

La geometría como aspecto fundamental para la optimización de estructuras en la construcción de edificaciones

Geometry as a fundamental aspect for the optimization of structures in the construction of buildings

J.A. Medina-Flores

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0008-6553-9521> | Correo electrónico: jmedinaf@gmail.com

Recibido: 28-11-2023 Admisión: 19-01-2024 Aceptado: 17-03-2024

Resumen

Este artículo resalta la importancia de la geometría en la optimización de estructuras. Propone un enfoque innovador para estudiar formas geométricas, redefiniendo los elementos estructurales. El objetivo principal de esta propuesta es introducir formas geométricas para su estudio en edificaciones. Esto implica utilizar la geometría para representar, calcular y analizar las formas que definen el espacio arquitectónico. La investigación se basó en dos obras teóricas: “Optimización del diseño de estructuras conformadas por pórticos de acero resistentes a momentos y amortiguadores de masa sintonizada (TMD) [4]” y “Elementos estructurales de un edificio /Ingenieros asesores [7]”. La metodología empleada fue documental, fundamentada en una investigación preliminar no experimental y transaccional de enfoque cualitativo. El resultado del estudio se materializó en un documento que ilustra y explica las ventajas de incorporar la geometría en el análisis y actuación de las estructuras que componen un edificio. En conclusión, la geometría juega un papel decisivo en la optimización de los elementos que conforman cualquier edificación, permitiendo un comportamiento más eficiente y seguro, lo que contribuye a una mayor calidad y economía en la solución de los problemas del hábitat urbano.

Palabras clave: Geometría, elementos estructurales, capacidad portante, optimización.

Abstract

*This article highlights the importance of geometry in structural optimization. It proposes an innovative approach to studying geometric shapes, redefining structural elements. The primary objective of this proposal is to introduce geometric forms for study in building design. This involves using geometry to represent, calculate, and analyze** the forms that define architectural space. The research was based on two theoretical works: “Optimization of the design of structures composed of steel frames resistant to moments and tuned mass dampers (TMD) [4]” and “Structural elements of a building / Advising engineers [7]”. The methodology employed was documentary, grounded in a non-experimental and transactional preliminary investigation with a qualitative focus. The study’s outcome materialized in a document that illustrates and explains the advantages of incorporating geometry in the analysis and performance of the structures that make up a building. In conclusion, geometry plays a decisive role in optimizing the elements that constitute any building, enabling more efficient and secure behavior, which contributes to higher quality and cost-effectiveness in solving urban habitat problems.*

Keywords: Geometry, structural elements, bearing capacity, optimization.

Introducción

La geometría, una ciencia que estudia las formas, las propiedades y las relaciones espaciales de los objetos, tiene una gran aplicación en el campo de la ingeniería y la arquitectura. En este artículo, se pretende analizar cómo la geometría puede contribuir a la optimización de estructuras en la construcción de edificios, es decir, a mejorar su resistencia, estabilidad, funcionalidad y eficiencia energética.

El objetivo principal de este artículo es demostrar que la geometría es un aspecto fundamental para la optimización de estructuras en la construcción de edificios. Para ello, se plantea la hipótesis de que existe una relación directa entre el uso de principios geométricos y el rendimiento estructural de los edificios.

En este estudio se empleó la metodología de análisis documental, se revisaron documentos, informes, registros y literatura científica relacionados con el tema. Esta revisión proporcionó información valiosa y contextual.

Hassani [1]. en su artículo “Optimización de elementos estructurales”, define la optimización estructural de la siguiente manera:

...el proceso para encontrar la mejor estructura que cumpla con todos los requerimientos multidisciplinarios impuestos por la funcionalidad y condiciones de manufactura, esto implica mejorar un diseño estructural para que sea lo más eficiente posible, lo que puede implicar la minimización del uso de materiales, la maximización de la resistencia, la minimización del peso, entre otros, mientras se cumplen ciertos criterios y restricciones.

Este artículo pretende mostrar cómo la geometría puede ser un recurso útil y eficaz para optimizar las estructuras en la construcción de edificios, tanto desde el punto de vista estético como funcional.

La geometría en el diseño de estructuras

La geometría es un componente esencial en el diseño de estructuras. Aquí hay algunos puntos clave a considerar:

Forma y tamaño: La forma y el tamaño de una estructura pueden influir en su resistencia y estabilidad. Por ejemplo, las estructuras triangulares son a menudo más estables que las cuadradas o rectangulares, debido a su distribución de fuerzas. En un triángulo, cada lado y cada ángulo están conectados de manera equilibrada, lo que permite que las fuerzas se distribuyan de manera uniforme.

El triángulo es la única figura geométrica que no se deforma cuando sufre un esfuerzo. Cualquier otra forma geométrica utilizada como estructura no será rígida o estable hasta que se triangule (Figura 1).

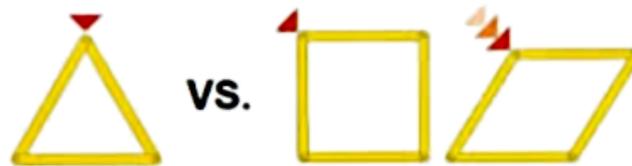


Figura 1. Triángulo vs. Cuadrado [2]

Además, una estructura cuadrada puede deformarse fácilmente, pero al agregar una diagonal y convertirla en dos triángulos, se logra la rigidez que permite una indeformabilidad geométrica. Esto significa que la triangulación hace que las estructuras no se deformen y sean muy estables.

Distribución de la carga: La forma en que se distribuye la carga en una estructura puede afectar su rendimiento. La geometría puede ayudar a distribuir la carga de manera más uniforme, reduciendo el estrés en ciertas áreas (Figura 2).

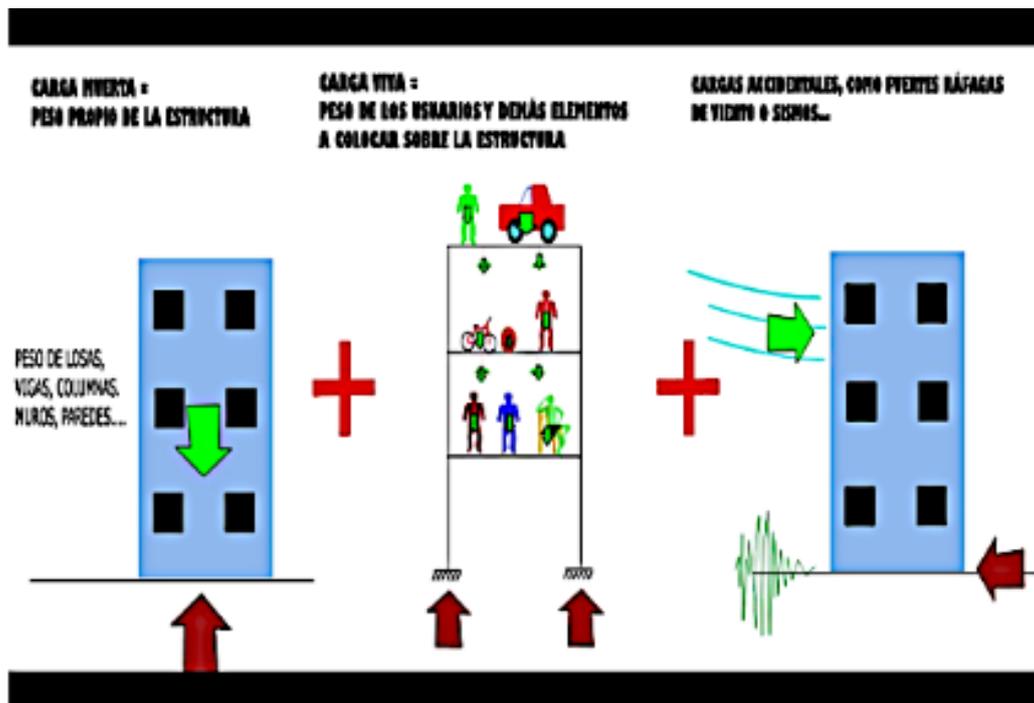


Figura. 2 Distribución de cargas sobre edificaciones [3]

Material: El tipo de material utilizado en las estructuras como concreto, acero o madera, desempeña un papel importante. Estos materiales pueden tener propiedades distintas que afectan la resistencia y la durabilidad de la estructura.

Formas geométricas paramétricas: Según Ramírez [4], la modelación de la geometría a través de parámetros permite adaptar el algoritmo a cualquier geometría base, como un triángulo, un pentágono o un cuadrado. Cada figura geométrica genera una geometría particular con diferentes respuestas formales (Figura 3).

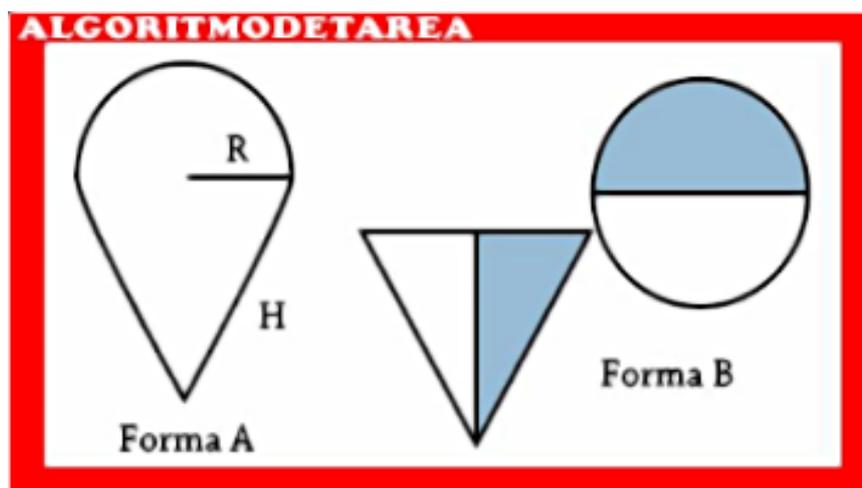


Figura 3. Algoritmos para calcular el área de figuras geométricas [4]

Optimización: La geometría puede utilizarse para optimizar una estructura, minimizando el material utilizado mientras se maximiza la resistencia y la estabilidad. La geometría juega un papel importante en la optimización de las estructuras para mejorar su comportamiento frente a las cargas.

Optimización topológica: Esta técnica permite diseñar estructuras que son más ligeras, ofrecen una mejor integración y duran más que otros diseños. La optimización topológica es un método que considera la forma y usa modelos algorítmicos para mejorar la organización del material dentro de un espacio definido por el usuario para un conjunto dado de cargas, condiciones y limitaciones. Este método maximiza el rendimiento y la eficiencia del diseño eliminando el material sobrante de las zonas que no necesitan soportar cargas considerables para reducir el peso o resolver desafíos de diseño como reducir la resonancia o el esfuerzo térmico. Los diseños producidos mediante optimización topológica a menudo incluyen formas libres y detalladas que resultan complicadas o imposibles de fabricar con los métodos de producción tradicionales (Figura 4).

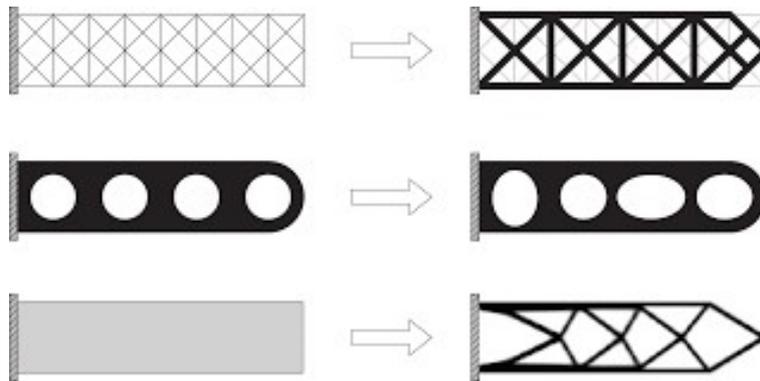


Figura 4. Optimización topológica en elementos estructurales [1]

Geometría en ingeniería estructural: La geometría ayuda a los ingenieros estructurales determinar la cantidad de materiales requerida en un proyecto, calcular áreas y ángulos para asegurar la seguridad del edificio y la precisión de la construcción (Figura 5).

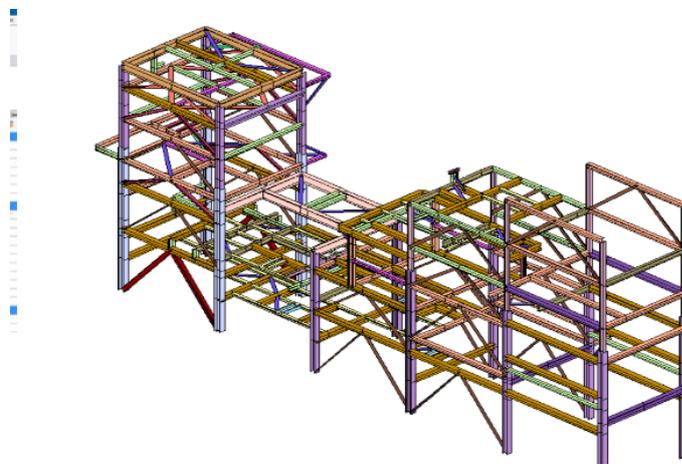


Figura 5. La geometría proyectada en edificaciones [5]

Arquitectura residencial: En algunos casos, se utilizan formas geométricas audaces para minimizar el impacto en el entorno. Por ejemplo, en la VARS House en Madrid, los espacios de servicio se semi-enterraron y solo sobresalió la plataforma superior, cuya silueta sigue la topografía del terreno (Figura 6). Al plegarse sobre sí misma, la estructura gana en rigidez y hace innecesarios pilares y divisiones.



Figura 6. La VARS House en Madrid, los espacios de servicio se semi-enterraron y solo sobresalió la plataforma superior, cuya silueta sigue la topografía del terreno [6]

Es importante mencionar que la elección de las formas geométricas para optimizar las estructuras depende en gran medida del tipo de carga, las condiciones del sitio, los materiales disponibles y otros factores específicos del proyecto.

La Geometría: Clave para la eficiencia de las estructuras en la construcción de edificaciones

La correcta interpretación y estudio de la geometría en la arquitectura, permite calcular aspectos tales como los relacionados con los pesos de carga en determinadas estructuras, además de influenciar de manera relevante con las consideraciones estéticas en cada una de las construcciones llevadas a cabo.

Tiene una particular importancia en la arquitectura, ya que la geometría se utiliza para calcular el espacio, ángulos y distancias, que tienen un interés inmediato para el diseño arquitectónico. Según García [5]” el arte utiliza la geometría para lo que tiene que ver con la profundidad espacial. Permite la creación y manipulación de formas y estructuras geométricas de manera precisa y eficiente”. Esto es muy útil en el diseño y arquitectura, ya que permite la generación de modelos 3D detallados y precisos que pueden ser utilizados para la visualización y el análisis de proyectos.

La Geometría tiene tres entes o elementos fundamentales no definidos: punto, recta y plano. Algunos de los tipos de geometría más populares son: la geometría plana, la geometría analítica, la geometría elíptica, la geometría hiperbólica, la geometría diferencial, la geometría algorítmica, la geometría descriptiva, la geometría algebraica, la geometría proyectiva, geometría riemanniana entre otras.

La geometría analítica la podemos aplicar en ingeniería para resolver problemas creando modelos matemáticos que nos permitan analizar fácilmente el problema y buscar la solución más eficiente a este. La correcta interpretación del uso de la geometría en arquitectura permite calcular cuestiones de carga de estructuras para las edificaciones.

Las figuras geométricas más utilizadas suelen ser el cuadrado, el triángulo, el círculo y el rectángulo. Estas figuras son utilizadas tanto en la construcción de edificios modernos como en edificios históricos.

Según Ingenieros Asesores [7], los elementos estructurales, como las vigas y las columnas, tienen comportamientos específicos según su forma geométrica y el plano en el que se encuentren. Las vigas son elementos estructurales que trabajan principalmente a flexión y cuya longitud predomina sobre las otras dos dimensiones, suelen ser horizontales.

Por otro lado, las columnas se definen en ingeniería y arquitectura como aquel soporte vertical de longitud larga respecto a su sección transversal. Existen varios tipos de columnas según su forma, como la columna lisa (que no tiene ni acanaladuras ni adornos), la columna agrupada (que posee varios fustes con una base y capitel comunes) y la columna estriada o acanalada (cuya forma posee estrías o acanaladuras ornamentales en toda su longitud).

El comportamiento de estos elementos estructurales puede variar cuando están sometidos a cargas combinadas. Por ejemplo, es importante entender las características que presenta el material según sea su composición. Para evitar algún tipo de falla de los elementos, ya sea por flexión o por pandeo, se pueden utilizar refuerzos instalados en las columnas de concreto reforzado “chaquetas de acero”, los cuales le dan un efecto de confinamiento brindando mayor capacidad de soporte a estos elementos ante cualquier imprevisto.

La forma geométrica de las columnas y las vigas puede influir en su comportamiento estructural de varias maneras.

En cuanto al plano en el que se encuentran, esto puede afectar la forma en que las cargas se distribuyen a través de la estructura. Por ejemplo, en un sistema de pisos, las vigas pueden estar dispuestas en un solo plano para soportar una losa de concreto. Sin embargo, en un sistema de marco espacial, las vigas pueden estar dispuestas en varios planos para soportar cargas en varias direcciones.

Tipos y comportamientos de columnas simples dependiendo de su forma geométrica

- Columnas cuadradas: Son comunes en la construcción y pueden soportar cargas significativas. Sin embargo, su resistencia al pandeo puede ser menor en comparación con las columnas circulares.
- Columnas rectangulares: Al igual que las columnas cuadradas, son comunes en la construcción. Su resistencia puede variar dependiendo de la orientación de la carga con respecto a la relación de aspecto de la sección transversal.
- Columnas circulares: Estas columnas son generalmente más resistentes al pandeo en comparación con las columnas cuadradas o rectangulares. Esto se debe a que las columnas circulares tienen una distribución uniforme de material alrededor del eje central, lo que ayuda a resistir las cargas desde cualquier dirección.

Refiere Martínez [8] en su trabajo de investigación, que las columnas son elementos estructurales vertical que se utiliza para soportar la carga del edificio. Es muy utilizado en arquitectura por la libertad que ofrece para distribuir espacios cumpliendo con la función de soportar el peso de la construcción; Es un elemento fundamental en el diseño de una estructura y la correcta elección de su tamaño, forma, espaciamiento y composición influye directamente en su capacidad de carga.

Según Lodato y Finol [9], en relación a las comparaciones realizadas y sus perspectivas de análisis, que la esbeltez de las columnas y la selección de su sección transversal influyen en el comportamiento de las estructuras metálicas, diseñadas en diferentes zonas sísmicas, debido a que la variación de estas características (altura de entrepiso y sección de columnas cuadrada y rectangular). Adicionalmente, se puede decir que las columnas de sección cuadrada tienen un mejor comportamiento frente a las de sección rectangular, ya que las edificaciones diseñadas con una sección en columna cuadrada necesitan menores dimensiones aun y con las mismas solicitaciones de diseño y controles posteriores.

Columnas circulares vs. rectangulares: esbeltez y resistencia

Se ha establecido que las columnas circulares poseen menos rigidez que las cuadradas y rectangulares, ya que la inercia de la columna circular es menor que la de la columna cuadrada, aunque tengan la misma sección transversal [10].

Las columnas de sección transversal circular son más resistentes al pandeo en comparación con la sección transversal cuadrada o rectangular. Además, las secciones circulares tendrán características de torsión uniformes.

- Sin esquinas débiles en columnas circulares y sin concentración de tensiones.
- Las columnas con refuerzo de corte en forma de espirales proporcionan un mejor confinamiento que el refuerzo de corte en forma de ataduras.

- Una columna es tan fuerte como su punto más débil. Las columnas cuadradas presentan cuatro líneas de debilidad debido a los pliegues en sus esquinas. Por otro lado, la sección transversal circular no tiene pliegues, lo que significa que carece de puntos de debilidad. Esto le permite distribuir la carga que soporta de manera uniforme en todo el cilindro.
- La resistencia a la flexión o desviación de una sección transversal circular es mayor que una sección transversal rectangular con la misma área. Además, la carga requerida para abrochar una columna con una sección transversal circular es lo mismo alrededor de su perímetro, pero una viga con una sección transversal rectangular puede doblarse primero en cualquiera de los dos ejes.

Martínez [8] establece que la forma geométrica de una columna puede optimizar su comportamiento estructural de varias maneras:

- Resistencia a la compresión: La forma de la sección transversal de una columna puede influir en su capacidad para resistir cargas de compresión. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares o cuadradas pueden distribuir las cargas de compresión de manera más uniforme que las columnas con secciones transversales rectangulares.
- Resistencia al pandeo: El pandeo es un fenómeno que puede ocurrir en columnas esbeltas cuando están sometidas a cargas de compresión. La forma de la sección transversal de una columna puede influir en su resistencia al pandeo. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares o cuadradas pueden ser menos propensas al pandeo que las columnas con secciones transversales rectangulares.
- Resistencia a la torsión: Algunas formas de secciones transversales pueden resistir mejor las cargas de torsión que otras. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares pueden resistir mejor las cargas de torsión que las columnas con secciones transversales cuadradas o rectangulares.
- Estética: La forma de una columna también puede contribuir a la estética de un edificio. Por ejemplo, las columnas con formas geométricas interesantes pueden añadir un elemento visualmente atractivo a un diseño arquitectónico. Estos son solo algunos puntos de cómo la forma geométrica puede optimizar el comportamiento estructural de una columna. Sin embargo, cada situación es única y requiere un análisis cuidadoso para determinar la mejor solución.

Tipos y comportamientos de vigas simples dependiendo de su forma geométrica

Afirman Gutiérrez, Hurtado y Marulanda [11] en su artículo, que las vigas rectangulares presentan mayor resistencia y rigidez que las circulares, debido a la mayor inercia polar de la sección circular. El mismo también menciona que las vigas cuadradas tienen un comportamiento intermedio entre las rectangulares y las circulares, pero que son más susceptibles al pandeo lateral. Asimismo, presentan un modelo analítico y numérico para el análisis de vigas de concreto armado con sección rectangular y circular, sometidas a cargas de flexión y torsión, y compara los resultados con los obtenidos experimentalmente, concluyendo que las vigas circulares presentan mayor resistencia y rigidez que las rectangulares, debido a la mayor inercia polar de la sección circular.

La forma geométrica una viga afecta al comportamiento estructural en general, ya que determina su inercia, que es la resistencia que ofrece la sección a deformarse bajo la acción de una carga. Su rigidez, que es la relación entre la carga aplicada y la deformación producida, influye en su estabilidad, que es la capacidad de recuperar su posición original después de cesar la carga y en su eficiencia, que es la relación entre el peso y la resistencia de la sección.

- Las vigas rectangulares tienen una mayor inercia y rigidez que las cuadradas, lo que les permite resistir mejor los esfuerzos de flexión y torsión.
- Las vigas rectangulares tienen más posibilidades de optimización de secciones que las cuadradas, lo que les permite cumplir mejor con los requisitos de diseño sísmico y deriva resistencia a la flexión que las vigas cuadradas y redondas, lo que les permite soportar mayores cargas y momentos.

- Las vigas rectangulares tienen una menor esbeltez que las vigas cuadradas y redondas, lo que reduce el riesgo de pandeo local y global.
- Las vigas rectangulares son más fáciles de fabricar, manipular y conectar que las vigas cuadradas y redondas, lo que reduce los costos y las dificultades constructivas.

Newton, en su obra “Principios matemáticos de la filosofía natural”, describe la inercia de la siguiente manera:

La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la fuerza de inercia del conjunto surge de la extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y las fuerzas de inercia de las partes; por tanto, llegamos a la conclusión de que todas las partes más pequeñas de todos los cuerpos son extendidas y duras, impenetrables, móviles y están dotadas de fuerzas de inercia [12].

Newton [12], en su primera ley expone que los cuerpos tenderán a conservar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme hasta que se aplique sobre ellos una fuerza externa capaz de vencer dicha resistencia. Este concepto es fundamental en física y tiene aplicaciones importantes en el diseño de elementos estructurales.

La geometría es un aspecto importante en el diseño de vigas de grandes longitudes (luzes), ya que influye en el comportamiento estructural, la eficiencia y la estética de las mismas. Algunos aspectos geométricos que se deben considerar para estas, son:

- La forma de la sección transversal de la viga, que puede ser rectangular, circular, triangular, compuesta, etc. La forma de la sección afecta a la resistencia, la rigidez y el peso de la viga.
- La curvatura de la viga, que puede ser recta, curva, parabólica, catenaria, etc. La curvatura de la viga afecta a la distribución de los esfuerzos internos y a la flecha de la viga.
- La disposición de las vigas, que puede ser simple, continua, en celosía, en malla espacial, etc. La disposición de las vigas afecta a la estabilidad, la redundancia y la transmisión de las cargas.

Para elegir la geometría adecuada para una viga de gran luz, se deben tener en cuenta los requisitos funcionales y estéticos del proyecto, así como las limitaciones constructivas y económicas.

Ejemplos de vigas de gran luz con diferentes geometrías

La Universidad Autónoma de Occidente (Colombia) [10], describe y explica el uso de elementos que pueden ser utilizados como vigas con diferentes geometrías, para salvar grandes luces como, por ejemplo:

Cerchas: es una armazón compuesta de un sistema triangulado de elementos estructurales rectos interconectados. Este armazón permite la transferencia de peso de manera segura, por lo que se usa como base para construir estructuras. Hablamos de estructuras tan variadas como techos, puentes, arcos o edificios.

Una cercha se compone de un marco que consta de muchos triángulos pequeños. El triángulo básico en una armadura que tiene tres vigas conectadas en las esquinas por tres articulaciones. Un triángulo por sí solo podría considerarse como una cercha simple, pero la mayoría de las cerchas se compone de muchos triángulos, conectados por una serie de cuerdas (Figura 7).

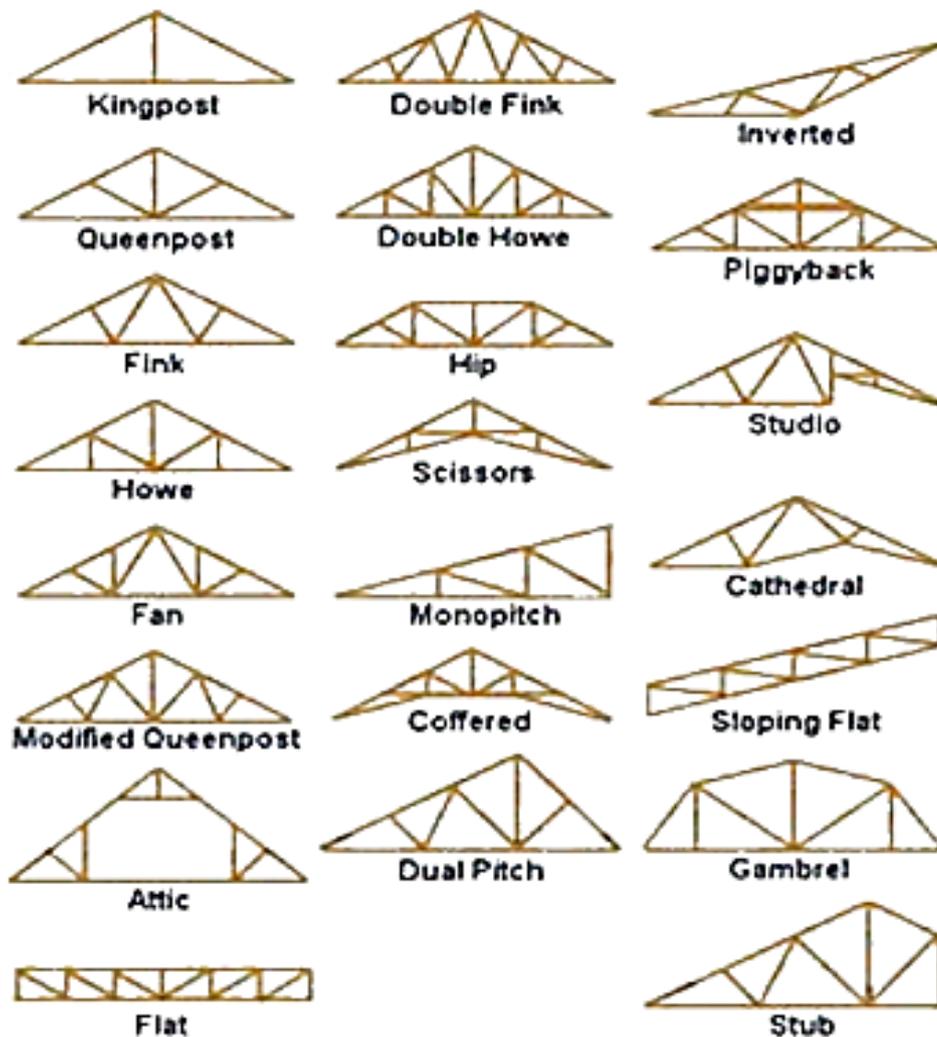


Figura 7. Tipos de cerchas según la geometría [13]

La cercha utiliza una red de triángulos que se unen de modo que la presión y la tensión se aplican a los puntos de las esquinas de cada triángulo para tomar ventaja de su estabilidad para soportar una estructura. Gracias a la conexión de una serie de cerchas juntas, se puede transferir de forma segura una enorme cantidad de peso a vigas, muros de carga, o directamente al suelo.

El diseño de una cercha se determina realmente según cuál sea su finalidad de uso. Si se usa la cercha en edificios o torres, su diseño estará pensado para hacer frente a las tensiones cambiantes que soportan la construcción, como el viento o el clima, o para llevar el peso de manera uniforme y segura a los cimientos. Por el contrario, una cercha utilizada en un puente usará patrones triangulares para asegurar que el peso de un tren o un coche se distribuyen de manera segura a las columnas o a la tierra. La geometría actúa en la construcción de una cercha de varias formas:

- La geometría es fundamental en la determinación de la forma y el tamaño de los elementos que constituyen la cercha, incluyendo los triángulos, los ángulos y las longitudes de las barras. Es importante destacar que un incremento en la altura de estas figuras resulta en una mayor inercia, lo cual a su vez mejora el comportamiento estructural de los elementos que forman la edificación frente a diversos eventos de cargas actuantes sobre ella.
- La geometría ayuda a calcular las fuerzas internas y externas que actúan sobre la cercha, como las cargas, las reacciones y los esfuerzos axiales.

- La geometría permite optimizar el diseño de la cercha para lograr la máxima resistencia y estabilidad con el mínimo material y peso.

Arco: en geometría es cualquier curva continua que une dos puntos. En particular, un arco puede ser una porción de circunferencia, que queda definido a partir de dos puntos sobre dicha circunferencia. Principalmente trabaja a compresión permite salvar grandes luces con poco material. Un ejemplo es el Puente del Alamillo en Sevilla, que tiene una luz de 200 m y una sección transversal triangular.

La geometría juega un papel crucial en la optimización estructural de un arco.

- Forma y tamaño de los elementos: La geometría determina la forma y el tamaño de los elementos que componen el arco.
- Distribución de fuerzas: La comprensión de la distribución de los miembros de una estructura o arco y su función, es esencial para un entendimiento profundo de los sistemas que se pueden ramificar de este tipo de estructura.
- Optimización mediante algoritmos: Existen técnicas avanzadas como el diseño paramétrico y los algoritmos genéticos que se utilizan para optimizar las cerchas planas.
- Uso del triángulo: El triángulo es la mínima expresión del arco, éste se utiliza de manera repetitiva para componer el elemento estructural y salvar así, la luz que sea necesaria.
- Proceso de optimización: Durante el proceso de optimización, las soluciones no dominadas se guardan en el archivo a medida que se generan, hasta que el tamaño del archivo alcanza un valor límite.

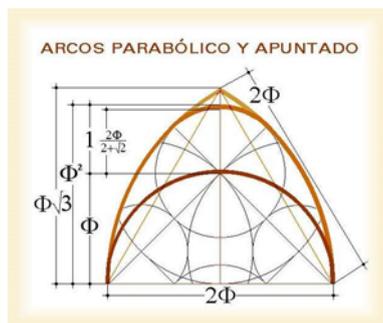


Figura 8a. Pre dimensionamiento de Arcos



Figura 8b. Puente del Alamillo en Sevilla

En cuanto a su uso en edificaciones, el arco es una estructura en forma de semicírculo, usado para pasar el peso desde arriba, hasta el suelo a través de los pilares que soportan el arco. Los arcos son estructuras curvas para cubrir el claro de un vano, diseñadas para sustentar una carga vertical principalmente por compresión axial. Transforman las fuerzas verticales de una carga sustentada en componentes inclinadas y las transmiten a los estribos en cada uno de los lados del vano arqueado. Los arcos se utilizaron por su impresionante diseño visual y para crear apoyo estructural en muchos de los edificios y monumento.

Cable: es una viga flexible trabaja principalmente a tracción y permite salvar grandes luces con poco peso. Un ejemplo es el Puente Colgante de Akashi Kaikyo en Japón, que tiene una luz de 1991 m y una sección transversal circular. En el caso específico de los cables, su geometría puede optimizarse para lograr una distribución eficiente de las fuerzas y minimizar el uso de material. Por ejemplo, en un puente colgante, la forma curva del cable principal se optimiza para distribuir uniformemente el peso del puente y las cargas adicionales a lo largo del cable (Figura 9). Además, la optimización geométrica puede contribuir a la estética del edificio. La forma y disposición de los cables pueden influir en el aspecto general del edificio y contribuir a su valor arquitectónico.



Figura 9. Puente peatonal del Milenio, 32001 Ourense, Province of Ourense, España [14]

Celosía: es una estructura formada por barras rectas unidas en sus extremos mediante articulaciones, que soportan cargas de tracción y compresión aplicadas en los nudos. La geometría puede optimizar este elemento estructural al buscar la forma y disposición de las barras que minimicen el uso de material y maximicen la resistencia y la estabilidad. Algunos factores que influyen en la optimización geométrica de las celosías son:

- La esbeltez de la celosía, definida como la relación entre la máxima luz y el canto mayor de la celosía. Una mayor esbeltez implica una menor cantidad de material y una mayor eficiencia estructural.
- La configuración de los cordones y el alma de la celosía, que determinan la distribución de las fuerzas axiales en las barras. Una configuración óptima es aquella que evita las fuerzas de compresión elevadas y las fuerzas de tracción negativas, que pueden provocar pandeo o rotura de las barras (Figura 10).
- La inclinación de las barras diagonales del alma, que afecta al comportamiento a flexión de la celosía. Una inclinación óptima es aquella que se aproxima a los 45 grados, ya que reduce el momento flector y el cortante en las barras. Un ejemplo es el Pabellón Alemán en Barcelona, que tiene una luz de 45 m y una sección transversal rectangular.

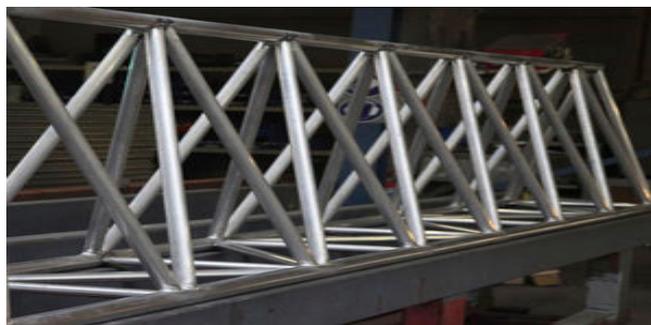


Figura 10. Viga tipo celosía triangular

Malla espacial: es una estructura formada por barras rectas unidas en sus extremos mediante articulaciones, que soportan cargas aplicadas en los nudos. La geometría de una malla espacial puede optimizar su comportamiento estructural al buscar la forma y disposición de las barras que minimicen el uso de material y maximicen la resistencia y la estabilidad. Algunos aspectos que influyen en la optimización geométrica de las mallas espaciales son:

- La esbeltez de la malla, definida como la relación entre la máxima luz y el canto mayor de la malla. Una mayor esbeltez implica una menor cantidad de material y una mayor eficiencia estructural.
- La configuración de los cordones y el alma de la malla, que determinan la distribución de las fuerzas axiales en las barras. Una configuración óptima es aquella que evita las fuerzas de compresión elevadas y las fuerzas de tracción negativas, que pueden provocar pandeo o rotura de las barras.

- La inclinación de las barras diagonales del alma, que afecta al comportamiento a flexión de la malla. Una inclinación óptima es aquella que se aproxima a los 45 grados, ya que reduce el momento flector y el cortante en las barras. La malla espacial (Figura 11), que es una viga formada por un conjunto tridimensional de barras y nudos y que trabaja a tracción y compresión. Un ejemplo es el Estadio Olímpico en Beijing, que tiene una luz de 330 m y una sección transversal compuesta (Figura 12).

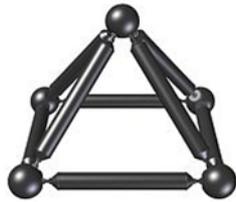


Figura 11. Malla espacial



Figura 12. Estadio Olímpico en Beijing

Es importante mencionar que la elección de la sección según las figuras geométricas tanto en columnas como en vigas depende de varios factores, incluyendo el diseño arquitectónico, los requisitos estructurales, el costo y las preferencias del diseñador. Por lo tanto, no hay una “mejor” opción universal, sino que depende del contexto específico del proyecto.

Conclusiones

La geometría es fundamental en la arquitectura y la ingeniería estructural. Sin geometría, no podríamos estar convencidos de que nuestros edificios son seguros y tendríamos muchas más dificultades para hacerlos atractivos.

La geometría facilita el análisis estructural de las edificaciones, al permitir modelar y simular el comportamiento de las fuerzas y los esfuerzos que actúan sobre ellas.

Los planos y dibujos arquitectónicos comunicarían muy poco sin la geometría, permitiendo representar y calcular las propiedades y medidas de las formas que delimitan el espacio, como las cubiertas y las envolventes para el diseño estructural.

La geometría ayuda a conocer el comportamiento estructural de las formas y a distribuir el peso de la carga de manera eficiente y segura, facilitando el diseño y la construcción de edificios, de estructuras complejas y desafiantes, con mayor precisión y claridad.

Es fundamental en cualquier estructura que cada componente de la ruta de carga tenga la resistencia adecuada para soportar las fuerzas internas que se generan. Esta resistencia puede ser optimizada a través de una selección cuidadosa de la forma y geometría de los elementos estructurales. Esto implica que es necesario tener un conocimiento detallado sobre el comportamiento estructural de diversos materiales y los elementos que componen el edificio.

En el pasado, se pensaba que adherirse a reglas geométricas estrictas era la clave para asegurar que los edificios fueran lo más bellos posible. Por lo tanto, la geometría en los elementos de una edificación no solo mejora su estética, sino que también garantiza su seguridad y estabilidad.

“Cuando cambio la forma de una estructura, cambio la forma de su comportamiento”. Buckminster Fuller.

Referencias

- [1] B. Hassani, “Optimización de elementos estructurales”, Tesis, Univ. Autónoma de Occidente. Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/>
- [2] “Recursos Educativos de la Xunta de Galicia” [En línea]. Disponible en: <https://recursos.edu.xunta.gal/es>

[3] Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. COVENIN MINDUR (Provisional) 2002-88. Ministerio de Fomento. Comisión Venezolana de Normas industriales.

[4] Ramírez Ospina, A. M., Cundumi Sánchez, O., González Muñoz, J. A., y Villalba Morales, J. D. “Optimización del diseño de estructuras conformadas por pórticos de acero resistentes a momentos y amortiguadores de masa sintonizada (TMD)”. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 31, No. 2, 9-26. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/issue/view/376>

[5] G. García, “Geometría descriptiva”. Colombia: Editorial Ecoe Ediciones. 2010.

[6] “Var House”, aceboXalonso. [Foto]. Disponible en: https://www.arquitecturaydiseno.es/casas/diez-casas-con-geometria-audaz_12

[7] “Elementos estructurales de un edificio”. Ingenieros Asesores, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/elementos-estructurales-de-un-edificio/>

[8] S. Martínez, Las columnas - Diseño Estructural I. StuDocu. (2022). [En Línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-autonoma-de-santo-domingo/disenio-estructural-i/las-columnas/12792413>

[9] M. Lodato y K. Finol. “Influencia de la esbeltez y sección de las columnas en el comportamiento estructural de edificaciones metálicas en diferentes zonas sísmicas”. 2014.

[10] L. Lucano “Columnas, Definición y Tipos”. *Slideshare*, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/columnas-definicion-y-tipos/192008478>

[11] J.Gutiérrez, J. Hurtado y J. Marulanda. “Análisis de vigas de sección rectangular y circular sometidas a flexión y torsión”. *Rev. de Ing. Mec.*, México. 2010.

[12] I. Newton. “Principios matemáticos de la filosofía natural”. Londres. 1687.

[13] “Roof Truss Elements, Angles and Basics to Understand”. Engineering Discoveries. [Foto]. Disponible en: https://engineeringdiscoveries.com/roof-truss-elements-angles-and-basics-to-understand/#google_vignette

[13] “Roof Truss Elements, Angles and Basics to Understand”. Engineering Discoveries. [Foto]. Disponible en: https://engineeringdiscoveries.com/roof-truss-elements-angles-and-basics-to-understand/#google_vignette

[14] “Puente del Milenio”. Mega Construcciones. [En Línea]. Disponible en: <https://megaconstrucciones.net/?construccion=puente-milenio-oreense>