

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Implicaciones del Análisis Aproximado de Marcos
Rectangulares de Edificios**

Guido Jonathan Perugachi Gualapuro
Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 03 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Implicaciones del Análisis Aproximado de Marcos Rectangulares de
Edificios**

Guido Jonathan Perugachi Gualapuro

Nombre del profesor, Título académico

Miguel Andrés Guerra, PhD

Quito, 03 de mayo de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Guido Jonathan Perugachi Gualapuro

Código: 00122813

Cédula de identidad: 1003581780

Lugar y fecha: Quito, 03 de mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El Análisis Estructural es trascendental en la carrera de Ingeniería Civil aportando con las bases fundamentales en el área de la Ingeniería Estructural. Para adquirir un conocimiento adecuado de los métodos de análisis, es necesario estar interesado tanto en el aprendizaje como en la enseñanza de este, puesto que los métodos se los debe realizar minuciosamente puesto que cada ejercicio se presenta con características y comportamiento de las estructuras bajo cargas distintos, pero con el correcto entendimiento de cada método es posible aplicar cada uno de ellos, en cualquier caso. El proceso de aprendizaje de estos métodos puede ser complejo y, a menudo, no se enseñan en el plan de estudios. Su enseñanza es abstracta. Por esa razón, nuestro objetivo es desarrollar un módulo pedagógico para comprender los métodos de análisis aproximados.

Palabras clave: Análisis Estructural, métodos de análisis, comportamiento de las estructuras, plan de estudios, enseñanza abstracta, módulo pedagógico, análisis aproximados.

ABSTRACT

The Structural Analysis is transcendental in the career of Civil Engineering contributing with the fundamental bases in the area of the Structural Engineering. In order to acquire an adequate knowledge of methods of analysis, it is necessary to be interested in both learning and teaching, since the methods must be carried out carefully since each exercise is presented with characteristics and behavior of the structures under different loads, but with the correct understanding of each method it is possible to apply each of them in any case. The learning process of these methods can be complex and often not taught in the curriculum. Their teaching is abstract. For this reason, our goal is to develop a pedagogical module to understand approximate methods of analysis.

Key words: *Structural Analysis, methods of analysis, behavior of structures, curriculum, abstract teaching, pedagogical module, approximate analysis.*

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1 Descripción | 9 |
| 1.2 Justificación | 12 |
| Objetivos | 13 |
| 1.1.1 <i>Objetivo general</i> | 13 |
| 1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> | 13 |
| DESARROLLO DEL TEMA | 13 |
| 2.1 Simetría y Antisimetría..... | 13 |
| 2.1.1 Simetría | 14 |
| 2.1.2 Antisimetría | 14 |
| 2.2 Métodos aproximados | 15 |
| 2.2.1 Suposiciones para el análisis aproximado | 15 |
| 2.3 Análisis de cargas laterales-Método del portal | 17 |
| 2.4 Análisis de cargas laterales-Método del cantiliver | 19 |
| 2.5 Método de Muto | 20 |
| 2.6 Método de Ozawa..... | 23 |
| RESULTADOS | 27 |
| Suposiciones de la ubicación de los puntos de inflexión en un pórtico | 27 |
| Ejemplo | 27 |
| Análisis de cargas verticales..... | 30 |
| Ejemplo 1 | 30 |
| Ejemplo 2 | 34 |
| Método del Portal | 36 |
| Ejemplo 1 | 36 |
| Ejemplo 2 | 40 |
| Análisis de cargas laterales-Método del cantiliver | 42 |
| CONCLUSIONES | 51 |
| RECOMENDACIONES | 52 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

INDICE DE ILUSTRACIONES Y FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Desplazamiento relativo..... | 22 |
| Figura 2 Tipos de pórticos | 23 |
| | |
| Ilustración 1 Pórtico indeterminado | 27 |
| Ilustración 2 Pórtico Deformado | 27 |
| Ilustración 3 Pórtico determinado simplificado | 29 |
| Ilustración 4 Diagrama aproximado del momento flexionante | 30 |
| Ilustración 5 Pórtico sujeto a cargas distribuidas verticales | 30 |
| Ilustración 6 Diagrama de corte y momento vano DE | 32 |
| Ilustración 7 Diagrama de corte y momento vano EF | 33 |
| Ilustración 8 Pórtico sujeto a cargas verticales | 34 |
| Ilustración 9 Pórtico sujeto a cargas verticales | 36 |
| Ilustración 10 Pórtico sujeto a carga lateral..... | 37 |
| Ilustración 11 Pórtico simplificado | 37 |
| Ilustración 12 Pórtico resuelto | 38 |
| Ilustración 13 Diagrama de cuerpo libre con resultados | 39 |
| Ilustración 14 Pórtico de dos pisos..... | 40 |
| Ilustración 15 Reacciones del segundo piso..... | 40 |
| Ilustración 16 Reacciones de primer y segundo piso | 41 |
| Ilustración 17 Pórtico en equilibrio | 42 |
| Ilustración 18 Pórtico de tres pisos | 43 |
| Ilustración 19 Pórtico piso tres..... | 43 |
| Ilustración 20 Pórtico piso dos y piso tres..... | 44 |
| Ilustración 21 Pórtico tres pisos | 45 |
| Ilustración 22 Pórtico resuelto | 46 |
| Ilustración 23 Pórtico para análisis | 47 |
| Ilustración 24 Pórtico resuelto - Método del Portal | 47 |
| Ilustración 25 Pórtico resuelto - Método de Cantiliver..... | 48 |
| Ilustración 26 Comparación de resultados..... | 48 |
| Ilustración 27 Pórtico resuelto con elementos finitos | 49 |
| Ilustración 28 Momentos flexionantes del portico | 49 |
| | |
| Tabla 1 Comparación de los resultados obtenidos por el método del portal y cantiliver vs elementos finitos..... | 50 |

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción

Para fortalecer y mejorar las heurísticas de la toma de decisiones de los estudiantes de ingeniería civil y carreras afines (Barner et al., 2021), así como la toma de decisiones de los profesionales del sector relacionado con el desarrollo de infraestructura (Guerra & Abebe, 2018). Para esto se desarrollarán módulos pedagógicos y se sistematizarán métodos aproximados para pre-diseñar edificios de pórticos rectangulares y compararlos con edificios reales de la ciudad de Quito. Particularmente, este proyecto se enfoca en el primer paso de sintetizar la teoría y aplicación, con ejemplos, de varios métodos aproximados para pre-diseñar edificios de pórticos rectangulares.

El cálculo estructural ha ido evolucionando durante décadas, el cálculo se realizaba mediante el uso de diversos métodos que implementan un análisis matemático y mecánico que fueron validados por aproximaciones formulados por investigadores de la época en curso que creaban conceptos según progresaban con su investigación, estos métodos fueron aplicados en estructuras de baja altura (Zúñiga & Nicolás, 2018). Problemas de gran complejidad no lograron ser resueltos por estos métodos por lo tanto fue indispensable el uso de software especializado en los cálculos puesto que obtiene soluciones en una pequeña fracción de tiempo de manera que se vuelve mucho más eficaz (Amateco Reyes, 2013), con el paso del tiempo el software fue mejorando considerablemente hasta lograr programas competitivos en la industria de las infraestructuras, estos programas emulan distintas situaciones que pueden sufrir las estructuras (Marín-Idárraga & Cuartas-Marín, 2014) Actualmente existen muchos

programas, pero los más utilizados en instituciones con el fin de promover el aprendizaje de las estructuras son: SAP2000 y ETABS.

En Latinoamérica las estructuras no fueron construidas con normativas o cálculos estructurales, por lo tanto, fue necesario la implementación de técnicas y nuevas propuestas para las construcciones y en 1912 aparecieron las primeras normativas para los constructores (Gómez, s. f.). Con las normativas vigentes combinado con el uso de computadoras para el cálculo estructural se obtuvieron cálculos mucho más exactos logrando construir estructuras mucho más altas y con mayor eficiencia en el uso de materiales mucho más livianos y económicos puesto que ya se conocía el comportamiento de las estructuras bajo ciertas cargas.

Las computadoras nos ofrecen resultados inmediatos ante cualquier problema dado, pero es necesario tener en cuenta que si bien estos programas pueden hacer un análisis estructural correcto pueden tener errores por lo tanto, es muy importante contar con un criterio ingenieril para la verificación de las respuestas obtenidas, el esencial tener un conocimiento amplio del software que se utilizará, no todos son programados de la misma manera, existen configuraciones propias del software de modo que realizamos un mismo análisis con el proceso habitual en programas distintos, estos resultados varían. Estos errores no suelen ser detectados por falta de conocimiento y experiencia del ingeniero y por no conocer la magnitud de los resultados (Luna Ribadeneira & Muñoz Navas, 2013).

Para evitar los resultados incorrectos es necesario comprender los conceptos básicos del análisis estructural, comprender que existen métodos manuales que nos permiten un análisis rápido y sencillo, generando un prospecto de los resultados esperados, por ello son importantes para compararlos con los resultados obtenidos de las

computadoras, puesto que el análisis estructural es una de las primeras etapas a seguir para la construcción de estructuras. Para la verificación de los resultados se toma en cuenta cada ventaja y desventaja que presentan los métodos, no es posible resolver una gran cantidad de ecuaciones a mano esto no resulta factible, por lo tanto, se debe comprender el tipo de estructuras que son resolubles con los métodos manuales.

Este proyecto conecta los conocimientos adquiridos en la educación con situaciones reales de la industria (Guerra & Shealy, 2018), así como entender diferentes aspectos culturales que se dan en el proceso de desarrollo de infraestructura (Guerra et al., 2020). además de la mejor comprensión del tipo de estructura, de las propiedades físico-mecánicas de los materiales, la investigación de los tipos de cargas y el pre-dimensionamiento para las edificaciones, estos datos iniciales son factores esenciales para el desarrollo de cualquier tipo de edificación, es la base de la Ingeniería Civil, puesto que en ámbito de la industria se maneja a la perfección estos conocimientos por lo tanto, es importante comprender la teoría para no tener problemas, incluso en épocas de virtualidad (Guerra & Gopaul, 2021), en el campo laboral.

El proceso de toma de decisiones en Ing. Civil es complejo y existen procesos específicos para mejorarlo e implementarlo, y este proyecto contribuye a este proceso en aplicar la preconcepción basada en la experiencia para la toma de decisiones que nos permiten resolver problemas, esta experiencia se obtiene a partir de la experimentación e investigación científica (Balmaceda Castro et al., 2020), se plantea aplicar la heurística en los distintos métodos aproximados que se presentarán en el escrito que servirá como apoyo en la identificación de los problemas y el planteamiento de los ejercicios que se presentan como parte de una muestra didáctica del proyecto y que sea de fácil comprensión para los lectores. La heurística se convierte en un método ideal

para encontrar y proponer soluciones a los problemas desde el panorama del Análisis Estructural. El proceso de toma de decisiones en la Ingeniería Civil es complejo, pero con una mejor percepción del panorama mejora la toma de decisiones implementando procesos específicos en estructuras reales, además es posible mejorar los procesos ya existentes.

Este proyecto contribuye al diseño pensando en ser humano (Guerra & Tripp, 2018), no es necesario contar con un software especializado para la resolución de los problemas, se obtienen estructuras mucho más eficaces cuando el diseño es adecuado, una vez que se conocen los valores numéricos de las cargas, la ubicación de los elementos y estos se los ensambla en un modelo de toda la estructura se procede al Análisis Estructural. Este proyecto motiva a los lectores a mejorar el desarrollo de la clase de Análisis Estructural con el fin de facilitar la aplicación de los conocimientos en estructuras reales sin generar riesgos.

1.2 Justificación

En la actualidad para cualquier proyecto se utilizan diversos programas de cálculo estructural facilitando de gran manera el proceso de modelaje y diseño de la estructura, con la experiencia y el adecuado uso de los conocimientos de la teoría del análisis estructural es posible aplicar los métodos aproximados a una estructura, logrando tener una magnitud de los resultados y comparar estos con los obtenidos con el software. Los marcos rectangulares de los edificios son elementos que permiten un análisis rápido con los métodos manuales que también permite la comparación de los resultados obtenidos tanto manual como en software.

Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Desarrollar un módulo del Análisis Estructural para el estudio de los métodos aproximados de edificios rectangulares aplicando la heurística para mejorar la toma de decisiones de los estudiantes de Ingeniería Civil o cualquier carrera relacionada a la construcción.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comprender la teoría del análisis de los marcos rectangulares en edificios y aplicarlos en ejemplos prácticos.
- Investigar los principales métodos aproximados que se imparten en clases a los estudiantes de Análisis Estructural, para mejorar las técnicas de enseñanza y garantizar el correcto entendimiento de la materia.
- Analizar el comportamiento de los edificios rectangulares propuestos recopilando toda la información de cada método.
- Desarrollar paso a paso cada problema sustentando los resultados obtenidos.

DESARROLLO DEL TEMA

2.1 Simetría y Antisimetría

Es un método que nos permite calcular la mitad de una estructura sin importar las cargas que se encuentren sobre esta, con el objetivo de facilitar los cálculos en estructuras que son linealmente elásticas, de manera que al obtener los resultados de una mitad de la estructura la otra mitad a partir del eje tendrá los mismos resultados. Para desarrollar este concepto se debe tener en cuenta algunos factores, los detalles de la aplicación del método se los presentará a lo largo del documento.

2.1.1 Simetría

Se considera a un elemento simétrico con respecto a un eje de simetría cuando el elemento sobre ese eje es idéntico en geometría, apoyos, materiales propios de la estructura, además las cargas deben tener el mismo módulo y sentido que la otra mitad desde el eje de simetría. (Kassimali, 2013). Al rotar una estructura 180° alrededor del eje se puede obtener la simetría

En el sistema de cargas simétrico las cargas actúan simétricas con el mismo modulo dirección y sentido.

2.1.2 Antisimetría

En el Sistema de cargas antisimétricas en una estructura simétrica no debe tener desplazamientos verticales sobre el eje de simetría, partiendo de este principio es posible obtener una semiestructura y resolverla. Es decir que las cargas antisimétricas tienen el mismo modulo y dirección, pero con distinto sentido (Pérez, s. f.).

Tanto las estructuras sometidas a la simetría como los de antisimetría se los resuelve por el principio de superposición que nos propone las siguientes hipótesis para dar uso a este principio:

- La geometría inicial no varía al aplicar cargas en la estructura.
- Al aplicar cargas los elementos tienen comportamiento elástico.

Al cumplir con estas hipótesis, la estructura se puede analizar por separado y finalmente sumar las cargas y deformaciones de cada parte analizada obteniendo un resultado global

2.2 Métodos aproximados

El análisis exacto en estructuras estáticamente indeterminadas suele llevar mucho tiempo en el proceso de cálculo a partir de las ecuaciones obtenidas de cada estructura, además depende de las propiedades que posee el material, por lo tanto, se presentan dificultades. Para disminuir el tiempo de trabajo y obtener valores preliminares se han planteado métodos inexactos capaces de resolver estas estructuras, estos métodos han sido aplicados en las estructuras construidas antes de 1960 y nos pueden servir para comprobar los resultados de los métodos exactos puesto que este método difiere en los resultados alrededor del 20% del método exacto (Kassimali, 2013).

2.2.1 Suposiciones para el análisis aproximado

En las estructuras indeterminadas se cuenta con más incógnitas que con ecuaciones por lo que es necesario contar con el juicio ingenieril para realizar las suposiciones adecuadas para resolver las redundantes con el fin de determinar las fuerzas y reacciones internas de la estructura. cabe recalcar que el número de suposiciones simplificadoras realizadas debe ser igual al número de grado de indeterminación, las suposiciones se resuelven en conjunto con las ecuaciones que se tengan. Se analizarán los dos tipos de suposiciones más utilizadas para el análisis.

- Suposiciones sobre la ubicación de los puntos de inflexión

Tiene en cuenta la deformación de la estructura, este bosquejo de deformación nos permite determinar dónde se encuentran los puntos de inflexión, dado que el momento flexionante en ese punto es cero. En dichos puntos se coloca una articulación interna de

manera que se obtiene una estructura simplificada determinada, cada articulación proporciona una ecuación de condición.

- Suposiciones sobre la distribución de las fuerzas entre elementos y/o reacciones

En este caso se realizan suposiciones de las reacciones de manera que una reacción horizontal puede ser igual a otra por ejemplo $A_x = B_x$, por lo tanto, estas suposiciones se las resuelve en conjunto con las ecuaciones de equilibrio, con esta suposición es posible obtener el mismo resultado que con la suposición anterior (Kassimali, 2013).

2.2.2 Análisis de cargas verticales

Es necesario tener en cuenta que es equivalente a tres veces el número de vigas en un sistema que tiene apoyos empotrados en comparación a un sistema que no tiene apoyos internos.

Aunque para determinar la posición exacta de un punto de inflexión en un marco depende de las rigideces relativas y de un análisis exacto, es posible realizar una estimación de la ubicación a lo largo de la viga examinando las dos condiciones extremas de restricción a rotación en la viga. Para analizar los puntos de inflexión en primer lugar se considera que los dos extremos de la viga se encuentren libres a la rotación, de tal manera que se presentan los puntos de inflexión y en sus extremos es cero. Para el segundo caso es necesario considerar que ambos extremos estén perfectamente empotrados y restringidos a la rotación, partiendo de análisis exactos se considera una longitud de $0.211L$ a partir de cada extremo, en ese lugar se encuentra el punto de inflexión (Kassimali, 2013).

Para el análisis aproximado es común utilizar la mitad entre las dos condiciones extremas de tal manera que el valor es $0.1L$ de cada extremo de la viga.

Se considera como última suposición una carga axial cero, puesto que las cargas presentes son muy pequeñas que es posible despreciarlas.

Se realizan las siguientes suposiciones:

- Los puntos de inflexión se encuentran a un décimo de la luz ($0.1L$) a partir de cada extremo de la viga.
- La carga axial en la viga es cero.

Realizando las suposiciones mencionadas anteriormente se logra una estructura determinada, de manera que las variables que se necesitan calcular se obtienen con las ecuaciones de equilibrio.

2.3 Análisis de cargas laterales-Método del portal

En abril de 1915 se desarrolla el método del portal por Albert Smith en una publicación denominada "the Western Society of Engineers" , en el cual exponía un método aproximado para el análisis de edificios con un máximo de 25 pisos formulando hipótesis a considerar, este método se ha vuelto muy utilizado más que otros métodos para determinar las fuerzas internas producidas por cualquier carga lateral a la que se encuentre sujeta la estructura.

El método del portal fue desarrollado en 1915 por A. Smith es utilizado generalmente para marcos o edificios que no tengan gran altura, previo a considerar el análisis de varios pisos usando el método del portal se examinará un pórtico que tenga apoyos empotrados que esté sometido a cargas laterales (Rivera, s. f.), el grado de indeterminación sigue siendo igual al número de suposiciones que se van necesitar para su análisis también es necesario analizar la deformada del pórtico para tener claros los puntos de inflexión, mediante el siguiente pórtico se hará una breve explicación del mismo para que sea más fácil de comprender.

Las suposiciones que se realizan para las cargas lateral son distintas a las cargas verticales, por lo tanto, se consideran los métodos distintos, como el método del portal.

En el método del portal se consideran estructuras de baja altura, se parte de un bosquejo de la estructura donde se puede observar su deformación, en un portal se ve que los puntos de inflexión se dan en la mitad de los tres elementos, por lo tanto, se asume que para los demás casos dará de la misma manera. Los puntos de inflexión tienen momentos inflexión cero por lo que es necesario colocar articulaciones internas con el fin de obtener un marco estáticamente determinado y con las ecuaciones de equilibrio se resuelve las fuerzas en las articulaciones internas.

Al simplificar los marcos cabe recalcar que estos no son estáticamente determinados, se debe tener en cuenta los grados de indeterminación para cada caso y con ello realizar las suposiciones necesarias para lograr resolverlo.

En los pórticos la distribución de la cortante se distribuye dos veces más en las columnas interiores que en las columnas exteriores, por lo que ya se contaría con una ecuación adicional.

Se tiene en cuenta las siguientes hipótesis:

- El punto de inflexión se localiza a la mitad de cada elemento del marco.
- En cada piso del marco, las columnas interiores toman el doble del cortante que las exteriores.

Procedimiento para el análisis:

1. Dibujar un boceto del marco simplificado colocando articulaciones internas a la mitad de cada elemento del marco.
2. Determinar el cortante en las columnas. Para cada entrepiso del marco.

3. Bosquejar los diagramas de cuerpo libre de todos los elementos.
4. Determinar los momentos en las columnas.
5. Determinar las fuerzas axiales.
6. Determinar las fuerzas axiales en las columnas. Empezando por el piso superior.
7. Verificar los cálculos

2.4 Análisis de cargas laterales-Método del cantiliver

Al igual que el método del portal, este se utiliza para edificios de bajas alturas bajo cargas laterales. En este método se toma en cuenta que en el lado cóncavo de la superficie neutra están en compresión, mientras que el lado convexo está en tensión, se asumen que los esfuerzos axiales a la mitad de la altura de cada columna son linealmente proporcionales a la distancia de la columna del centroide de las áreas de todas las columnas (Kassimali, 2013). En este método también se incluyen las suposiciones de los puntos de inflexión vistos anteriormente.

En el método de cantiliver se toma en cuenta las secciones y el área de los elementos, se divide el centro de cada uno de los claros y cada una de las alturas de las columnas, se busca el centroide de la estructura

Las columnas a la derecha del eje centroidal estarán en compresión, mientras que aquellas del lado izquierdo estarán en tensión y viceversa.

- El punto de inflexión se localiza a la mitad de cada elemento del marco.
- En cada piso del marco, las fuerzas axiales en las columnas son linealmente proporcionales a sus distancias a partir del centro de las áreas de la sección transversal de todas las columnas en dicho piso.

Procedimiento para el análisis:

1. Dibujar un boceto del marco simplificado colocando articulaciones internas a la mitad de cada elemento del marco.
2. Determinar las fuerzas axiales para cada entrepiso de marco.
3. Bosquejar los diagramas de cuerpo libre de todos los elementos.
4. Determinar los cortantes y momentos en las vigas.
5. Determinar los cortantes y momentos en las columnas
6. Determinar las fuerzas axiales en las vigas.
7. Verificar los cálculos.

2.5 Método de Muto

Se lo utiliza para la resolución de pórticos con elementos ortogonales sujetos a cargas laterales, este método contempla deformaciones por flexión, por lo tanto, es importante que las vigas sean axialmente indeformables y de igual manera en todos los nudos se dé un desplazamiento idéntico con respecto a un nivel de referencia. El método muto se usa para resolver pórticos de edificios, en forma aproximada, compuestos por miembros estructurales esbeltos, vigas y columnas con nudos rígidos, estos están sujetos a carga lateral que son producidas por el viento o por sismos (Casal, 1987). Se obtiene resultados más precisos que los calculados por el método del Portal o del Voladizo, se puede usar para el diseño de estructuras de mediana altura, ya que los efectos de la deformación axial son despreciables (San Bartolomé, 1998).

Hay dos factores principales a determinar por este método son la rigidez del piso y la altura del punto de inflexión de la columna, para obtener los momentos flectores en columnas y vigas.

Rigidez Lateral

La rigidez lateral, K , se encuentra a partir de la siguiente fórmula $K = \frac{V}{\Delta}$, en donde V es el esfuerzo de corte del piso que se considera y Δ es el desplazamiento relativo. A continuación, una breve descripción de las diferentes rigideces laterales:

- Rigidez Lateral Absoluta. – es la fuerza cortante (V) capaz de generar un desplazamiento lateral unitario, relativo entre los extremos de la columna.

$$K = D_a = \frac{V}{d} = \left(\frac{12EK_o}{h^2} \right) a k c = D_o (a k c) = D_o D \quad (1)$$

- Rigidez Lateral Estándar. – es aquella que depende de la altura de cada columna, las columnas de un entrepiso tienen la misma altura (San Bartolomé, 1998), por lo tanto, estas tienen el mismo valor D_o .

$$D_o = \frac{12EK_o}{h^2} \quad (2)$$

- Rigidez Lateral Relativa (adimensional). – es aquella donde la altura de los pisos es constante, por ende, la rigidez al corte de una columna que sufre desplazamiento horizontal sin giros en los nudos y se deforma solo por flexión se calcula con la siguiente expresión:

$$D = \frac{K}{D_o} = a k c \quad (3)$$

El coeficiente a , indica el grado de empotramiento que tiene la columna en sus extremos.

Cálculo de Desplazamientos y Cortantes. Columnas en Paralelo

Cuando el desplazamiento relativo es único indica que el conjunto de columnas es paralelo. Esto se observa cuando los edificios están compuestos por losas de piso axialmente rígidas (aliviadas o losas macizas) o también conocidas como diafragmas rígidos.

Pórticos con Mezzanine y Vigas de Entrepiso. Columnas en Serie

Para que dos o más columnas estén ubicadas en serie, deben cumplir una condición. Esta es que la fuerza cortante en ellas sea única, por lo tanto, la fuerza actuante a la altura del nivel que separa a las columnas es nula (San Bartolomé, 1998). Donde el sistema se reduce a una sola columna que equivale al doble de su altura (Toledo & Alberto, 1986).

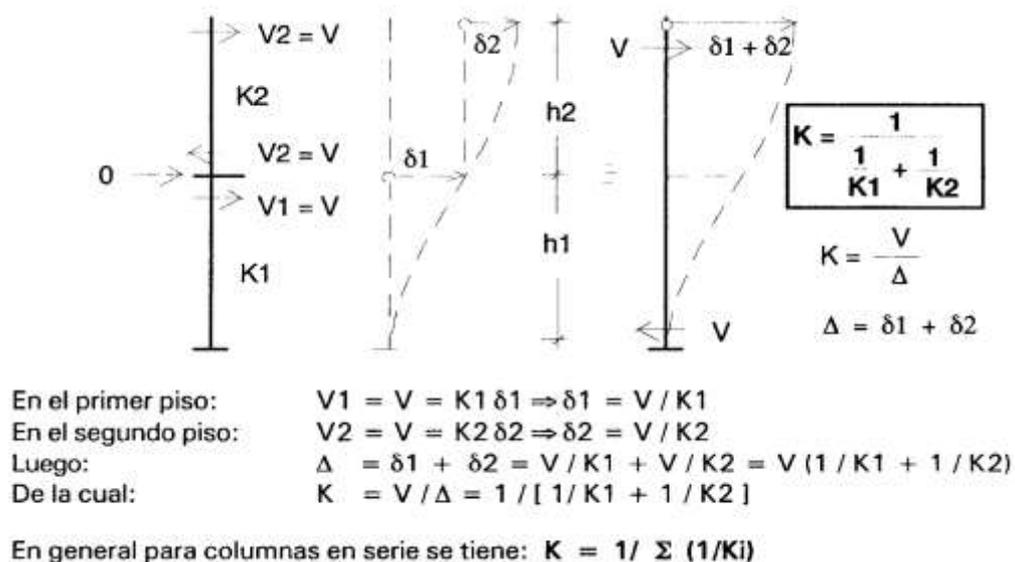


Figura 1 Desplazamiento relativo

Fuente : (Casal, 1987)

Las columnas en serie pueden presentarse en pórtico con mezzanine, es decir, a la altura del mezzanine la masa es pequeña y también la aceleración sísmica, por lo tanto, la fuerza de inercia en ese nivel es despreciable con relación a las existentes en

los niveles superiores (Ramos, s. f.). También pueden presentarse en pórticos con viga intermedia en el entrepiso, este sirve como apoyo del descanso de una escalera, por ende, su masa es pequeña y la fuerza de inercia es nula en ese nivel.

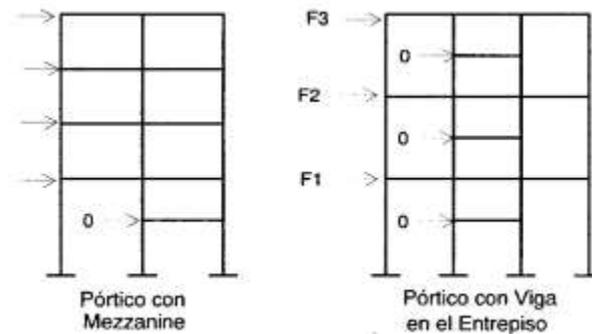


Figura 2 Tipos de pórticos
Fuente : (Casal, 1987)

Determinación de Esfuerzos

Muto proporciona unas Tablas que permiten ubicar la posición del punto de inflexión (PI). Se sigue el siguiente procedimiento:

1. Graficar el DMF en las columnas.
2. Calcular los momentos en las vigas.
3. Determinar la fuerza cortante en las vigas por equilibrio.
4. Evaluar la fuerza axial en las columnas.

2.6 Método de Ozawa

Este método es un proceso manual de cálculo aproximado que se utiliza para resolver pórticos mixtos que están sujetos a carga lateral. Se resuelve el problema de interacción pórtico-placa donde se evita los procesos iterativos, se puede emplear en el análisis sísmico traslacional de estructuras de mediana altura, es decir, menores a 10

pisos, compuestos por una placa y columnas, o por varias placas de igual geometría (San Bartolomé, 1998).

El método de Ozawa considera las deformaciones por flexión y corte en la placa, pero no contempla por deformación axial, por lo tanto, los resultados a obtenerse son muy precisos cuando se aplica en edificios de mediana altura. Hay que tomar en cuenta que se trabaja con las rigideces relativas estandarizadas al material de la placa ($E =$ módulo de elasticidad)(San Bartolomé, 1998).

Si se tiene vigas y columnas de concreto armado (E_c) con un muro armado, es necesario aplicar el criterio de la sección transformada que ya se estudió en cursos anteriores, donde se multiplica el espesor real de las vigas y columnas por la relación E_c/E_a , desde el principio del ejercicio.

Fórmulas que emplea el método

- Constantes en entrepiso

$$X_n = 1 + \frac{\sum D_{cn}}{k_{wn}} + \frac{12EK_o\mathcal{F} \sum D_{cn}}{GA_{wn}hn} \quad (4)$$

$$Z_n = \frac{\sum D_{cn}}{X_n} \quad (5)$$

$$B_n = k_{wn} - 3Z_n \quad (6)$$

$$A_n = k_{wn} + 3Z_n \quad (7)$$

$$C_n = \frac{Q_n hn}{X_n} \quad (8)$$

Las constantes X_n , Z_n , B_n y A_n son adimensionales, mientras que C_n tiene unidades Ton-m.

- Coeficiente de rigidez a flexión de la viga de borde (k_v)

$$k_v = \frac{K}{6EK_o} \quad (9)$$

- Constantes por cada nivel que rote

$$a_n = A_n + A_{n+1} + 6k_v n \quad (10)$$

$$b_n = B_n \quad (11)$$

$$d_n = C_n + C_{n+1} \quad (12)$$

- Ecuación de los 3 giros (ecuación de Ozawa)

$$b_{n+1} \Phi_{n+1} + a_n \Phi_n - b_n \Phi_{n-1} = d_n \quad (13)$$

- Solución de la ecuación de los 3 giros

Se recomienda eliminar los términos que aparecen debajo de la diagonal, aplicando el proceso de sustitución inversa y luego calcular Φ_n .

- Cálculo de la fuerza constante que absorbe la placa (Q_w), el conjunto de columnas (Q_c) y cada columna (V_c).

$$Q_{wn} = \frac{[C_n - 3Z_n(\Phi_{n+1} + \Phi_n)]}{h_n} \quad (14)$$

$$Q_{cn} = Q_n - Q_{wn} \quad (15)$$

$$V_c = \frac{D_c Q_{cn}}{\sum D_c} \quad (16)$$

- Cálculo de momentos en el eje de la placa, columnas y vigas

$$\delta_n = \frac{1}{hn D_{on}} \left[3(\Phi_{n+1} + \Phi_n) + \frac{Q_{wn} hn}{k_{wn}} \right] + \frac{f hn Q_{wn}}{G A_{wn}} \quad (17)$$

$$\delta_n = \frac{Q_{cn}}{D_{on} \sum D_{cn}} \quad (18)$$

Caso en que existen Placas de Diferentes Características

Aplicando el método de Ozawa, se trata de evaluar los desplazamientos laterales del edificio, donde se condensa el conjunto de placas en un solo eje vertical equivalente y al grupo de columnas en otro eje. Después de calcular los desplazamientos laterales de entrepiso (δ), se trabaja con cada una de las placas, y se estima a posición del punto de inflexión (PI) de las vigas coplanares.

Luego se evalúan los momentos de empotramiento en cada entrepiso inducidos por δ y se resuelve el problema por Cross, donde se consideran que los grados de libertad sólo son los giros por flexión (San Bartolomé, 1998).

No hay que olvidar que se debe tomar en cuenta las deformaciones por corte en la placa al calcular los momentos de empotramientos, las rigideces al giro y los factores de transporte.

RESULTADOS

Suposiciones de la ubicación de los puntos de inflexión en un pórtico

Ejemplo

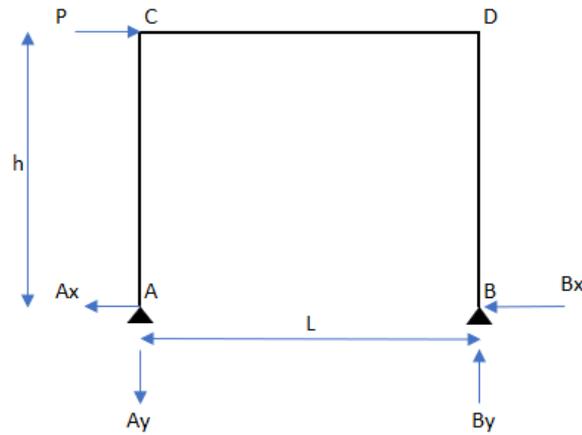


Ilustración 1 Pórtico indeterminado

Elaborado por Guido Perugachi

Se analiza el pórtico deformado con el fin de saber los puntos posibles de inflexión, en estos puntos los diagramas de momento tienen un valor de cero, lo que genera una simplificación del proceso de análisis, al colocar una rótula en los puntos de inflexión se genera una nueva ecuación de condición por cada rótula colocada. Este proceso logra la estabilidad de las reacciones de las fuerzas internas con sus respectivas ecuaciones de equilibrio.

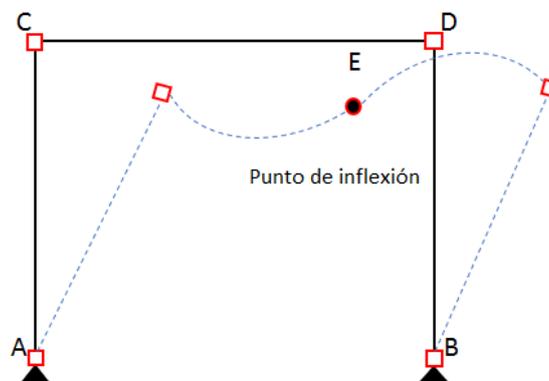


Ilustración 2 Pórtico Deformado

Elaborado por Guido Perugachi

El pórtico mostrado en la Figura 1 se encuentra sujeta a una carga P lateral, sus apoyos son de segundo grado por lo que es necesario colocar rótulas en sus elementos verticales, al analizar el pórtico se deduce que existe un punto de inflexión en el centro de la viga horizontal CD , por lo tanto, es el lugar adecuado para colocar una articulación. Se procede a resolver el pórtico teniendo en cuenta que el momento flexionante en la rótula es equivalente a cero de manera que el pórtico puede ser analizado por partes. En el punto donde se encuentra la rótula se coloca un nombre, en este caso es E , donde se procede a encontrar las incógnitas utilizando las ecuaciones de equilibrio.

Se obtienen las reacciones siguientes:

$$+\curvearrowright \sum M_B = 0$$

$$Ay(L) - P(h) = 0$$

$$Ay = \frac{P(h)}{L}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$-Ay + By = 0$$

$$-\frac{P(h)}{L} + By = 0$$

$$By = \frac{P(h)}{L}$$

$$+\curvearrowleft \sum M_E = 0$$

$$By(L/2) - Bx(h) = 0$$

$$\frac{P(h)}{L} \left(\frac{L}{2} \right) - Bx(h) = 0$$

$$Bx = \frac{P}{2}$$

$$+\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$-Ax - Bx + P = 0$$

$$Ax = P - Bx$$

$$Ax = P - \frac{P}{2} = \frac{P}{2}$$

Una vez que se obtienen todas las reacciones necesarias para la solución del pórtico se coloca en el pórtico para tener un claro panorama de los resultados obtenidos.

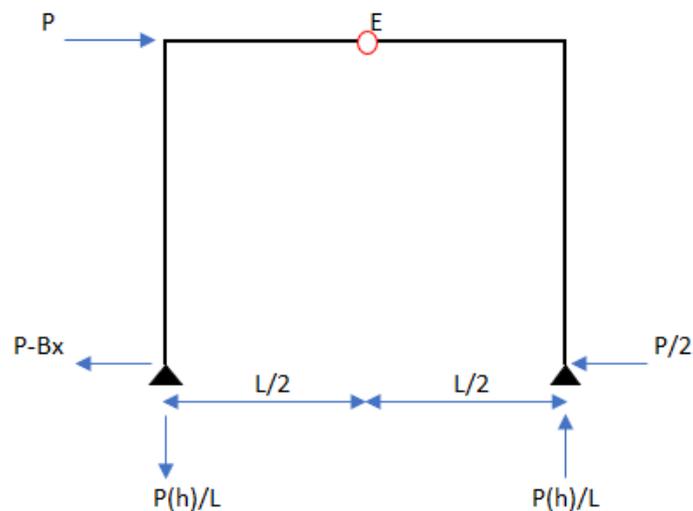


Ilustración 3 Pórtico determinado simplificado

Elaborado por Guido Perugachi

Luego de haber obtenido los resultados se procede a graficar el momento sobre el pórtico para observar el comportamiento de los momentos bajo la carga supuesta.

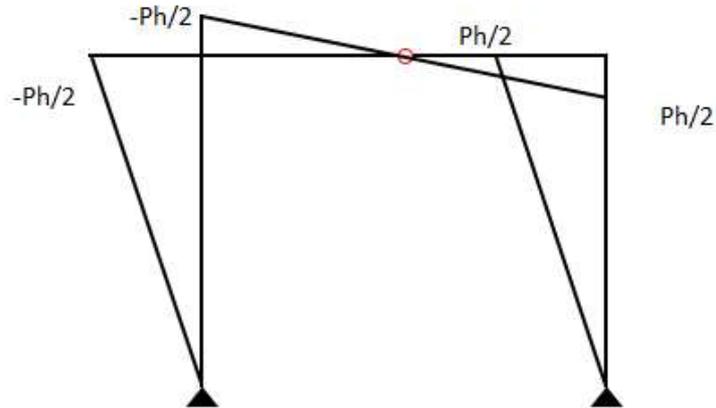


Ilustración 4 Diagrama aproximado del momento flexionante

Elaborado por Guido Perugachi

En la Figura 1 se realizó una suposición por el grado de indeterminación que este tenía, se supuso que las reacciones horizontales en las bases de las columnas eran iguales, por lo tanto, se pudo resolver simultáneamente con las ecuaciones de condición.

Análisis de cargas verticales

Ejemplo 1

En la Figura 5 se observa un pórtico de un piso, de dos vanos y con cargas verticales distribuidas.

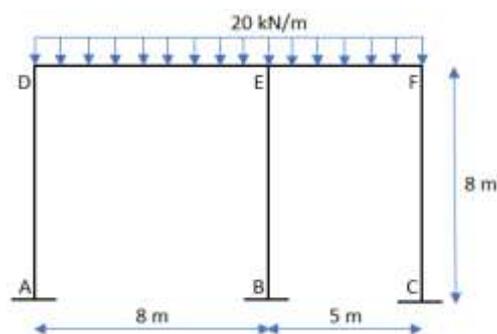


Ilustración 5 Pórtico sujeto a cargas distribuidas verticales

Elaborado por Guido Perugachi

Se asumen rótulas que se encuentran a 0.1 L de la longitud de la viga, que se encuentra entre las columnas D y E, de igual manera se asumen las rótulas para la viga entre las columnas E y F, se aplica el 0.1 L y 0.8 L para cada vano.

0.8 Distancia

$$0.8(8m) = 6.4m \text{ Vano DE}$$

$$0.8(5m) = 4m \text{ Vano BC}$$

Con las longitudes de los vanos obtenidas se procede al análisis estático del pórtico.

$$20 \left(\frac{6.4}{2} \right) = 64 \text{ kN}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$RI - 20(0.8) - 64 \text{ kN} = 0$$

$$RI = 80 \text{ kN}$$

$$+ \curvearrowright \sum M_I = 0$$

$$MI - 20(0.8) \left(\frac{0.8}{2} \right) - 20(0.8) \left(\frac{6.4}{2} \right) = 0$$

$$MI = 57.6 \text{ kN} * m$$

$$\frac{wL^2}{8} = \frac{20 \times (6.4)^2}{8} = 101.4 \text{ kN} * m$$

Con las reacciones y momentos obtenidos del vano DE, se procede a graficar los diagramas de corte y momento.

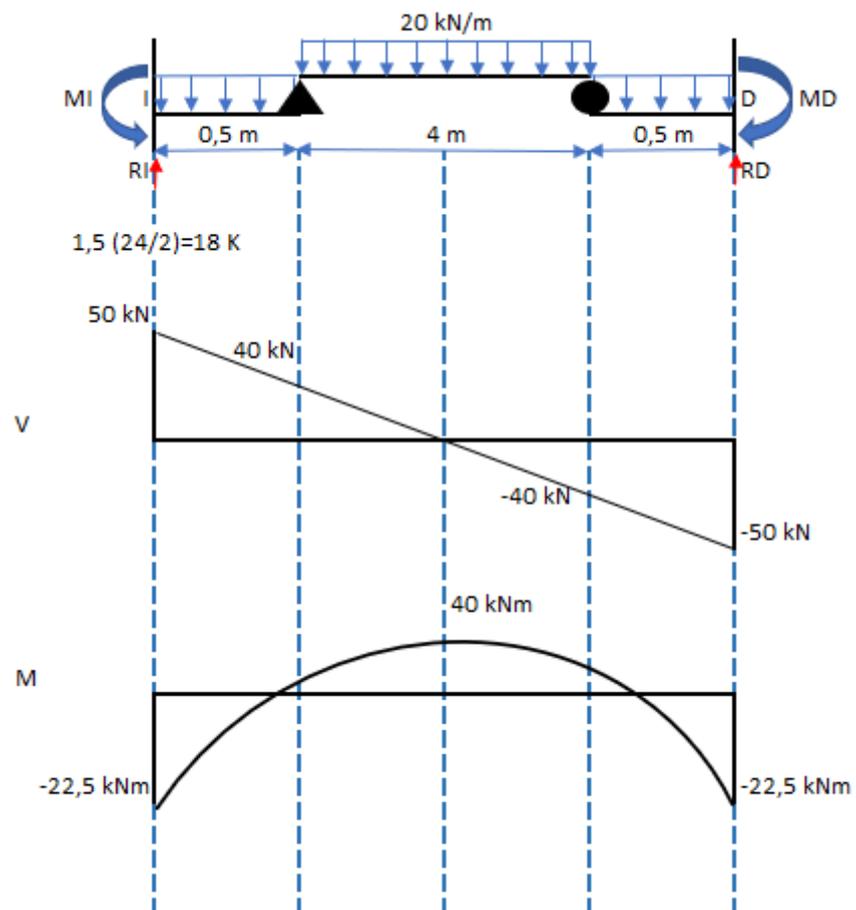


Ilustración 6 Diagrama de corte y momento vano DE

Elaborado por Guido Perugachi

De igual manera se realiza el mismo procedimiento para analizar el vano EF.

$$20x \left(\frac{4}{2} \right) = 40 \text{ kN}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$R_I - 20(0.5) - 20 \left(\frac{4}{2} \right) = 0$$

$$R_I = 50 \text{ kN}$$

$$+ \sum M_I = 0$$

$$MI - 20(0.5) \left(\frac{0.5}{2} \right) - 20(0.5) \left(\frac{4}{2} \right) = 0$$

$$MI = 22.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{wL^2}{8} = \frac{20 \times (4)^2}{8} = 40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Luego de obtener los valores necesarios, se procede a graficar los diagramas de corte y momento del vano EF.

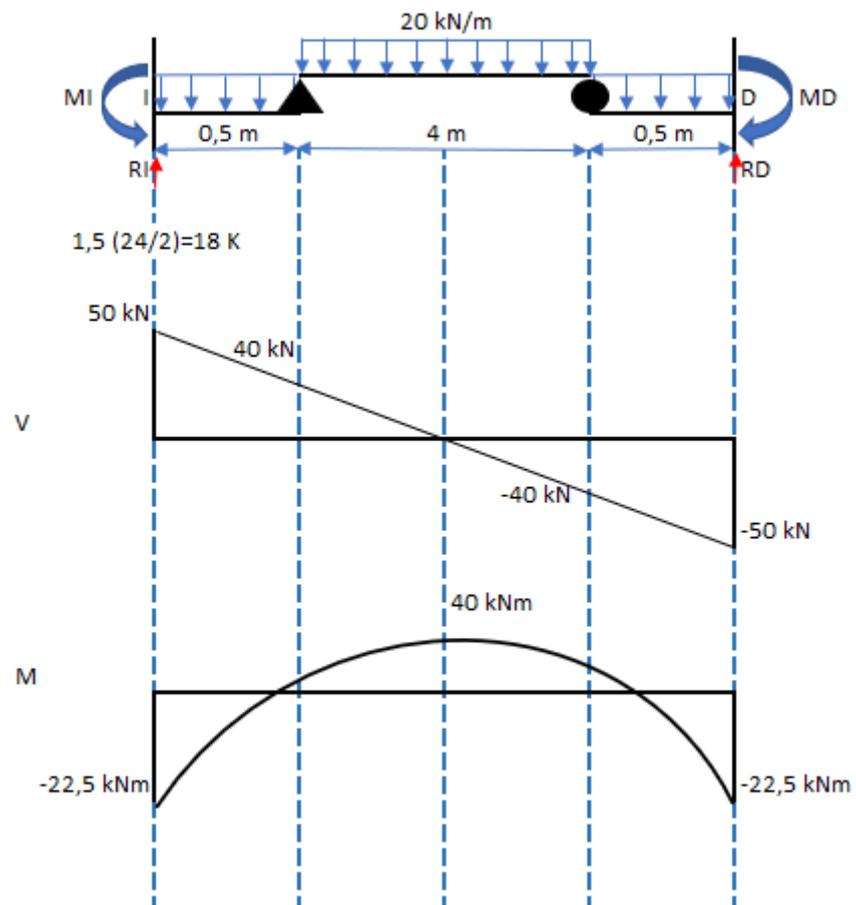


Ilustración 7 Diagrama de corte y momento vano EF

Elaborado por Guido Perugachi

Ejemplo 2

Se analizará un pórtico de dos pisos y se aplicarán las suposiciones anteriormente vistas para resolver el pórtico mostrado, cada elemento horizontal se encuentra sujeto a cargas distribuidas de 1,5 K/ft, se realiza un aproximado de las deformaciones que puede tener la estructura para deducir los puntos de inflexión

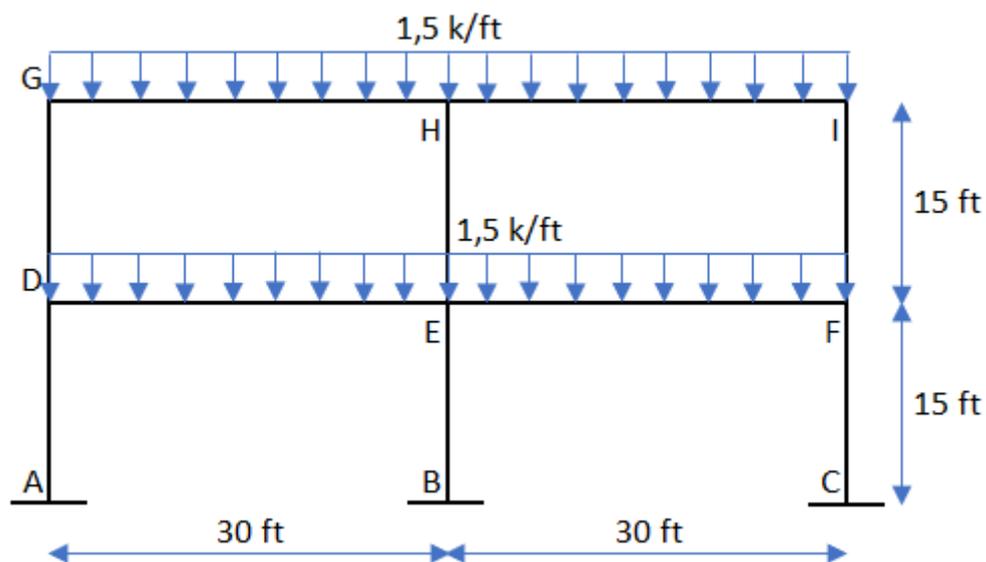


Ilustración 8 Pórtico sujeto a cargas verticales

Elaborado por Guido Perugachi

Los puntos de inflexión del pórtico se encuentran ubicados a un décimo de la longitud (0.1L) a partir de sus extremos, por lo tanto, se lo considera como rótulas entre las columnas, al contar con dos extremos la longitud total será (0.8L), de tal manera para empezar a resolver tenemos lo siguiente:

$$\text{Longitud de viga} = 0.8L = 0.8(30) = 24 \text{ ft}$$

La estructura es isostática y resoluble por medio de la estática, se continúa la resolución aplicando las ecuaciones de equilibrio.

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$RI - 1.5(3) - 18K = 0$$

$$RI = 22.5K$$

$$+ \sum M_I = 0$$

$$MI - 1.5(3)\left(\frac{3}{2}\right) - 18(3) = 0$$

$$MI = 60.75 K * ft$$

$$\frac{wL^2}{8} = \frac{1.5 \times 24^2}{8} = 108 K * ft$$

Una vez obtenidos los valores de las reacciones y los momentos para elemento se procede a realizar los diagramas de cortante y momento.

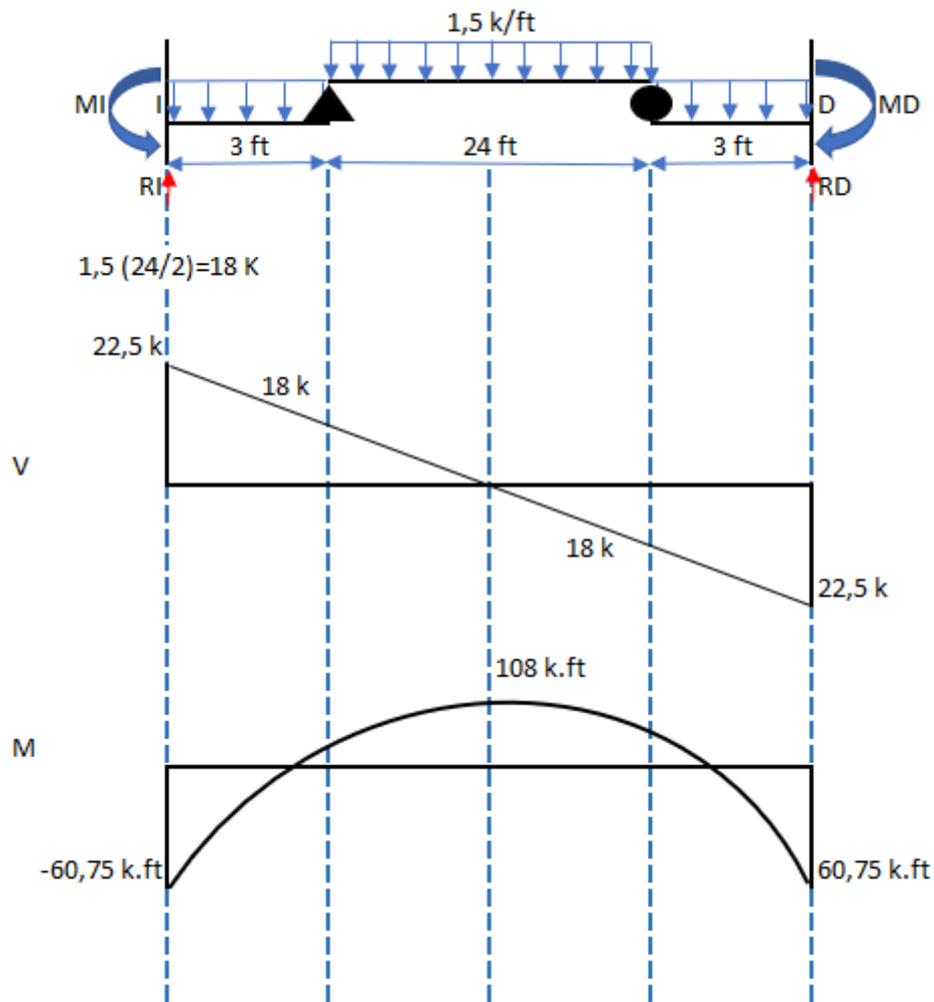


Ilustración 9 Pórtico sujeto a cargas verticales

Elaborado por Guido Perugachi

Método del Portal

Ejemplo 1

Se analiza un pórtico de dos tramos que se encuentra empotrado en sus bases sujeto a carga lateral, para obtener el grado de indeterminación es necesario realizar las suposiciones necesarias para el análisis, es conveniente contar con una idea de la deformada del pórtico con la finalidad de tener claro la ubicación de los puntos de inflexión en los elementos.

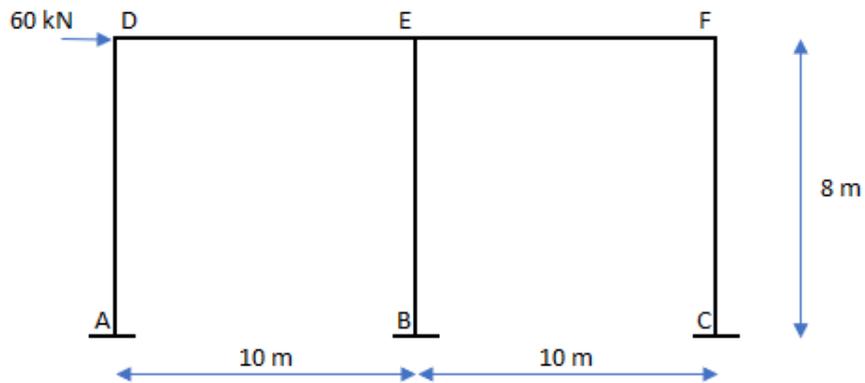


Ilustración 10 Pórtico sujeto a carga lateral

Elaborado por Guido Perugachi

Para el análisis del pórtico se representa la fuerza cortante de cada uno de los nodos con la letra R, de manera que cada nodo posee una R y en el nodo intermedio posee 2R debido a la hipótesis del valor doble de la fuerza en las columnas internas.

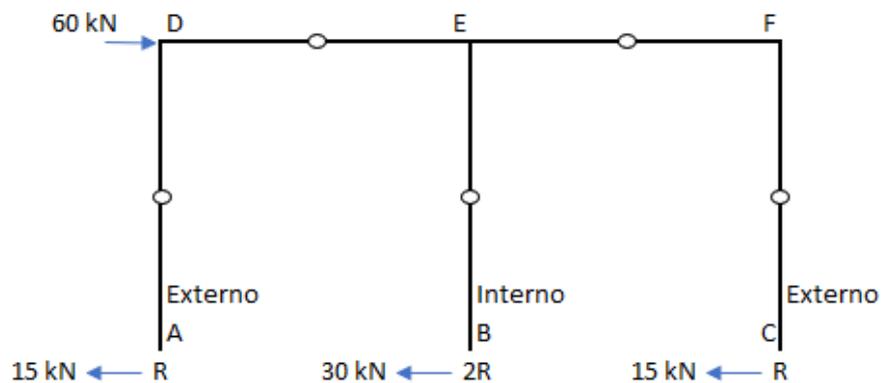


Ilustración 11 Pórtico simplificado

Elaborado por Guido Perugachi

Se realiza el análisis estático del pórtico obteniendo lo siguiente:

$$R_{AD} = R = R_{CF} = 15 \text{ kN}$$

$$R_{BE} = 2R = 30 \text{ kN}$$

$$M_{AD} = M_{DA} = 15 \left(\frac{8}{2} \right) = 60 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BE} = M_{EB} = 30 \left(\frac{8}{2} \right) = 120 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$+\rightarrow \sum F_X = 0$$

$$60 \text{ kN} - R - 2R - R = 0$$

$$60 \text{ kN} - 4R = 0$$

$$R = 15 \text{ kN}$$

Luego de analizar cada elemento por separado se los reúne y se va buscando el equilibrio de todo el conjunto de elementos.

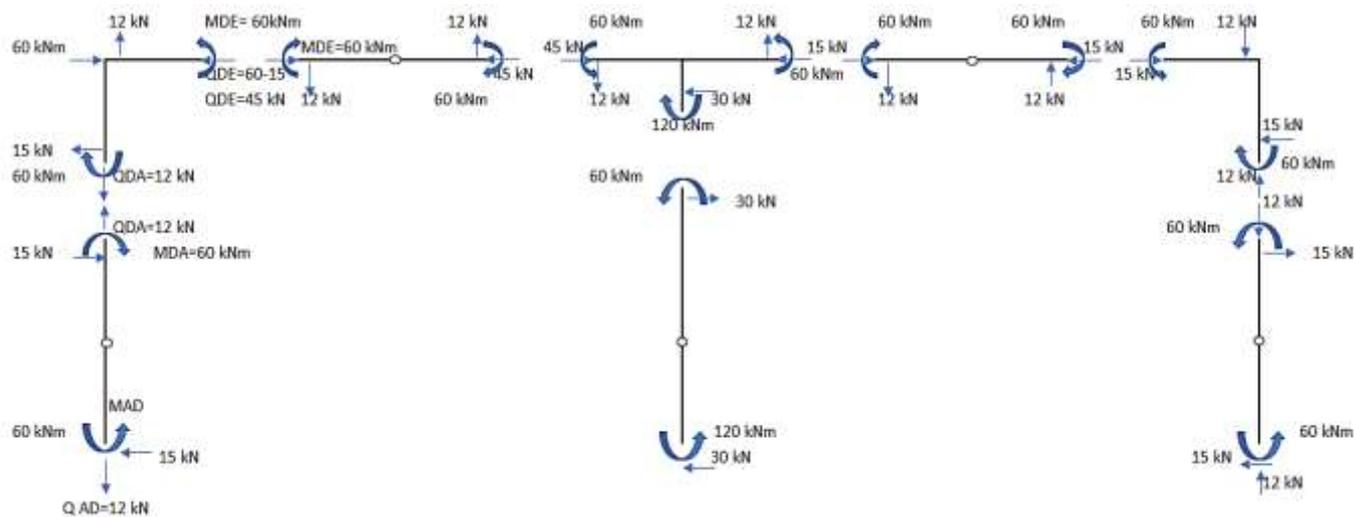


Ilustración 12 Pórtico resuelto

Elaborado por Guido Perugachi

Cuando se logra el equilibrio en toda la estructura se colocan los resultados obtenidos.

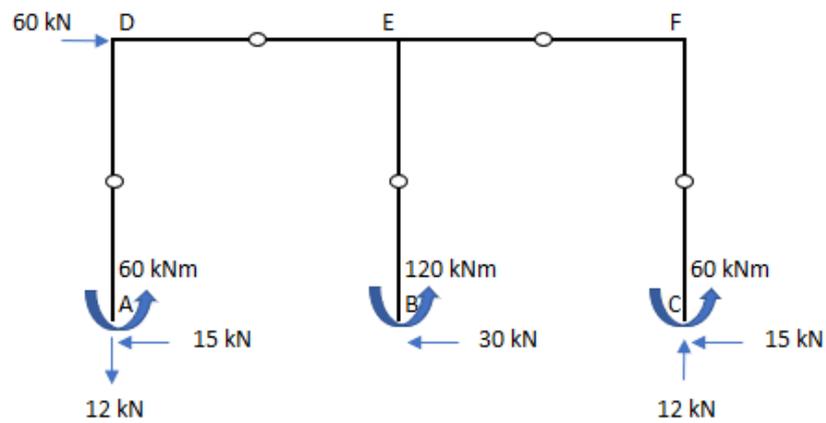


Ilustración 13 Diagrama de cuerpo libre con resultados

Elaborado por Guido Perugachi

Se realiza una comprobación de los resultados para determinar la validez de los valores obtenidos en el análisis.

$$+\rightarrow \sum F_X = 0$$

$$60 - 15 - 30 - 15 = 0$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$12 - 12 = 0$$

$$+ \sum M_C = 0$$

$$-60(8) + 12(20) + 60 + 120 + 60 = 0$$

Al realizar la comprobación se determina que todos los valores calculados son correctos, por ende, la estructura está resuelta.

Ejemplo 2

El siguiente pórtico consta de dos pisos de columnas de alturas similares, la estructura se encuentra sujeta a cargas laterales y sus bases son empotradas, se plantea resolver el pórtico utilizando el método del portal como se lo hizo con el ejemplo anterior.

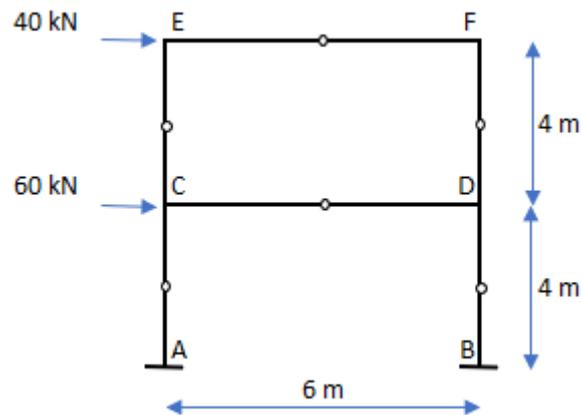


Ilustración 14 Pórtico de dos pisos

Elaborado por Guido Perugachi

Se realiza el mismo proceso mencionado anteriormente, en este caso al ser de dos pisos se comienza el análisis tomando el segundo piso, y se realiza el análisis estático.

$$R_{CX} = R_{DX} = 40 \text{ kN}$$

$$R_{CX} = 20 \text{ kN}$$

$$R_{DX} = 20 \text{ kN}$$

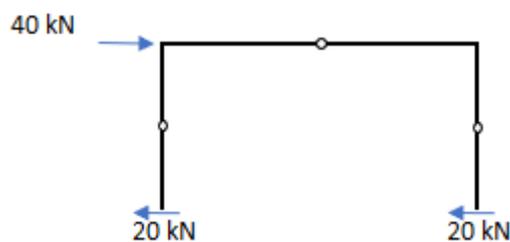


Ilustración 15 Reacciones del segundo piso

Elaborado por Guido Perugachi

Para continuar con el análisis es necesario incluir el piso restante y proceder con la estática.

$$R_{AX} = R_{BX} = 40 \text{ kN} + 60 \text{ kN} = 100 \text{ kN}$$

$$R_{AY} = 50 \text{ kN}$$

$$R_{BY} = 50 \text{ kN}$$

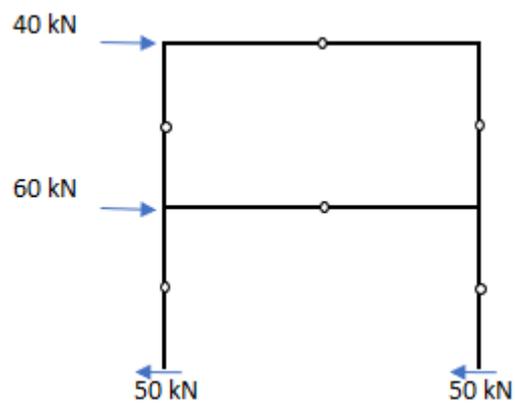


Ilustración 16 Reacciones de primer y segundo piso

Elaborado por Guido Perugachi

Finalizado el análisis previo se realiza la estática para toda la estructura y se busca el equilibrio de la misma manera como se hizo en el ejemplo anterior, como resultado se obtiene el pórtico en equilibrio y solucionado.

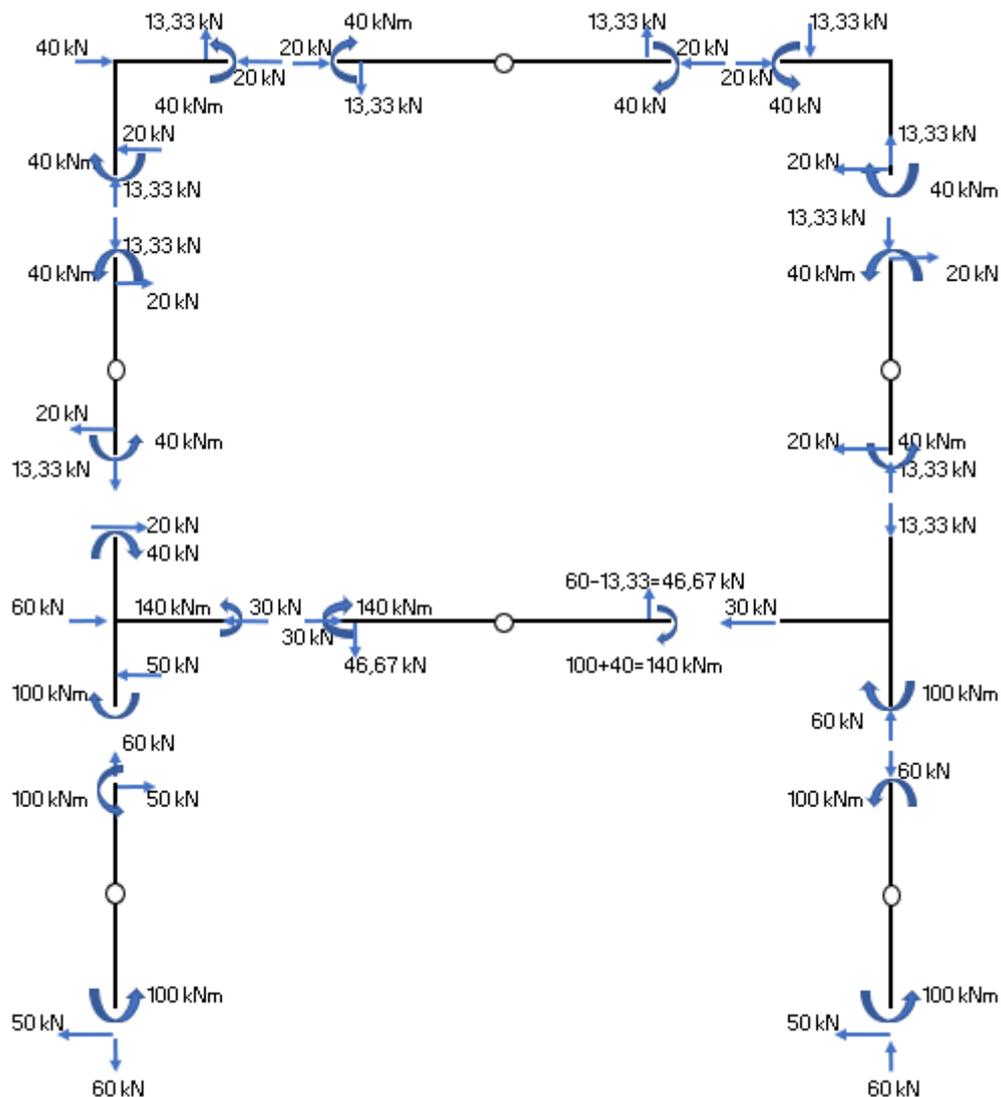


Ilustración 17 Pórtico en equilibrio

Elaborado por Guido Perugachi

Análisis de cargas laterales-Método del cantiliver

Se muestra un pórtico de tres pisos sujeto a cargas laterales en cada uno de sus pisos, se resolverá el pórtico aplicando el método de cantiliver. Se resuelve el pórtico piso por piso empezando desde el piso superior.

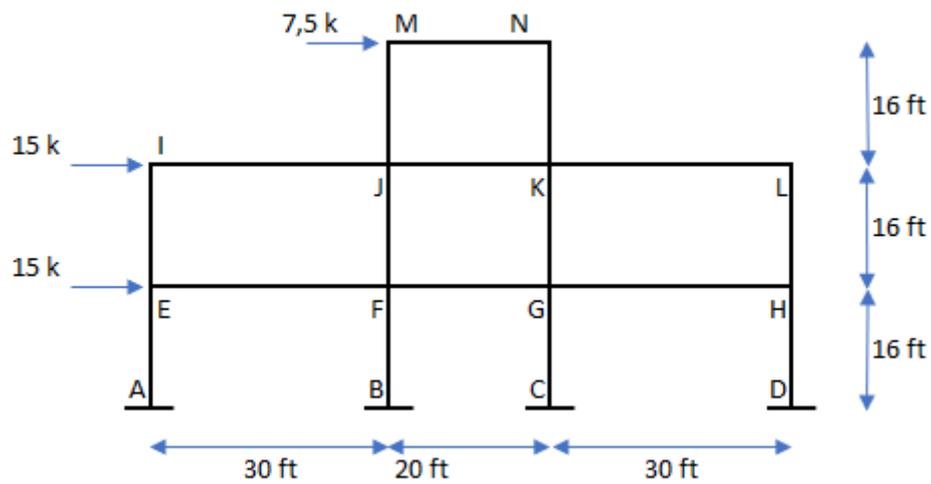


Ilustración 18 Pórtico de tres pisos

Elaborado por Guido Perugachi

Se colocan rótulas en cada uno de los elementos, estas rótulas se las coloca en el centro de cada columna y en el centro de cada viga, de manera que es importante calcular el centroide de cada elemento.

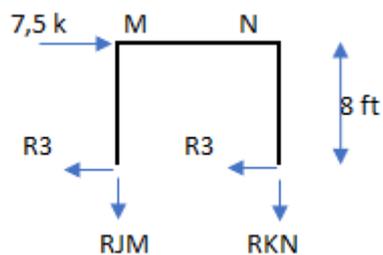


Ilustración 19 Pórtico piso tres

Elaborado por Guido Perugachi

$$\bar{x} = 10ft \text{ Centroide}$$

Suponemos que en las rótulas el momento actuante es cero.

$$+ \sum M = 0$$

$$R_{JM}(20) - 7.5(8) = 0$$

$$R_{JM} = 3k$$

$$R_{KN} = 3kN$$

$$2R_3 = 7.5 k$$

$$R_3 = \frac{7.5k}{2} = 3.75 k$$

Para el segundo piso se realiza el mismo análisis determinando también el centroide de las columnas.

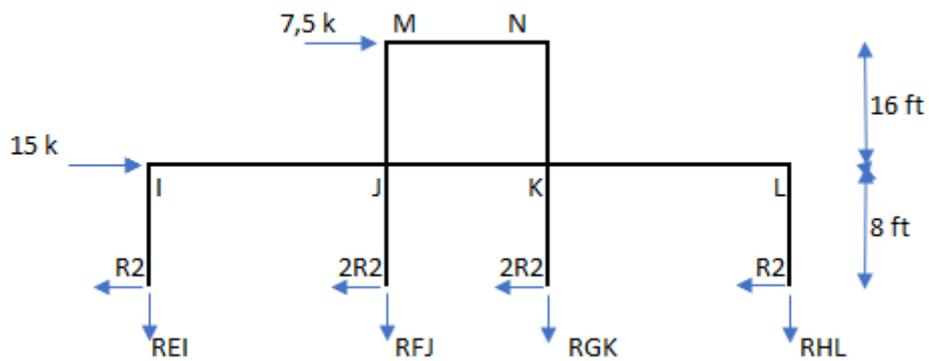


Ilustración 20 Pórtico piso dos y piso tres

Elaborado por Guido Perugachi

$$\bar{x} = 40ft \text{ Centroide}$$

$$6R_2 = 7.5 k + 15 k$$

$$R_2 = \frac{22.5 k}{6} = 3.75 k$$

Finalmente se analizan los tres pisos al mismo tiempo.

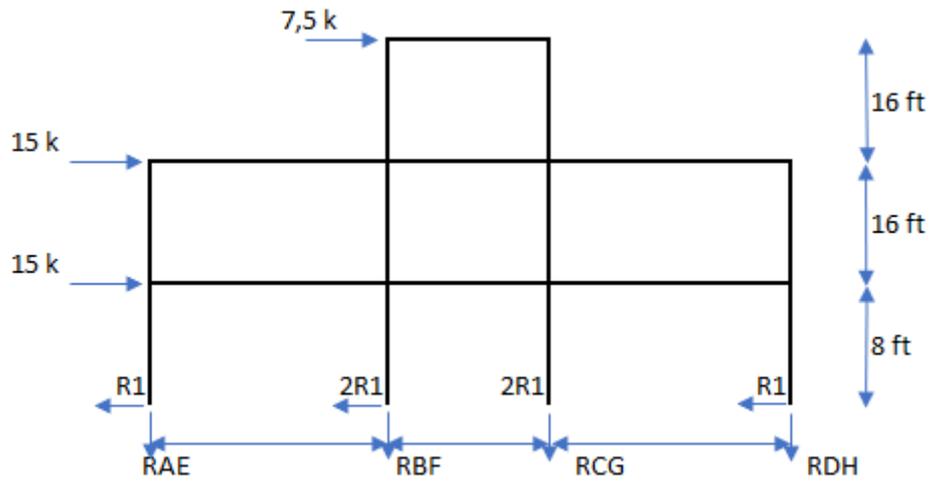


Ilustración 21 Pórtico tres pisos

Elaborado por Guido Perugachi

$$\bar{x} = 40 \text{ ft Centroide}$$

$$6R_1 = 7.5 \text{ k} + 15 \text{ k} + 15 \text{ k}$$

$$R_1 = \frac{37.5 \text{ k}}{6} = 6.25 \text{ k}$$

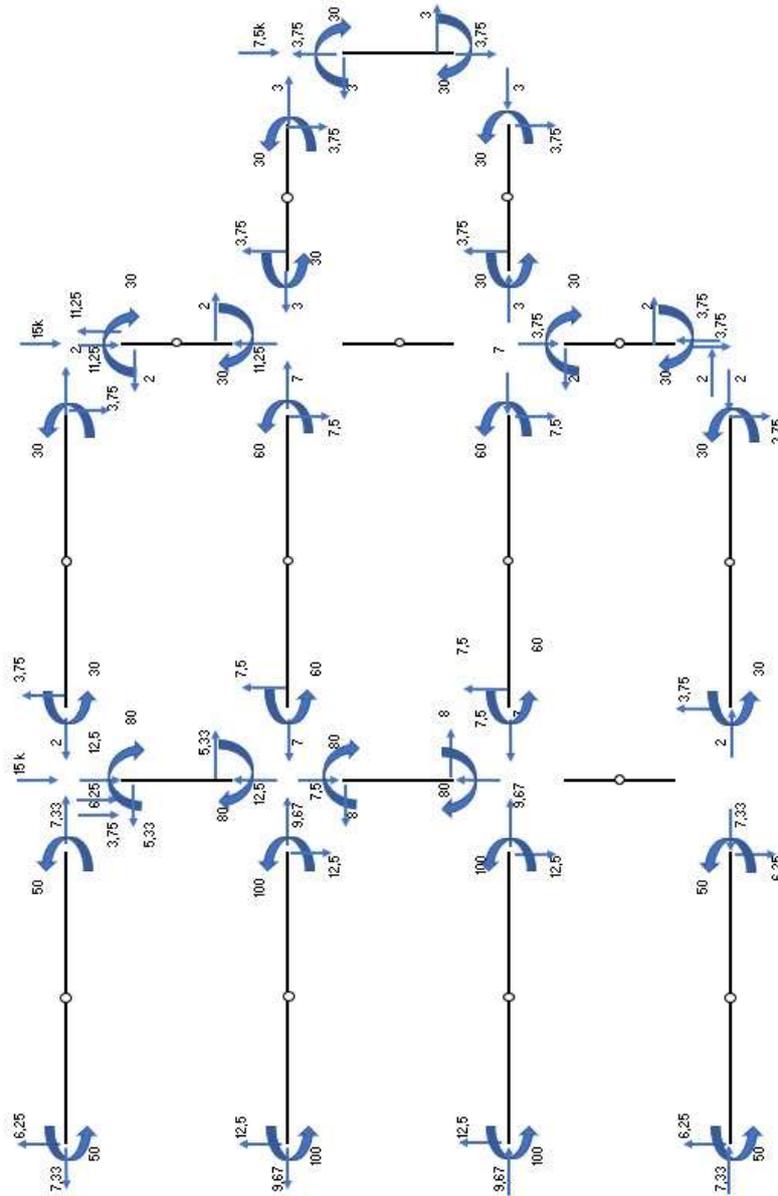


Ilustración 22 Pórtico resuelto

Elaborado por Guido Perugachi

Se muestra el pórtico de tres pisos con todas fuerzas presentes en cada uno de los elementos, las reacciones se encuentran en unidades de kips y los momentos en unidades de kips*feat.

Ejemplos comparativos

Determinar de manera aproximada las fuerzas, los cortantes y los momentos flexionantes del marco mostrado usando el método del portal y el método de cantiliver.

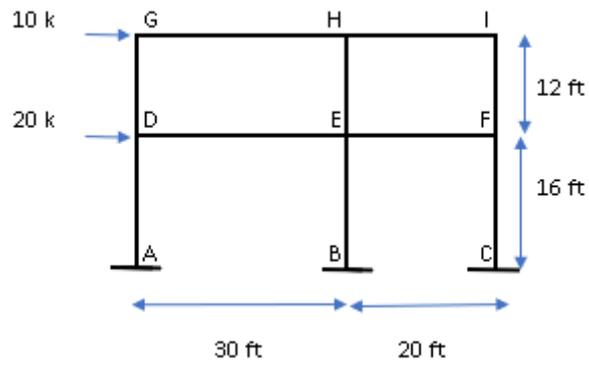


Ilustración 23 Pórtico para análisis

Elaborado por Guido Perugachi

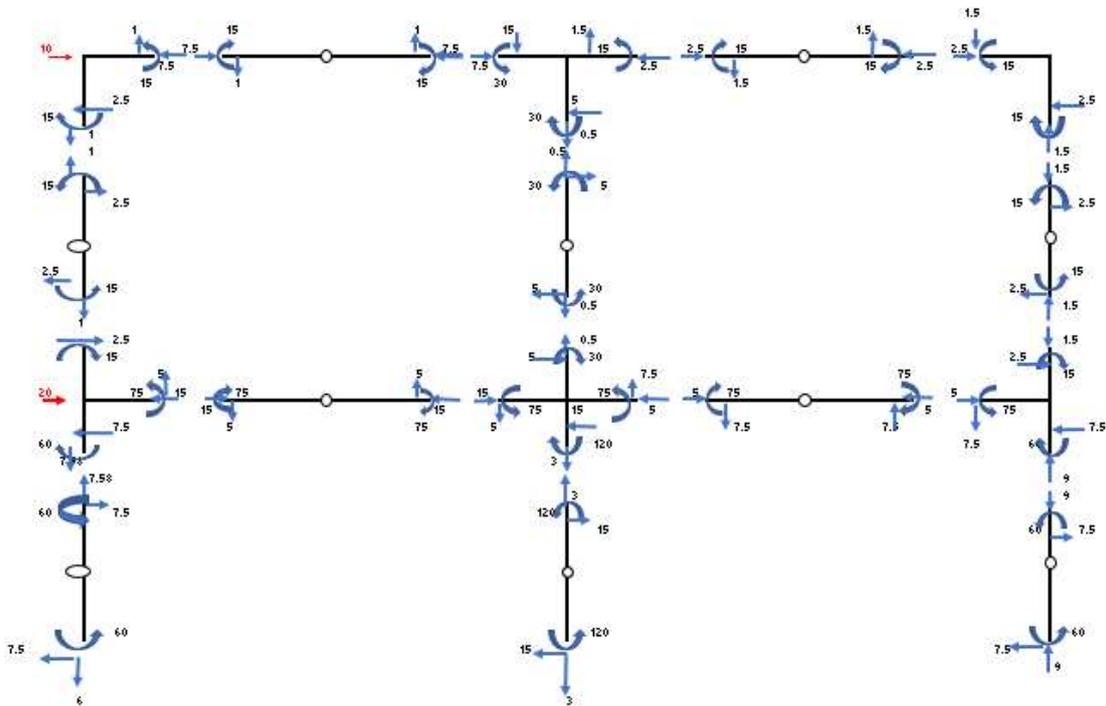


Ilustración 24 Pórtico resuelto - Método del Portal

Elaborado por Guido Perugachi

A partir de aquí se irán planteando una y otra vez las condiciones de equilibrio global o de una parte de la estructura.

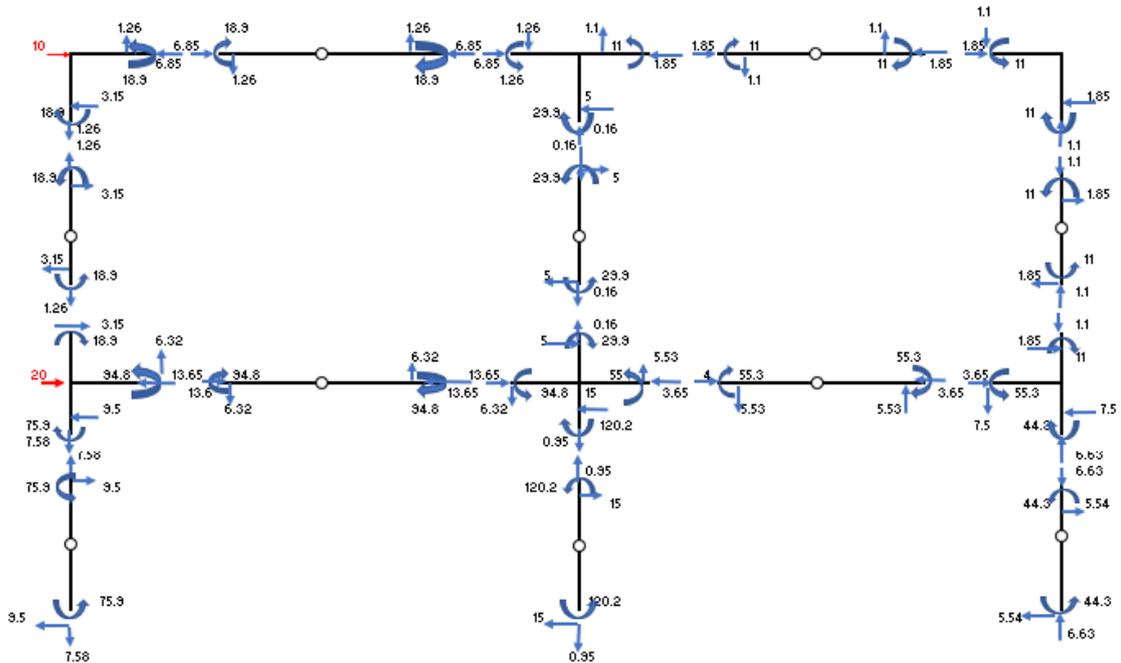


Ilustración 25 Pórtico resuelto - Método de Cantiliver

Elaborado por Guido Perugachi

De igual manera se pide resolver el pórtico, pero esta vez aplicando el método de Cantiliver, se lo ha desarrollado y se observa el equilibrio en todos los nudos.

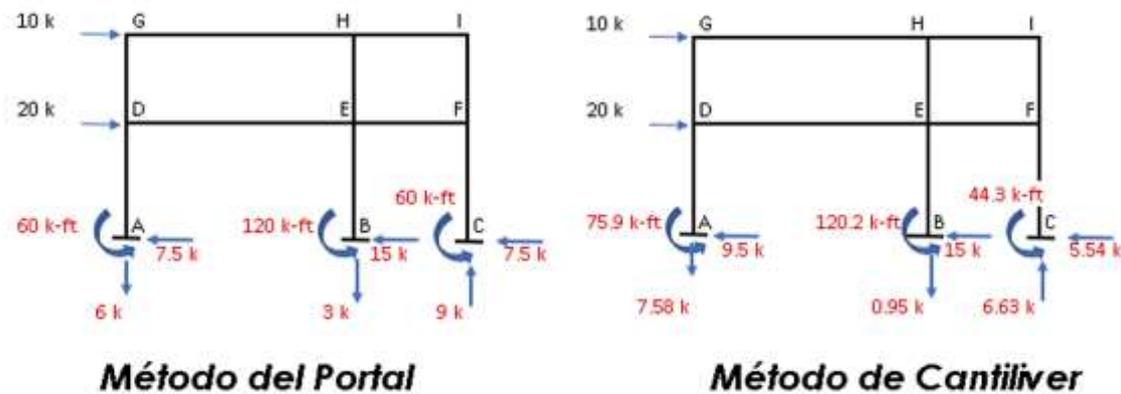


Ilustración 26 Comparación de resultados

Elaborado por Guido Perugachi

Se pueden ver ambos sistemas completos de acciones y reacciones respectivamente, además se observa la diferencia que existente entre estos métodos.

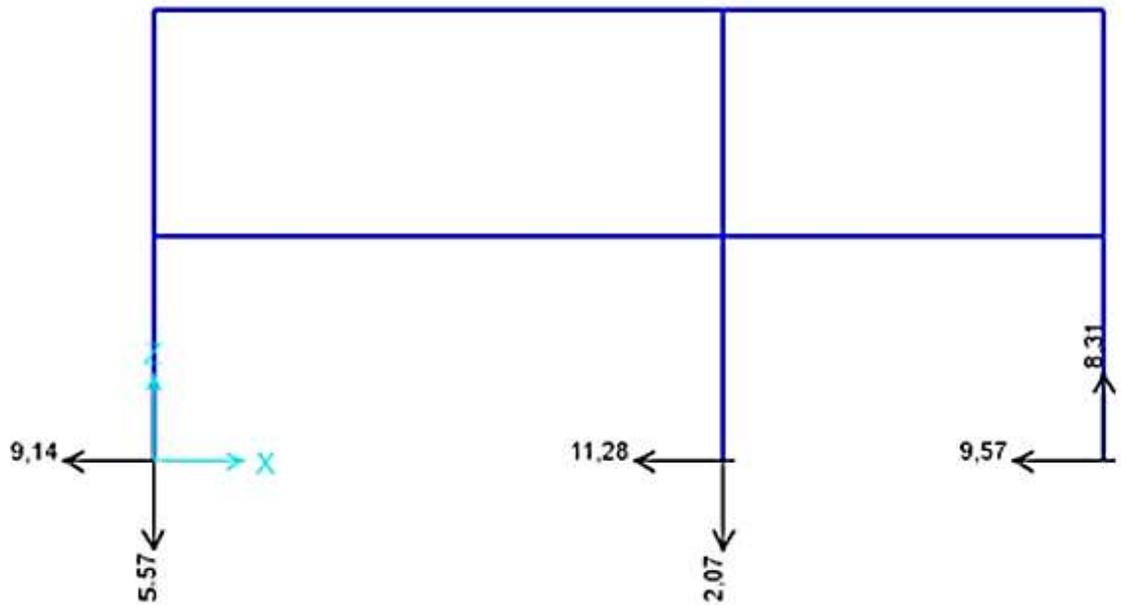


Ilustración 27 Pórtico resuelto con elementos finitos

Elaborado por Guido Perugachi

Se ha resuelto la estructura con un software de elementos finitos con la finalidad de realizar una comparación entre los métodos aproximados y elementos finitos, puesto que este resultado lo podemos tomar como real. En la ilustración 27 se muestra las reacciones de los nodos de la base.

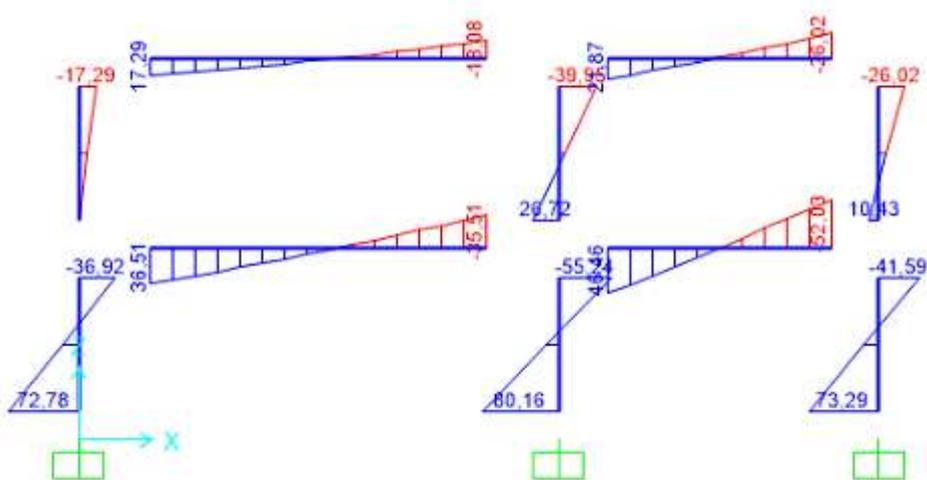


Ilustración 28 Momentos flexionantes del portico

Elaborado por Guido Perugachi

| Métodos | Reacciones Horizontales | | | Porcentaje de error | | |
|----------------------|-------------------------|--------|--------|---------------------|----|----|
| | [kips] | | | | | |
| | Nodo A | Nodo B | Nodo C | % | | |
| Método del Portal | 7.5 | 15 | 7.5 | 18 | 33 | 22 |
| Método de Cantiliver | 9.5 | 15 | 5.54 | 4 | 33 | 42 |
| Elementos Finitos | 9.14 | 11.28 | 9.57 | | | |
| | Reacciones Verticales | | | | | |
| | [kips] | | | | | |
| | Nodo A | Nodo B | Nodo C | % | | |
| Método del Portal | 6 | 3 | 9 | 8 | 45 | 8 |
| Método de Cantiliver | 7.58 | 0.95 | 6.63 | 36 | 54 | 20 |
| Elementos Finitos | 5.57 | 2.07 | 8.31 | | | |
| | Momentos flexionantes | | | | | |
| | [kips-ft] | | | | | |
| | Nodo A | Nodo B | Nodo C | % | | |
| Método del Portal | 60 | 120 | 60 | 18 | 50 | 18 |
| Método de Cantiliver | 75.9 | 120 | 44.3 | 4 | 50 | 40 |
| Elementos Finitos | 72.78 | 80.16 | 73.29 | | | |

Tabla 1 Comparación de los resultados obtenidos por el método del portal y cantiliver vs elementos finitos

Elaborado por Guido Perugachi

En la tabla 1 se pueden observar los distintos valores obtenidos para los nodos de las bases A,B,C, en la comparativa se obtiene el porcentaje de error de cada valor en comparación a los resultados obtenidos por el software de elementos finitos.

CONCLUSIONES

Se ha hecho énfasis en la importancia del proceso de interpretación de resultados centrándose en la resolución de pórticos de manera manual, introduciendo de manera crítica a los métodos de análisis aproximado, analizando sus aplicaciones y permitiendo visualizar de mejor manera una conexión con la teoría que se ve normalmente en los cursos de Análisis Estructural con la práctica al resolver algunos ejemplos propuestos, con la finalidad de lograr estos conocimientos en la vida real.

El estudiante será capaz de interpretar los resultados obtenidos por softwares especializados y compararlos con soluciones manuales, además tendrá un mejor manejo en los diagramas de cuerpo libre y tendrá una mejor percepción del comportamiento estructural puesto que tendrá un conocimiento sólido y la confianza de manejar cualquier programa computacional.

El proyecto en general se basa en ofrecer un desarrollo didáctico de los métodos aproximados usados por cualquier persona afín al área de análisis, diseño y construcción de edificaciones, se determinaron las suposiciones necesarias para resolver los pórticos planteados, los métodos planteados son los óptimos y más conocidos, además se plantearon dos métodos adicionales, el método de Muto y el método de Ozawa que no fueron desarrollados con ejemplos puesto que proponen ecuaciones adicionales para la resolución de los problemas, pero se los puede considerar para el Análisis Estructural.

Se ha presentado una guía didáctica con breves descripciones de cada paso realizado para solución de los ejemplos propuestos, además se propone un resumen de cada uno de los métodos aproximados de Análisis Estructural para lograr un aprendizaje significativo que permite el paso de la teoría a la práctica, una vez comprendida las

metodologías que se usan para el análisis aproximado, se busca que los estudiantes de Análisis Estructural adquieran un criterio sobre el comportamiento de estructuras y a su vez el estudiante podrá analizar cualquier tipo de estructura dentro del rango de pórticos rectangulares. Estos conocimientos serán aplicados en estructuras reales de la ciudad de Quito.

RECOMENDACIONES

Resolver estructuras reales fortalece la confianza de los estudiantes y mejora el dominio de los métodos aproximados, además se tendrá una idea mucho más realista de las cargas presentes en edificios.

Estimar las principales deficiencias que se dan en los estudiantes de Análisis Estructural, a partir de los datos obtenidos, para mejorar las técnicas de enseñanza y garantizar el correcto entendimiento de la materia.

Investigar en Quito los posibles edificios que pueden ser analizados con métodos aproximados, obtener información de las cargas colocadas y resultados obtenidos y compararlas con los métodos vistos.

Es importante realizar una comparación de todos los métodos aproximados y determinar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amateco Reyes, T. (2013). *Enseñanza del Análisis Estructural, experiencias en la aplicación del Aprendizaje Cooperativo*.
- Balmaceda Castro, I., Salgado, C. H., Peralta, M., & Sánchez, A. (2020). *Heurística de evaluación de la experiencia de usuario en sistemas e-learning*. XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz).
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/104043>
- Barner, M. S., Brown, S. A., & Linton, D. (2021). Structural Engineering Heuristics in an Engineering Workplace and Academic Environments. *Journal of Civil Engineering Education*, 147(2), 04020014.
- Casal, J. (1987). *Métodos para el análisis de estructuras sujetas a fuerzas sísmicas laterales (Libro, 1987) [WorldCat.org]*. <https://www.worldcat.org/title/metodos-para-el-analisis-de-estructuras-sujetas-a-fuerzas-sismicas-laterales/oclc/19338221>
- Gómez, P. B. (s. f.). *La construcción de una nueva arquitectura financiera internacional: Progresos y propuestas*. 9.
- Guerra, M. A., & Abebe, Y. (2018). Pairwise Elicitation for a Decision Support Framework to Develop a Flood Risk Response Plan. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems*,.
<https://doi.org/10.1115/1.4040661>
- Guerra, M. A., & Gopaul, C. (2021). IEEE Region 9 Initiatives: Supporting Engineering Education During COVID-19 Times. *IEEE Potentials*, 40(2), 19-24.
<https://doi.org/10.1109/MPOT.2020.3043738>

- Guerra, M. A., Murzi, H., Woods Jr, J., & Diaz-Strandberg, A. (2020). *Understanding Students' Perceptions of Dimensions of Engineering Culture in Ecuador*.
- Guerra, M. A., & Shealy, T. (2018). Teaching User-Centered Design for More Sustainable Infrastructure Through Role-Play and Experiential Learning. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. <https://ascelibrary.org/journal/jpepe3>
- Guerra, M. A., & Tripp, S. (2018). Theoretically Comparing Design Thinking to Design Methods for Large-Scale Infrastructure Systems. *DS 89: Proceedings of The Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC 2018), University of Bath, Bath, UK*, 168-175. <https://www.designsociety.org/publication/40714/THEORETICALLY+COMPARING+DESIGN+THINKING+TO+DESIGN+METHODS+FOR+LARGE-SCALE+INFRASTRUCTURE+SYSTEMS>
- Kassimali, A. (2013). *Structural analysis* (5th Ed). Cengage Learning.
- Luna Ribadeneira, J. F., & Muñoz Navas, C. A. (2013). Análisis estructural y económico de alternativas de pórticos para estructuras industriales, aplicado al proyecto de Marglobal ubicado en la parroquia Calderón, cantón Quito, provincia de Pichincha. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/6035>
- Marín-Idárraga, D. A., & Cuartas-Marín, J. C. (2014). Teorías del análisis y diseño organizacional: Una revisión a los postulados contingentes y de la co-alineación estratégica. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 22(1), 153. <https://doi.org/10.18359/rfce.645>
- Pérez, D. H. (s. f.). *Estructuras de Edificación: Tema 22—Simplificaciones en estructuras simétricas*. 20.

Ramos. (s. f.). *ANÁLISIS SÍSMICO APROXIMADO DE EDIFICIOS - PDF Descargar libre*. Recuperado 3 de mayo de 2021, de <http://docplayer.es/39895747-Analisis-sismico-aproximado-de-edificios.html>

Rivera, D. B. R. (s. f.). *Metodo portal*. Recuperado 2 de mayo de 2021, de https://www.academia.edu/18170275/metodo_portal

San Bartolomé, Á. (1998). *Análisis de Edificios*. Issuu.
https://issuu.com/sanchezmontanoivan/docs/analisis_edificios

Toledo, Z., & Alberto, C. (1986). Estudio del factor de reducción por ductilidad en la respuesta sísmica en pórticos con placas. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3001>

Zúñiga, C., & Nicolás, A. (2018). *Desarrollo de método de análisis aproximado para verificación de resultados para pórticos indeterminados bajo cargas laterales*.
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7497>