

ESTRUCTURACIÓN RETICULAR PARAMÉTRICA DE EDIFICACIONES

Muttio Zavala Eugenio José (1), Botello Rionda Salvador (2)

¹ [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ej.muttiozavala@ugto.mx]

² [Aula CIMNE, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [botello@cimat.mx]

Resumen

En los últimos años se ha observado un avance en cuanto al desarrollo de software relacionado con la Ingeniería Estructural. Existe una alta diversidad de programas computacionales especializados en el cálculo numérico de estructuras. Sin embargo, cada vez los proyectos son más complejos y requieren de nuevas metodologías y herramientas que nos ayuden a resolver problemas. El diseño paramétrico ofrece alternativas en cuanto al diseño y optimización de proyectos. Su planteamiento está basado en relaciones matemáticas e interdependencias de parámetros, generando múltiples soluciones y disminuyendo el tiempo en la realización de modificaciones. El presente trabajo aborda una descripción del alcance del diseño paramétrico, además se muestra una herramienta de parametrización para la estructuración de edificaciones en base a retículas que funcionan como elementos estructurales. Se demuestra que la utilización de estas aplicaciones ayuda a disminuir tiempo, y proporciona una nueva perspectiva en cuanto la generación de propuestas.

Abstract

In recent years, there has been progress in software development related to structural engineering. There is a wide range of specialized computer programs regarding numerical calculations of structures. And yet, each time the projects become more complex, they require new methodologies and tools that help us solve problems. Parametric Design offers alternative choices about project design and optimization. Its' approach is based on mathematical relationships and interdependencies of parameters, generating multiple solutions, and minimizing the time spent in making changes. This paper describes the scope of Parametric Design, and a grid-based parametric tool of building structure configuration is shown. It demonstrates that the use of these applications helps reduce time and provides a new perspective on generating proposals.

Palabras Clave

Diseño Estructural; Automatización; Parámetros; Programación; Edificaciones

INTRODUCCIÓN

Procedimiento Tradicional en Ingeniería Civil

La ingeniería en general tiene un vínculo fuerte con el desarrollo tecnológico, el análisis numérico es prácticamente imposible sin la ayuda de una computadora. En el campo de la Ingeniería Civil, una simple estructura puede producir miles de incógnitas a evaluar en aproximaciones matriciales, por lo que la información necesaria debe ser precisa para realizar el correcto dimensionamiento y análisis. [1]

En los últimos años se ha observado un avance en cuanto al desarrollo de software relacionado con la Ingeniería Estructural, existe una alta diversidad de programas computacionales especializados en el cálculo numérico de estructuras. En el caso de edificaciones y algunas otras construcciones civiles, el usuario debe hacer una interpretación de los planos arquitectónicos para obtener los datos geométricos, proponer un modelo adecuado para la estructura incluyendo en éste los materiales necesarios con sus correspondientes propiedades mecánicas, estimar las fuerzas que intervendrán en la estructura, y aunado a esto la selección del tipo de análisis a realizar será pieza fundamental ya que debe ser congruente con el modelo propuesto.

El procedimiento anterior requiere el empleo de una cantidad importante de tiempo, se realiza antes de hacer el cálculo numérico y será necesario que el usuario utilice otros medios además del software estructural para obtener los datos de entrada. Posteriormente se realiza el cálculo de la estructura de acuerdo al análisis y al modelo seleccionado para conocer el comportamiento de la misma en base a dos resultados principales, los cuales son los desplazamientos nodales y las fuerzas internas de barras.

Podemos decir que los resultados del cálculo numérico son los datos de salida, ya que éstos serán necesarios para comenzar otro proceso

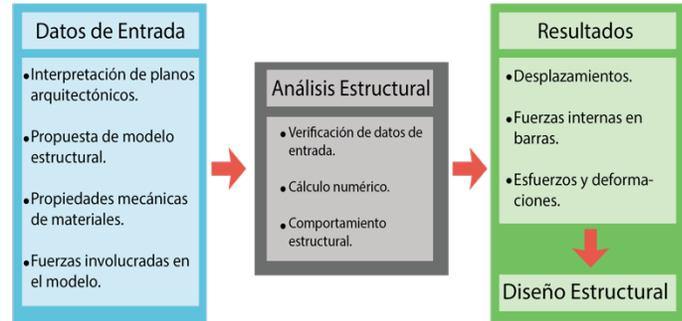


IMAGEN 1: Procedimiento tradicional en Ingeniería Civil.

denominado diseño estructural, en el cual el ingeniero civil debe de verificar los resultados obtenidos usando un “código de construcción”, que le ayudará a decidir si las dimensiones propuestas fueron las adecuadas, además de revisar otros factores como el material empleado, las solicitaciones o fuerzas contempladas en el análisis y el sistema constructivo a utilizar. El proceso anterior se puede esquematizar de manera simplificada en la imagen 1.

El tiempo requerido para un diseño estructural no está definido, éste dependerá de la complejidad del proyecto. No obstante, por pequeño que éste sea, la obtención de datos y el análisis de la estructura puede requerir semanas. Aún con el software especializado, se ha visto que hay un cierto aislamiento del programa, es decir, la obtención de datos de entrada, el cálculo numérico y el análisis del resultado están separados unos de los otros.

Problemática común en el diseño estructural

Como explicación del proceso que conlleva realizar un proyecto tomemos como ejemplo el siguiente supuesto. Se desea construir un edificio de tipo residencial, para el cual se realiza un diseño arquitectónico y posteriormente se siguen los pasos para la propuesta estructural y su análisis. Después de semanas de trabajo, se pide hacer un cambio importante en el diseño arquitectónico que repercutirá en una modificación en los elementos portantes, los cuales serán más largos.

Considerando el ejemplo anterior, ¿El diseño estructural será el mismo? Es una pregunta que sólo podría contestarse acertadamente revisando a detalle el proceso de diseño, ya que hay cierta posibilidad de que éste siga siendo útil, pero el Ingeniero Civil no puede darse el lujo de “confiar” en que no se afectará la resistencia de los elementos. Se deben considerar todos los cambios, lo que repercute en volver al inicio del proceso de análisis y diseño estructural.

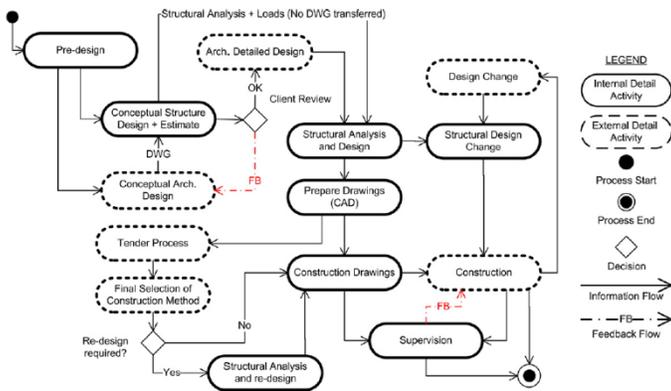


IMAGEN 2: Rafael Sacks, Ronen Barak, High-level generic process model. Automation in Construction, 117, 439-49, 7 Agosto 2007

En la práctica los ingenieros afrontan modificaciones constantes en los proyectos, desde cuestiones arquitectónicas, cambios en los materiales o alteraciones en el procedimiento constructivo, por lo que hay que realizar iteraciones en algunos pasos. Es por ello que un mejor esquema del procedimiento de análisis y diseño es mostrado en la imagen 2. [2]

Podemos observar en la imagen 2 que algunos ciclos realizan un intercambio de archivos tipo (DWG). Desde que el dibujo asistido por computadora (CAD) se volvió un estándar para el campo de la construcción, se han visto muchos avances por parte de los desarrolladores. Los archivos de ésta índole tienen el propósito de plasmar los detalles del proyecto en planos. Sin embargo, ¿Qué ocurre cuando un proyecto es modificado? El trazo debe corregirse, y con ello los datos que son necesarios para el cálculo deben actualizarse debido a lo mencionado anteriormente,

por lo que el análisis estructural depende también de la geometría propuesta.

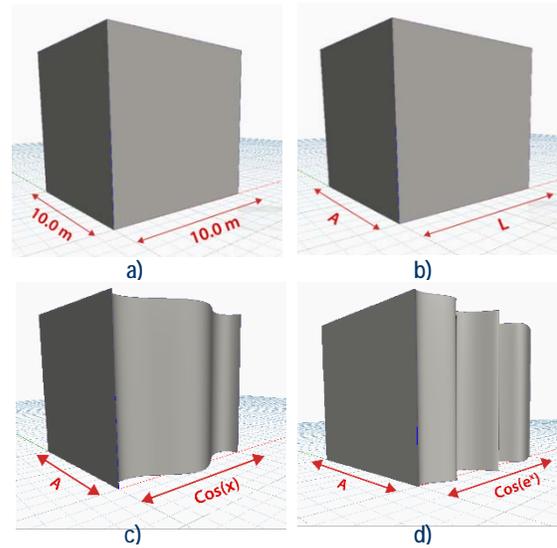


IMAGEN 3: Sólido prismático con dimensión(es):

a) fijas; b) variables; c) usando función trigonométrica; d) usando exponencial de número de Euler y función trigonométrica.

Diseño Paramétrico

Cada vez los proyectos son más complejos, es esencial un desarrollo continuo en cuanto a las herramientas que nos permiten optimizar tiempo y recursos. El diseño paramétrico pretende obtener mayor eficiencia en cuanto al manejo de la información y ofrecer una nueva alternativa a los procesos tradicionales. Una definición formal del tema es la siguiente:

El diseño paramétrico se refiere al uso de restricciones geométricas y la formulación matemática de las interdependencias entre ellas. [3] Su base es la generación de geometría a partir de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. El diseño paramétrico consiste en la utilización de variables y algoritmos para generar un árbol de relaciones matemáticas y

geométricas que permitan no sólo llegar a un diseño, sino generar todo el rango de posibles soluciones que la variabilidad de los parámetros iniciales nos permitan. [4]

En pocas palabras, el diseño paramétrico se puede expresar con las siguientes imágenes. La figura 3 a) muestra un cubo de dimensiones definidas, para parametrizar sus dimensiones se debe fijar una relación matemática, por ejemplo en la figura 3 b) las dimensiones dejaron de ser un sólo número para ser variables numéricas, en las que su valor se puede adquirir con una constante o con una función. La imagen 3 c) muestra el mismo cubo, pero ahora una dimensión está definida por la función matemática $L(x) = \cos(x)$, mientras que la figura 3 d) está definida por $L(x) = \cos(e^x)$.

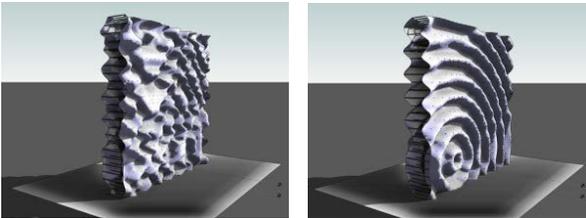


IMAGEN 4: Havard Vasshaug, Multiple Trigonometrical Exercises with Surfaces and Adaptive Components.

Fuente: <http://vasshaug.net/gallery/#jp-carousel1997>

Algunos diseñadores e ingenieros se encuentran explorando los alcances de la modelación mediante relaciones matemáticas, la imagen 4 muestra un panel elaborado mediante combinaciones de relaciones trigonométricas.

METODOLOGÍA

Este trabajo se desarrolló mediante los módulos y librerías que ofrece DynamoBIM, el cual es un software de parametrización Open Source. Dynamo es una interfaz de programación visual que conecta el diseño computacional con la modelación de información de construcción, o por sus siglas en inglés (BIM). Con Dynamo, los usuarios pueden

crear scripts para construir, modificar e intercambiar información de acuerdo a sus necesidades. El software de modelado permite diseñar edificaciones orgánicas y estructuras óptimas, más rápido que con el planteamiento tradicional. Esto es porque podemos crear, asociar y analizar múltiples parámetros, podemos iterar y evaluar distintas opciones de diseño y construir estructuras mediante principios naturales y matemáticos. [5]

Módulo de estructuración paramétrica

Debido a que esta herramienta permite una cierta libertad en la programación de geometrías, se propuso desarrollar un módulo que ayude a optimizar el tiempo que se emplea al estructurar una edificación. Para explicar el propósito de una manera más sencilla considere el sólido que se presentó en la imagen 3 a). Ahora suponga que el sólido es una edificación de un solo nivel, el ingeniero debe proponer una solución estructural que soportará las cargas impuestas, la imagen 5 muestra el mismo sólido cúbico pero indicando la idealización de columnas y vigas como líneas de color azul.

El procedimiento de análisis estructural más utilizado por los software comerciales es el Método Matricial de las Rigideces. El modelo mostrado contiene la información necesaria para realizar un análisis. Es capaz de generar archivos de salida indicando las coordenadas de nodos de elementos estructurales, las conexiones entre las barras y las propiedades de los materiales.

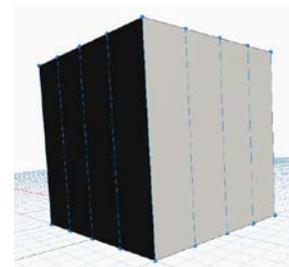


IMAGEN 5: Sólido con vigas y columnas idealizadas obtenidas a partir del módulo de estructuración.

¿Qué beneficio podemos encontrar a primera vista? Al trabajar con un modelo parametrizado, y a diferencia de usar un plano CAD, podemos hacer modificaciones de la estructuración en el momento, sin tener que borrar elementos, moverlos y trazar nuevos. Por ejemplo, en lugar del edificio de un solo nivel, se desea analizar un edificio con cuatro niveles, el usuario solo cambiará la altura del edificio y el número de niveles, en segundos el modelo se modificará resultando en la edificación deseada. Tal como se muestra en la imagen 6.

El módulo se programó en un script con Python, lenguaje de alto nivel, y se utilizó la librería de geometrías proporcionada por Dynamo. La idea es que el usuario tenga una entrada de datos amigable, es decir, que sea sencillo ingresar los parámetros iniciales para generar la geometría y posteriormente poder realizar un análisis estructural.

Las solicitaciones de carga son definidas por el usuario de manera que se elige la magnitud de la sobrecarga en los niveles. Ya que el tipo de estructuración que se programó es reticular, se está tomando en cuenta que las losas están perimetralmente apoyadas y la distribución de carga se realiza mediante triángulos y trapecios, hacia las vigas perimetrales. La imagen 7 muestra la distribución de cargas en losas.

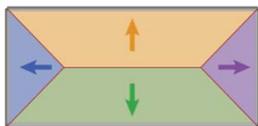


IMAGEN 7: Losa perimetralmente apoyada, se indica la distribución de cargas a vigas exteriores usando trapecios y triángulos.

Posterior a conocer la magnitud de cada sub-losa, el programa hace una búsqueda de las vigas que pertenecen a la losa en cuestión, utilizando un algoritmo que emplea permutaciones del nodo inicial y el nodo final de las barras con respecto a los nodos límite de las losas.

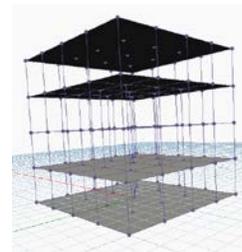


IMAGEN 8: Sólido de 4 niveles con vigas y columnas idealizadas obtenidas a partir del módulo de estructuración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La imagen 8 muestra la estructuración de un modelo prismático de forma rectangular, se puede observar la idealización de columnas y vigas, además de la distribución de cargas en las losas.

La estructura en este modelo es capaz de adaptarse en fracción de segundos a los cambios que el usuario puede hacer en cuanto a las características geométricas. Este resultado nos permite imaginar en la gama de posibilidades en una sola edificación, por lo que el usuario podría pensar en optimizar el diseño, lo cual no es común en un procedimiento tradicional debido al tiempo que se requiere.

CONCLUSIONES

La ingeniería crece todos los días, se desarrollan más y mejores aplicaciones para solucionar problemas más complejos, en menor tiempo y con óptimos recursos. Por lo que el diseño paramétrico es una alternativa para generar múltiples propuestas iniciales y realizar modificaciones con facilidad.

REFERENCIAS

[1] Wyatt, G. (2007). Maintaining BIM integrity in the structural engineering office. Autodesk, pp. 1-8.

- [2] Sacks, R., Barak, R. (2007). Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*, 17, pp. 439-442.
- [3] Shah, J.J., Mäntilä, M. (1995). *Parametric and feature based CAD/CAM: concepts, techniques, and applications*. Wiley-Interscience publication.
- [4] Nogueira, F. (2011) Diseño Paramétrico. Recuperado de <http://francisconogueiraimd.blogspot.com/2011/09/diseño-paramétrico.html>
- [5] Vasshaug, H., Benoit, J., (2014). Dynamo for structural design. *Revit Technologic Conference*, pp.1-5.