

### Resumen

El artículo trata sobre la implementación de un método para resolver armaduras planas, estáticamente determinadas, el cual se ha formado de la fusión de dos métodos tradicionales para resolverlas: uno es el método de nudos y el otro es un método gráfico denominado Cremona. En el contenido se explica, mediante un ejemplo, cómo se pueden encontrar los esfuerzos dados en cada barra de la armadura con la sola graficación ordenada y a escala de los esfuerzos. Este método ha sido propuesto en base a las fortalezas que tienen los estudiantes de arquitectura en el campo del dibujo. Se expone también cómo este trabajo, puede derivar en la construcción de un modelo de armadura a escala, el cual, al ser probado con cargas reales, verificar si se han determinado correctamente los esfuerzos en las barras.

**Palabras clave:** Estructuras, estática, esfuerzos, modelo a escala

---

## Método gráfico por nudos, una alternativa de resolución de armaduras para estudiantes de arquitectura\*

*Graphic method by joints, an alternative of truss resolution for architecture students*

Arq. Alfredo Mujica Yépez\*\*

Recibido: 13 de abril de 2017  
Aceptado: 20 de junio de 2017

---

### Abstract

*The present article is about the implementation of a method to solve armour, statically determined, which has been formed from the fusion of two traditional methods to solve them, one is the joint method, and the other is a graphical method called Cremona. In the content, it is explained by an example how you can find the efforts given in each bar of the reinforcement, with the single graphical ordering and scale of the efforts. This method has been proposed based on the strengths that architecture students have in the field of drawing. It is also exposed how this work, can continue building a scaled armor model, which will be tested with real loads, to verify if the efforts in the bars have been correctly determined.*

**Keywords:** Structures, static, efforts, scale model

\* El método para resolver armaduras es el resultado de la observación de las dificultades que presentaban los estudiantes para dar solución a las estructuras con métodos tradicionales aplicados en el curso de Física para arquitectura en la Universidad Ricardo Palma.

\*\* Arquitecto, docente de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Ricardo Palma, tuvo a su cargo el curso de Física en la facultad en los años 1993-1995 y 1998-2000, donde desarrolló métodos alternativos para la enseñanza de la física y las estructuras, utilizando recursos gráficos y modelos tridimensionales. Actualmente pertenece al equipo de docentes del Taller Básico 4 y del Taller Integral 11.

## Introducción

La formación del estudiante universitario en la carrera de Arquitectura, comprende cursos diversos entre los cuales figuran los relacionados al conocimiento y dominio de las estructuras. Los cursos relacionados a las estructuras son por lo general impartidos por docentes con formación en ingeniería, por ello que los cursos adquieren un enfoque orientado a dicha disciplina.

En la facultad se inicia la formación en conceptos estructurales en el Curso de Física, en el que se desarrolla el tema de la estática como base para el entendimiento de las estructuras. Siendo la estática vinculada al equilibrio de las fuerzas.

Dentro del sílabo del Curso de Física, en la unidad didáctica dedicada a la estática, se considera el estudio de las armaduras como estructuras planas, diseñadas para la distribución de cargas desde algún elemento exterior conectado a la armadura en alguno(s) de sus nudos, hacia los apoyos de esta.

Las armaduras consisten en un conjunto de barras unidas entre sí mediante los nudos, estos nudos son uniones logradas a base de pernos,



Figura 1. Modelos a escala de armaduras soportando cargas reales, trabajos de estudiantes del Semestre 1999-I del curso de Física URP. [Fotografías del autor. Lima, 1999].

soldadura, amarres o cartelas, donde además de concentrar a las barras, se le pueden aplicar cargas. Los nudos se encargan de distribuir las fuerzas entre las barras, hasta llevarlas a los bordes de la armadura, donde se tienen los apoyos finales. En general, este tipo de estructuras sirven para soportar techos inclinados de una y dos aguas (ver figura 1).

Como docente del área de tecnología, en dos oportunidades, al estar a cargo de uno o dos grupos del curso de Física (1993-1995 y 1998-2000) y al ser el único arquitecto entre los docentes que impartían el curso, ya que los demás pertenecían a la rama de la ingeniería, se presentó el reto de proponer cambios en la forma en la que debía llevarse el curso, respetando el contenido del sílabo. Entonces, se observó que, para el desarrollo del tema de armaduras, se proponía, luego de la introducción, aprender tres métodos diferentes para resolverlas:

- a. Método de nudos
- b. Método de secciones
- c. Método gráfico de Cremona

## El Método de nudos

Este método era útil para conocer la magnitud y sentido de las fuerzas en todas las barras de la armadura. Consiste en aplicar ecuaciones algebraicas, para lo cual se debía realizar un diagrama de cuerpo libre (D.C.L.). En cada nudo, se debía empezar por aquellos nudos en los que solo se tenían dos incógnitas. El procedimiento implicaba establecer las ecuaciones de equilibrio de fuerzas (la suma de fuerzas debe ser cero), tanto en el eje  $x$  como en el eje  $y$ . Estas fuerzas debían descomponerse para poder ser sumadas en ambos ejes, recurriendo a la trigonometría (senos y cosenos).

Se tenía que ir despejando las fórmulas hasta obtener los valores de las fuerzas en cada barra, el sentido positivo o negativo de las fuerzas determinaban también si estas actuaban a compresión o a tracción (si presionaban al nudo era compresión, si lo tensionaban era tracción). Una vez resueltas las fuerzas en un nudo se pasaba al siguiente, siempre buscando los nudos vecinos en los que se tenían solo dos

incógnitas. Este método no era muy efectivo, pues se reducía a aplicar ecuaciones y despejar valores, tareas rutinarias que no permitían observar como un todo integral el comportamiento de las fuerzas en la armadura.

### **El Método de secciones**

Es muy práctico para determinar las fuerzas o esfuerzos en determinadas barras de la estructura. Se basa en hacer un corte que pase por las barras que se deben resolver, para luego aplicar momentos (fuerza por distancia) y resolver así los valores buscados. Con este método también es posible determinar la magnitud y el sentido de las fuerzas aplicadas a cada barra.

La ventaja que presenta este método está en permitir la solución de problemas puntuales de manera rápida, pero no resulta útil para resolver la armadura como un todo. Se considera que, la mejor forma de entender una estructura para un arquitecto es ver, visualizar cómo las fuerzas “viajan” por las barras y se distribuyen por los nudos hasta llegar a su destino final, los apoyos.

### **El Método gráfico de Cremona**

El aporte de este método es que se resuelve la armadura sin hacer ningún cálculo o ecuación. Se requieren únicamente dibujos a escala de las fuerzas o esfuerzos que se conducen por las barras, para lo cual, todas las barras que confluyen en un nudo deben estar en equilibrio, vale decir que la suma de fuerzas será cero. Y con este principio se trazan las fuerzas a una escala conveniente, dándole a la línea o vector el ángulo que le corresponde en la armadura los dibujos de equilibrio en cada nudo se van superponiendo unos a otros, hasta terminar con todos los nudos.

La desventaja de este método es que resulta confuso, ya que todos los dibujos se superponen unos con otros y resulta difícil determinar el sentido de las fuerzas (compresión y tracción). Los estudiantes se equivocaban frecuentemente en la graficación de las fuerzas al cruzarse unas sobre otras.

La experiencia en el curso, permitió concluir que estos tres métodos, si bien tenían sus vir-

tudes, también tenían inconvenientes. La mayor dificultad de estos tres métodos era ver como en cada nudo se anulaban las fuerzas para lograr el equilibrio, para lo cual unas debían estar a tracción y otras a compresión, y en algunos casos algunas no debían tener esfuerzo alguno. Situación que se hacía difícil de comprender y expresar.

### **¿Cómo se gestó el Método gráfico por nudos?**

Una tarde de preparación de la clase de física para el día siguiente, en el momento de desarrollar la resolución de una armadura aplicando el método de nudos, se tomó como ejemplo la armadura propuesta en un libro de estática; a manera de práctica se resolvió tal cual se haría en la clase.

Durante la resolución se apreció que la armadura elegida tenía un grado de dificultad considerable. Se procedió a desarrollar las ecuaciones de los primeros nudos, pero surgió una confusión dada la cantidad de barras que llegaban al nudo. Entonces se recordó el Método gráfico de Cremona como apoyo para la solución. Se consideró que se podría entender mejor el problema si realizaba un gráfico de estas fuerzas aplicando este método para resolver las incógnitas de ese nudo. Los arquitectos entienden mejor las propuestas cuando son dibujadas debido a la propia formación y oficio.

Dibujar las fuerzas ayudó rápidamente a resolver el nudo. A diferencia del gráfico de Cremona, se planteó que cada fuerza debía dibujarse como vector, es decir como una flecha apuntando a un determinado ángulo, hecho así, el dibujo reproducía de manera clara y ordenada las fuerzas que llegaban al nudo en un orden y sentido (se seleccionó el sentido horario). Y lo más gratificante que se observó es que si se traslada la flecha del vector que indicaba su dirección o sentido al diagrama de cuerpo libre inicialmente dibujado, podría saber que fuerzas estaban a compresión (las que llegaban al nudo) y que fuerzas estaban a tracción (las que salían del nudo). Con lo cual se superaban las carencias de los otros tres métodos que no proporcionaban esta información de manera tan rápida y segura. A partir de ese momen-

to, se consideró necesario enseñar también este método que resultaba de la integración del método de nudos con la resolución gráfica de las fuerzas en cada nudo, aplicando el procedimiento del método gráfico de Cremona con algunas modificaciones, que ahora permitían saber si el esfuerzo de cada barra era a compresión o tracción. El nuevo método resultante, después de los ajustes necesarios, quedó planteado como a continuación se desarrollará a través de un ejemplo práctico para la resolución de una armadura.

Previamente, es necesario definir algunos conceptos esenciales para entender mejor el trabajo que se realizará, entiendo que las armaduras son parte de un sistema estructural, siendo este “la unión estable de elementos diseñados para que funcionen como una unidad que soporta y transmite al terreno las cargas correspondientes, de una forma segura y sin exceder la resistencia de cada uno de los elementos” (Ching et al., 2014, p. 2)

Las armaduras funcionan como una unidad que soporta y transmite cargas a los apoyos, son también llamadas cerchas o vigas de celosía y se definen como “elementos formados por barras simples, unidas entre sí mediante articulaciones que forman una malla triangulada. Cada una de estas barras trabaja exclusivamente a tracción o compresión...” (Ching et al., 2014, p. 227)

### Resolviendo una armadura con el Método gráfico de nudos

El dibujo siguiente muestra una armadura plana de seis cuerpos, que cuenta con 12 nudos que unen a 21 barras. En este caso se aplican las cargas o fuerzas exteriores en cuatro nudos. El método se desarrolla de la siguiente manera:

#### a. Verificación previa

Antes de empezar a resolver la armadura se debe verificar si la configuración de la misma permite resolverla estáticamente. Luego, se debe observar que los espacios interiores delimitados por los nudos y barras sean siempre formas triangulares, ninguno de esos espacios debe ser de forma rectangular, cuadrada o trapezoidal.

En este caso se observan al interior 10 triángulos (ver la figura 2), no se tiene ninguna otra figura de un número mayor de lados (4, 5, 6, etc.), las formas triangulares harán posible la indeformabilidad de la estructura y la posibilidad de resolverla aplicando la estática. También es posible verificar que la armadura puede resolverse por métodos estáticos, aplicando la siguiente fórmula:

$$B = 2N - 3$$

Siendo:

B el número de barras (21)

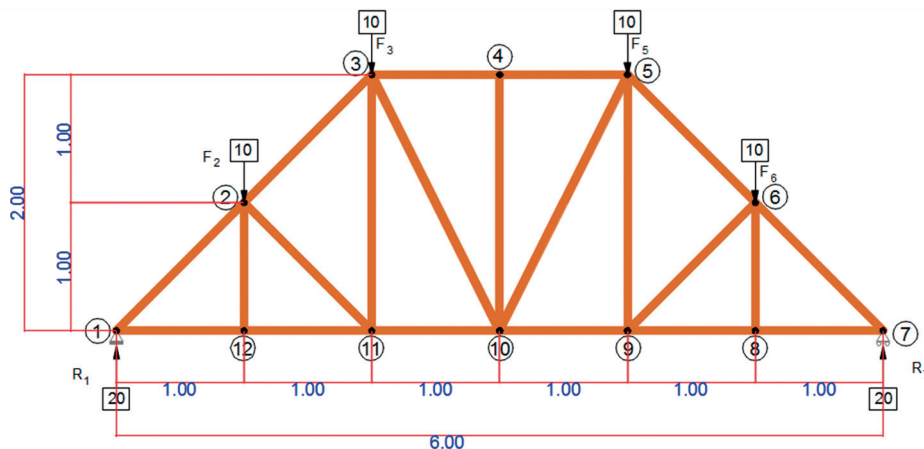


Figura 2. Armadura para resolver. [Gráfico realizado por el autor. Lima, 2018].