencia energética y en general su versatilidad ayuda a potenciar soluciones sustentables con el medio ambiente.

Uno de los problemas que deben enfrentar los ingenieros que desarrollan sus proyectos con este sistema constructivo, es saber aplicar correctamente todas las variables que se involucran en un muro de corte tales como; la cantidad de pies derecho, espaciamento de clavos, sistema de anclaje, placas de OSB, etc. Adaptar todas las variables antes mencionadas en un modelo estructural de elementos finitos resulta complejo ya que se deben realizar modelos no-lineales, lo que involucra un mayor gasto de recursos para desarrollar este tipo de proyectos.

Esta investigación apunta a facilitar el desarrollo de proyectos con el sistema marco-plataforma, para ello se presenta una metodología que se adapta a las practicas mas utilizadas de las oficinas de ingeniería para el diseño sísmico en media altura y que a su vez sea confiable para la verificación de las exigencias normativas de la NCh433 [1].

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Encontrar una metodología simplificada para facilitar la modelación computacional de paneles de madera aserrada del tipo sistema marco-plataforma, aplicado principalmente a muros de corte segmentados y muros perforados donde se considere de manera intrínseca las propiedades de los distintos elementos que componen el sistema estructural.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analizar y comprender las hipótesis de verificación y diseño de la norma americana de muros estructurales de corte [2], utilizando el sistema marco-plataforma.
- Proponer una metodología simplificada como análisis racional de ingeniería para la aplicación de un modelo estructural utilizando el programa de elementos finitos ETABS para muros de corte del sistema marco-plataforma.
- Desarrollar ábacos con coeficientes de modificación de rigidez de un elemento finito tipo área para generar un modelo representativo de la estructura.

## **3. MODELACIÓN SIMPLIFICADA UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS TIPO ÁREA**

### **3.1. Metodología de cálculo utilizada**

Para realizar una modelación simplificada, se plantea la utilización de coeficientes de modificación para la rigidez en los elementos tipo área (membrana). Estos coeficientes vienen especificados en cada programa computacional y afectan básicamente a la rigidez en el plano y fuera de este.

La metodología más simple para realizar un modelo simplificado se obtiene de igualar la rigidez lateral total de un muro de entramado ligero entregado por la SDPWS [2]

$$\frac{1}{K_{SDPWS}} = \frac{2h^3}{3EAL^2} + \frac{h}{G_aL} + \frac{h^2}{K_{HD}LL'} \quad (1)$$

Donde:

$K_{HD}$  : Rigidez del anclaje.

$L'$  : Distancia entre el anclaje traccionado y el centroide de los pies derechos de borde.

Con la rigidez lateral total de un muro en voladizo

$$\frac{1}{K} = \frac{h^3}{3EI} + \frac{\alpha h}{GA} \quad (2)$$

Donde  $\alpha$  es el factor de forma de Timoschenko.

Así mismo, se utiliza la rigidez vertical del sistema para obtener una rigidez representativa, obviando el peso proporcionado por el muro tipo Shell.

La rigidez axial de la SDPWS se representa por

$$K_{AXIAL\_SDPWS} = \frac{E'A'}{h} \quad (3)$$

Donde:

$A'$  : Área proporcionada por la totalidad de los pies derechos.

$E'$  : Módulo de elasticidad de los pies derechos.

Y la rigidez axial de un elemento tipo barra se define como

$$K_{AXIAL} = \frac{EA}{h} \quad (4)$$

Dónde:

$A$  : Área de la sección transversal del elemento área.

$E$  : Módulo de elasticidad del modelo computacional.

Luego la obtención de los coeficientes de modificación se realiza igualando las distintas rigideces del muro de corte, es decir, igualando la rigidez vertical y horizontal del sistema SDPWS con la rigidez total de un muro en voladizo. Para ello, se definen tres coeficientes a obtener:

$\lambda$ : Coeficiente de modificación que se aplica a la rigidez en dirección x e y del elemento tipo área que en el programa computacional se aplica en f11 y f22.

$\Psi$ : Coeficiente de modificación que se aplica a la rigidez por cortante del elemento tipo área que en el programa computacional se aplica en f12.

$\rho$ : Coeficiente de modificación que se aplica a la masa y peso del elemento tipo área.

Para la obtención del coeficiente de rigidez  $\lambda$ , se igualan las rigideces producto de la carga axial, incorporando el factor  $\lambda$  en la ecuación que representa la rigidez axial de un elemento tipo barra

$$K_V = \frac{E'A'}{h} = \lambda \frac{EA}{h} \quad (5)$$

$\lambda$  representa la razón entre el producto del módulo de elasticidad con el área de los pies derechos del muro de entramado ligero, y el producto del módulo de elasticidad por el área transversal del elemento tipo área. Este es el coeficiente más simple de obtener, ya que sólo basta con igualar la deflexión axial de ambos sistemas.

Para la obtención del coeficiente de rigidez  $\Psi$ , se iguala la rigidez lateral del sistema SDPWS con la rigidez total para una barra en voladizo. Los factores de modificación  $\lambda$  y  $\Psi$  actúan en la rigidez por flexión y corte, respectivamente.

$$\frac{1}{K_{SDPWS}} = \frac{h^3}{\lambda 3EI} + \frac{\alpha h}{\Psi GA} \quad (1)$$

Considerando que el módulo de corte se puede escribir respecto al módulo de elasticidad y el factor de Timoshenko igualarlo a uno, la ecuación anterior se puede escribir como sigue

$$\frac{1}{K_{SDPWS}} = \frac{h^3}{\lambda 3EI} + \frac{2h(1+\nu)}{\Psi EA} \quad (2)$$

Luego, al desarrollar la ecuación anterior, se denomina  $K_{SDPWS}$  como  $K_H$  y se despeja el coeficiente  $\Psi$ , obteniéndose la siguiente ecuación

$$\Psi = \frac{6hIK_H\lambda(1+\nu)}{A(3EI\lambda - h^3K_H)} \quad (3)$$

Reemplazando  $\lambda$  la ecuación se escribe como sigue

$$\Psi = \frac{6hIK_H \frac{K_v h}{EA} (1+\nu)}{A \left( 3EI \frac{K_v h}{EA} - h^3 K_H \right)} \quad (4)$$

Se puede simplificar la ecuación anterior tanto en términos del módulo de elasticidad, como en términos del módulo de corte considerando lo siguiente

$$\eta = \frac{K_v}{K_H} \quad (5)$$

$$A = Lb \quad (6)$$

$$\xi = \frac{L}{h} \quad (7)$$

$$\psi = \frac{\xi}{b(\eta\xi^2 - 4)} \frac{2K_V(1 + \nu)}{E} \quad (8)$$

Resulta

$$\psi = \frac{\xi}{b(\eta\xi^2 - 4)} \frac{K_V}{G} \quad (9)$$

Donde:

$K_V$  : Rigidez axial del muro marco-plataforma.

$K_H$  : Rigidez lateral total del muro marco-plataforma.

$E$  : Módulo de elasticidad del elemento tipo área modelado.

$G$  : Módulo de corte del elemento tipo área modelado.

Finalmente como la sección transversal es una sección que posee vacíos entre pies derechos, es necesario realizar un ajuste entre el peso del muro y el peso de la sección de modelación. El factor  $\rho$  de peso y masa sísmica se obtiene de la razón entre el peso del muro de entramado ligero y el peso del muro modelado mediante elementos finitos

$$\rho = \frac{A_{TPD}Y_{PR} + nA_{osb}Y_{osb}}{AY_{PR}} \quad (10)$$

Donde:

$A_{TD}$  : Área total de los pies derechos en el muro.

$Y_{PR}$  : Peso específico pino radiata considerado.

$n$  : Número de placas de OSB.

$A_{osb}$  : Área de placas de OSB.

$Y_{osb}$  : Peso específico placas OSB.

Este método permite generar una base de datos con distintos coeficientes de rigidez de distintas configuraciones de muros de entramado ligero para luego ser aplicado fácilmente en el software de elementos finitos.

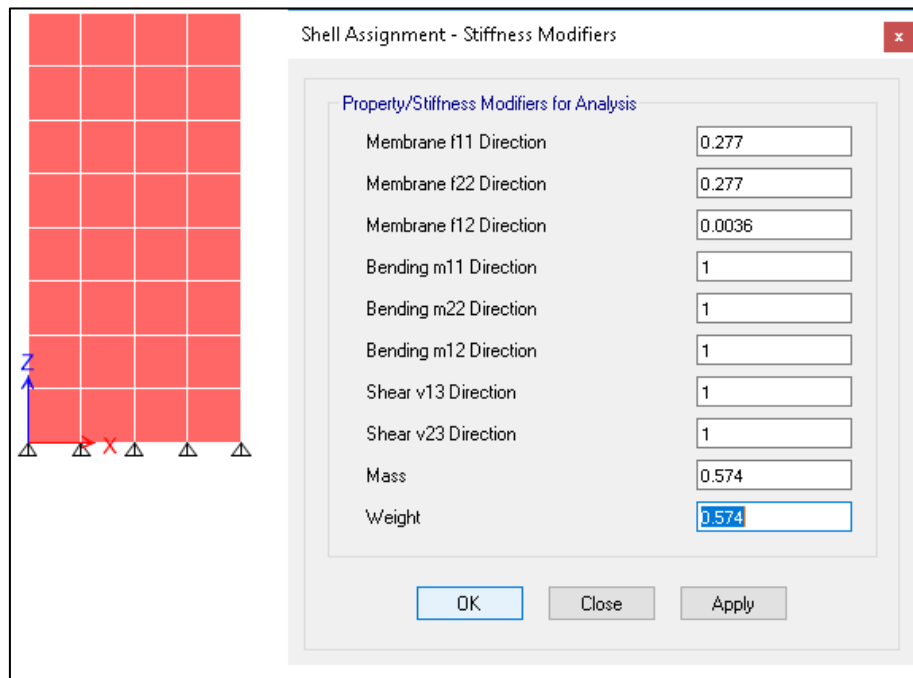


Figura 1: Ejemplo de aplicación del método de los coeficientes a un modelo de elementos finitos con el software Etabs

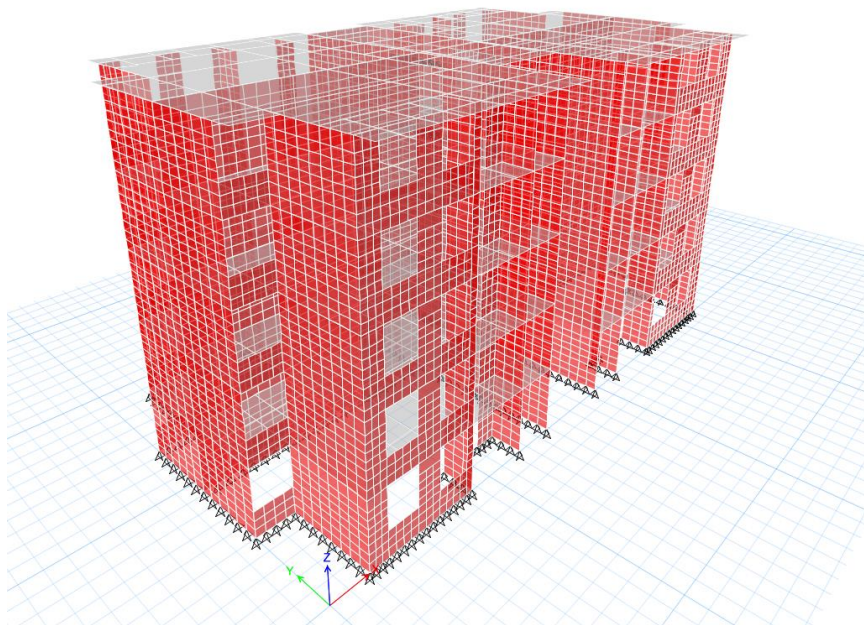


Figura 2: Modelo de edificio en media altura con elementos finitos utilizando software Etabs

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que, si la razón entre la altura y la longitud del muro aumenta, la rigidez a flexión controla el diseño en base a condiciones de servicio. Por otro lado, si dicha razón decrece, la rigidez por cortante es fundamental para controlar los límites de deformaciones indicadas en la norma de diseño sísmico NCh433.

De igual manera, se pudo observar que la magnitud de la rigidez de los elementos finitos disminuye a medida que se aumenta el mallado del elemento modelado. Para representar la rigidez teórica indicada por el código SDPWS, se deben aplicar factores de corrección a los coeficientes de modificación de las propiedades brutas del elemento área, siendo este factor de 1.04 aproximadamente, y aplicado a la rigidez lateral por cortante.

Asimismo, del estudio realizado se puede apreciar que sólo es necesario modificar las propiedades del elemento modelado aplicando sólo tres factores de modificación de las rigideces a un elemento del tipo membrana; estas afectan básicamente a la rigidez axial, la rigidez a cortante y al peso asociado a cada uno de los elementos modelados.

Este trabajo significa un aporte para la modelación computacional, ya que reduce significativamente el proceso de diseño y verificación de muros de corte. Esto se logra debido a que no se incursiona en modelos no lineales, modificaciones complejas de cada elemento, cálculos de propiedades de los elementos e iteraciones de verificación de cada uno de los elementos que componen el sistema marco-plataforma.

El procedimiento descrito en este estudio permitirá a los profesionales de las oficinas de ingeniería estructural desarrollar de manera práctica proyectos con el sistema marco-plataforma de madera. Esto marca un hito en el desarrollo de este tipo de proyectos, debido a que es una herramienta que facilitará el análisis y desarrollo de las edificaciones con este sistema constructivo.

#### REFERENCIAS

- NCh433. (1996 mod 2009). Instituto Nacional de Normalización. Diseño Sísmico de Edificios.
- American Wood Council. (2015). Special Design Provisions for Wind and Seismic. SDPWS.
- Cárcamo, S. I. (Julio de 2017). Modelo de muros marco plataforma para un programa de elementos finitos mediante elementos área. Universidad Técnica Federico Santa María, Obras Civiles, Valparaíso.
- Lebedev, L. P., & Cloud, M. J. (2009). Introduction to Mathematical Elasticity. New Jersey, United States: World Scientific.