

## SISTEMAS RETICULADOS O DE ALMA CALADA PLANOS

### CÓMO PUEDE CONCEBÍRSELOS

#### 1. Introducción

Es intención de estas notas presentar a los alumnos de Estática y Resistencia de Materiales la *concepción de los sistemas reticulados, o de alma calada*, como también se los conoce, con una mirada diferente de la que suele emplearse habitualmente, lo que, quizás, les permita comprender mejor cómo puede pensarse su funcionamiento estructural, facilitándoles, entonces, el cálculo de los esfuerzos en las barras que los componen.

Debe quedar claro que la idea no es la de desarrollar aquí todo el capítulo referido a los Sistemas Reticulados Planos, sino sólo presentar su funcionamiento estructural desde otro punto de vista.

Previamente, repasaremos algunas ideas generales íntimamente relacionadas con el tema.

#### 2. *¿Qué es un sistema reticulado y cómo está compuesto?*

##### 2.1. *¿Qué es?*

Los *Sistemas Reticulados* y los Sistemas de Alma Llena constituyen dentro de la Ingeniería dos tipologías estructurales muy importantes y son las dos únicas cuyo estudio abordamos en nuestra asignatura. Cada una de ellas responde a una necesidad técnica diferente y posee un ámbito de aplicación que le es propio.

Refiriéndonos a la primera, que es la que atrae ahora nuestra atención, podemos resumir la idea general acerca de qué es un *sistema reticulado* diciendo que se trata de una *estructura muy liviana* (posee poco *peso propio*), que *permite salvar grandes luces* (grandes distancias entre puntos de apoyo), lo que hace de ella una *estructura sumamente eficiente*<sup>(\*)</sup>, y en la cual, en principio, *cada una de las barras que la componen funciona, exclusivamente, bajo esfuerzos axiales de tracción o de compresión*, denominados también *esfuerzos directos*.

(\*) Podríamos decir que el hecho de que se trate de una *estructura muy eficiente* significa, para nosotros, que *requiere poco material por unidad de sobrecarga a resistir*. Recordemos que la finalidad de toda estructura es la de resistir *cargas exteriores a ella*, conocidas habitualmente en la técnica con el nombre de *sobrecargas*. (Una estructura totalmente ineficiente sería aquella que sólo poseyera capacidad portante para resistir su propio peso.)

## 2.2. ¿Cómo está compuesto?

Los *sistemas reticulados*, que pueden ser *planos* o *espaciales*, están compuestos por un *conjunto de barras rígidas*, habitualmente denominadas *bielas*, vinculadas entre sí en determinados puntos, del plano o del espacio, según corresponda, denominados *nudos*, dando lugar a una *estructura no maciza*, sino en forma de “retícula” o “de alma calada”.

*Debemos recordar aquí que el funcionamiento de las barras sólo bajo esfuerzos directos exige como contrapartida que las cargas exteriores se apliquen, exclusivamente, en los nudos de la estructura.*

## 2.3. Algunos ejemplos de reticulados planos:

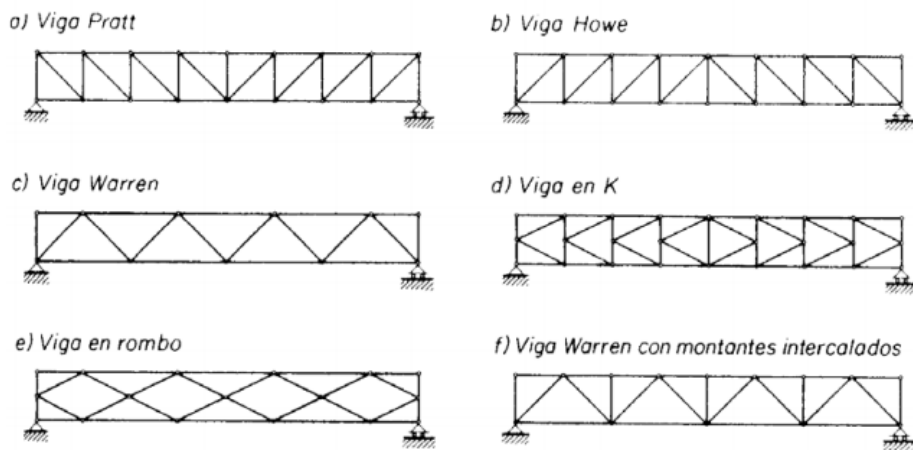


Figura 1

Fuente: “Teoría y Cálculo de Estructuras”, Alberto Villarino Otero (Escuela Politécnica Superior de Ávila)

## 3. ¿Qué es una barra?

En la Ciencia de la Construcción denominamos *barra* a un *elemento estructural lineal*, es decir, uno en el cual *la longitud predomina acusadamente sobre las dimensiones de la sección transversal*. (Para tener un orden de magnitud, pensemos en una relación entre la longitud de la barra y la mayor dimensión de la sección transversal igual o mayor que 3.)

En nuestro curso, sólo aprendemos a resolver estructuras formadas por *barras de eje recto*, que, por otra parte, son las que se estudian casi con exclusividad en Resistencia de Materiales. Ver figura 2.

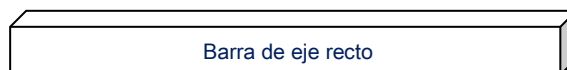


Figura 2

#### 4. ¿A qué se denomina rigidez?

Todos los cuerpos de la Naturaleza poseen, en mayor o menor medida, la *cualidad de oponerse a que se los deforme*. Esta característica, íntimamente relacionada con propiedades intrínsecas del material constitutivo y de su “distribución” en la sección, recibe en nuestro ámbito el nombre de rigidez.

La observación atenta de las deformaciones que podemos imprimirle a una barra (imaginémosla, para tal fin, constituida por un material muy deformable, como la goma) nos permite resumirlas en las siguientes:

- Un *alargamiento* o *acortamiento* en la dirección de su eje.
- Un *encorvamiento* en alguno de los planos principales de inercia, o en algún otro plano (flexión => curvatura).
- Un *retorcimiento* alrededor de su eje (torsión).
- Un *deslizamiento relativo* de una sección con respecto a otra, como si fuesen naipes, puestos uno al lado del otro y con una determinada ligazón interna entre sí (corte).

Podemos decir, entonces, que *una barra real posee, en mayor o menor medida, rigidez frente a todas las deformaciones posibles que las acciones exteriores pueden imprimirle*.

Por lo tanto, si la barra se opone a que se la deforme de alguna de esas maneras, desde el punto de vista resistente diremos que la barra posee: *rigidez axial, a flexión, a torsión* o *al corte*, según corresponda. (Habitualmente, si la barra posee rigidez a flexión, también presenta rigidez axial y al corte.)

#### 5. ¿Qué es una biela y cómo funciona?

##### 5.1. ¿Qué es?

Si la sección transversal de una barra es decididamente reducida, lo que le confiere, entonces, una *gran esbeltez* (delgadez), estaremos en presencia de un tipo de barra muy particular que podríamos denominar biela real. Esta pieza, tan especial, posee *una rigidez tan escasa frente a las tres últimas deformaciones mencionadas en el punto anterior que se las puede despreciar frente a la rigidez axial*, que siempre suele ser muy importante, aún si la barra es esbelta.

Ahora bien; siendo tan grande esta rigidez, se admite en la práctica que es infinita, dando lugar a una *pieza absolutamente indeformable axialmente*, denominada en nuestro ámbito simplemente biela. (Esta idea está de acuerdo con la del *cuerpo rígido* que, con carácter general, venimos empleando desde que iniciamos el estudio de la Estática.)

Dado que al formar parte de una estructura toda barra estará vinculada en sus extremos, podremos decir, entonces, que denominamos *biela* a una *barra ideal que sólo posee rigidez axial (infinita) y que al vincular entre sí a dos puntos materiales cualesquiera mantiene constante la distancia que media entre ellos* (ver figura 3).

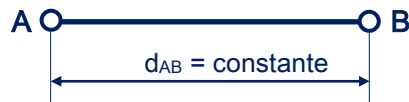
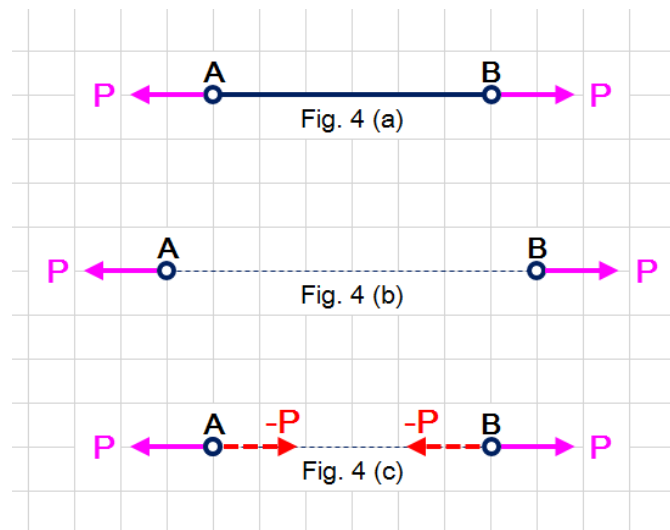


Figura 3: BIELA (barra de sección transversal sumamente pequeña)

## 5.2. ¿Cómo funciona?

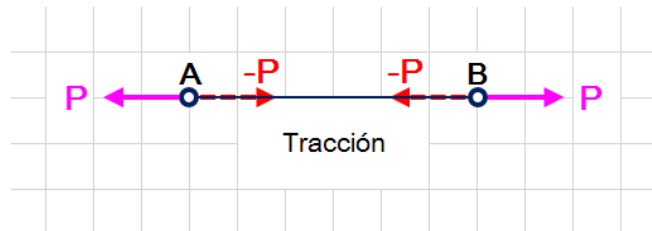
Para entender cómo funciona una biela, consideremos el esquema de la figura 4(a), en el que se muestra una que vincula a los puntos A y B, y a la que se le aplican en sus extremos dos fuerzas opuestas (para que exista equilibrio), colineales con ella.

Si ahora imaginamos que retiramos la biela (figura 4(b)), las fuerzas aplicadas provocarían el movimiento de los puntos extremos, modificándose así la distancia que existe entre ellos. Para que esto no suceda es preciso aplicar en cada uno fuerzas opuestas a las existentes, que representan en definitiva, desde el punto de vista estático, el efecto cinemático que realiza la biela (figura 4(c)).

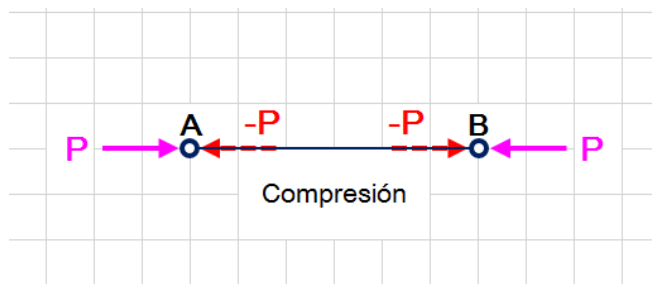


De acuerdo con lo anterior, y en base a la convención que ha sido adoptada al respecto, se tendrá lo siguiente:

- Si los dos puntos vinculados por la biela tratan de alejarse (se incrementa la distancia que los separa), decimos que la barra está sometida a un esfuerzo de *tracción*, al que se le asigna valor positivo.



- Si los dos puntos vinculados por la biela tratan de acercarse (disminuye la distancia que los separa), decimos que la barra está sometida a un esfuerzo de *compresión*, al que se le asigna valor negativo.



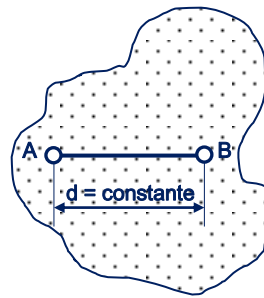
## 6. ¿Cómo podemos *concebir*, entonces, a un *sistema reticulado*?

Habitualmente, la generación de un sistema reticulado suele presentarse partiendo de tres bielas que se vinculan entre sí de modo tal que conformen un triángulo, con sus tres vértices perfectamente articulados. El comportamiento cinemático de este sistema (cadena cinemática cerrada de tres chapas) es el mismo que el de una chapa, por lo que presenta tres grados de libertad.

Agregando luego a ese sistema dos bielas nuevas, articuladas a sendos vértices del triángulo y que a la vez se articulan entre sí, dando lugar a un nuevo vértice, se obtiene una retícula, formada por dos triángulos, que vuelven a constituir un sistema rígido con tres coordenadas libres. Continuando con este esquema de razonamiento, puede generarse el reticulado que se desee, que siempre será una chapa, cinemáticamente hablando.

Nosotros, tal como lo hemos anticipado en el punto 1, intentaremos presentar las cosas con una mirada diferente.

Recordemos, en primera instancia, que al tratar el equilibrio de los cuerpos vinculados hemos denominado *chapa* a un *conjunto plano de puntos materiales vinculados entre sí por la condición de rigidez*, idea que da como resultado que *la distancia que media entre dos puntos cualesquiera de la chapa sea una magnitud invariable*. Esto, nos permite establecer una equivalencia entre la *condición de rigidez* y la idea de *biela*, lo que a su vez hace posible pensar la condición de rigidez como si se tratase de una *biela virtual interna*.



CHAPA

Consideremos, ahora, para facilitar nuestros razonamientos, una chapa de forma rectangular, que posee, como ya sabemos, tres grados de libertad, a la que le aplicamos tres condiciones de vínculo externo, de modo tal que se encuentre isostáticamente sustentada y sea cinemáticamente estable (no existe vinculación aparente). Ver figura 5.

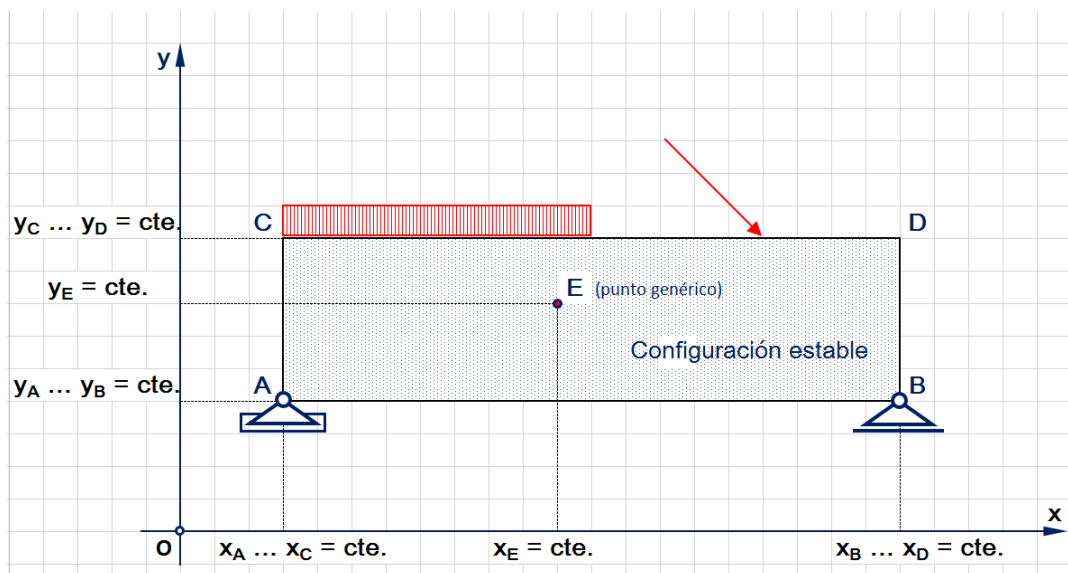
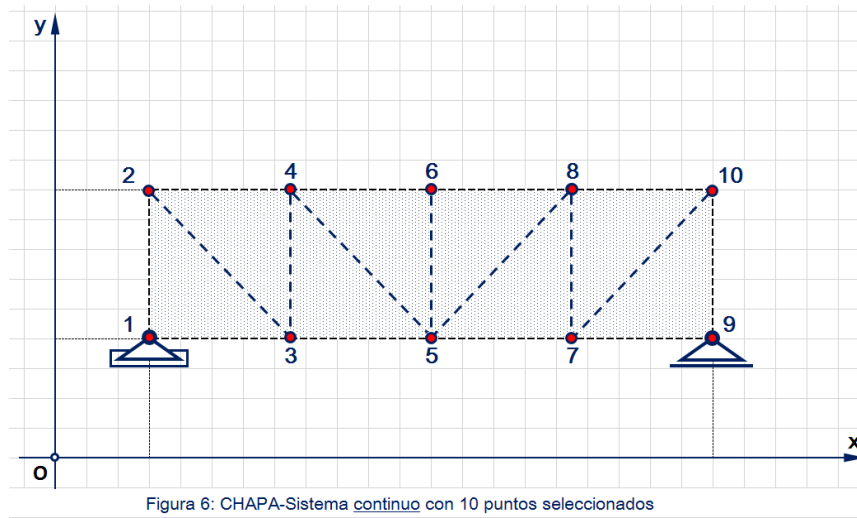


Figura 5: CHAPA = sistema continuo de puntos materiales

Como el sistema carece de capacidad de movimiento, todos los puntos que lo constituyen se encontrarán fijos, es decir, que sus coordenadas permanecerán invariables con respecto a una terna ortogonal de referencia, aun cuando actúe sobre él cualquier sistema de fuerzas exteriores. De modo particular, serán invariables, por ejemplo, las coordenadas de los diez puntos materiales 1 a 10 seleccionados sobre la chapa que se muestra en la Figura 6 y permanecerán constantes las distancias que los separan.



Supongamos, ahora, que en dicho sistema *decidimos reemplazar la condición de rigidez existente entre los diez puntos por bielas*, tales como las que se muestran en trazo discontinuo en la misma Figura 6. Dado que éstas cumplirían la misma función que la condición de rigidez, podríamos eliminar el material contenido dentro de cada uno de los triángulos que se han formado y el sistema seguiría siendo estable, ya que las bielas se encargarían de mantener en su posición a cada uno de los diez puntos seleccionados, de modo tal que, procediendo como lo hemos expuesto, podríamos pasar de un sistema *continuo* de puntos materiales vinculados entre sí por la condición de rigidez a un conjunto *discreto* de diez puntos materiales vinculados entre sí por diecisiete bielas, tal como se muestra en la Figura 7.

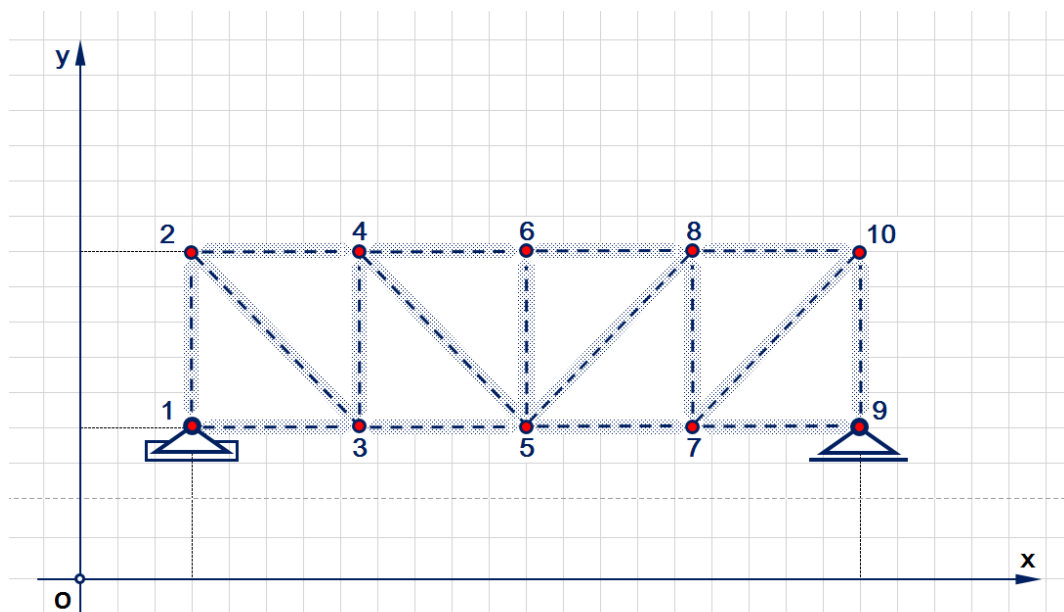


Figura 7: CHAPA-Sistema discreto formado por 17 bielas



---

Este nuevo sistema recibe el nombre de *sistema reticulado o de alma calada* (esta última denominación se corresponde bien con el esquema de pensamiento que hemos llevado adelante), y dentro de él podemos individualizar los siguientes *elementos*:

- Los puntos 1 a 10, sostenidos en su lugar por las bielas, reciben el nombre de *vértices* del reticulado.
- Las barras 1-3, 3-5, 5-7 y 7-9 constituyen el denominado *cordón inferior*.
- Las barras 2-4, 4-6, 6-8 y 8-10 constituyen el denominado *cordón superior*.
- Las barras 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 y 9-10 se denominan *montantes*.
- Las barras 2-3, 4-5, 5-8 y 7-10 se denominan *diagonales*.

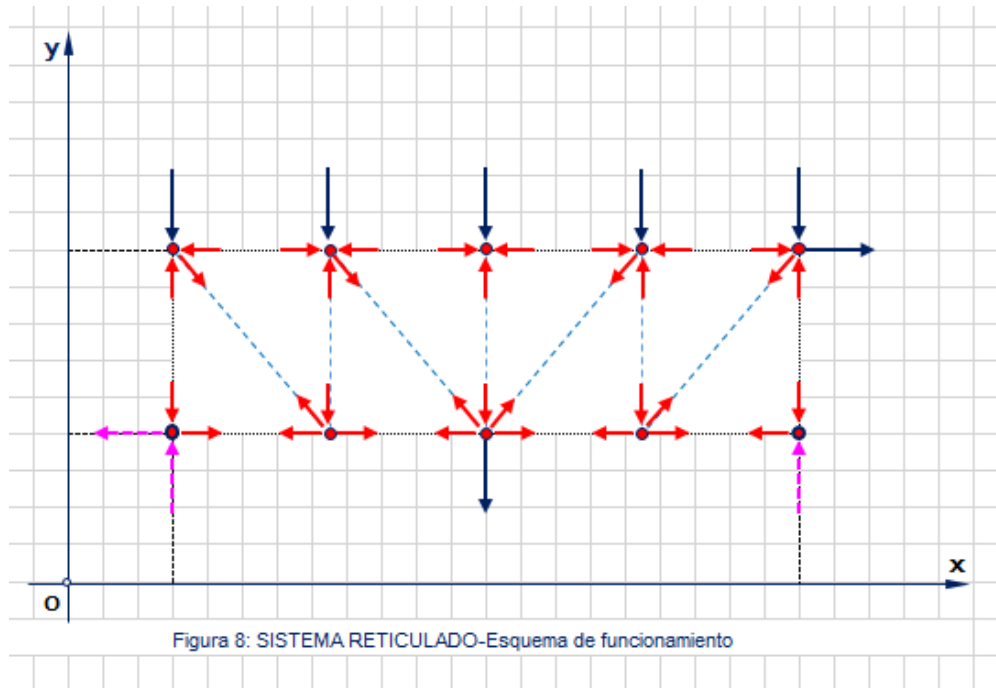
Es importante recordar aquí que cada uno de los triángulos constituye una cadena cinemática cerrada, formada por tres barras rígidas, lo que también le confiere a ese sistema la cualidad de ser indeformable. *Será imprescindible, por lo tanto, para lograr el objetivo de la estabilidad cinemática del sistema discreto de puntos materiales que coloquemos una cantidad mínima de bielas* (igual a  $2V-3$ , siendo  $V$  el número de puntos o vértices) *y que el triángulo se constituya en la figura básica de generación de la trama de la estructura.*

## 7. ¿Cómo funciona, entonces, un sistema reticulado?

Podemos redondear la idea que deseamos presentar con estas líneas recordando que, al iniciar el curso, hemos justificado el movimiento de un punto material mediante la idea de fuerza. Quiere decir, entonces, que *cualquier estado de fuerzas exteriores que actúe sobre el reticulado tratará de cambiar la ubicación de los vértices, o, lo que es lo mismo, intentará modificar sus coordenadas, lo que tendrá que ser impedido por las bielas, para que el sistema permanezca cinemáticamente estable, o sea, para que esté en equilibrio. Para cumplir su cometido, dichas bielas tendrán que desarrollar un esfuerzo, en la dirección de su eje* (única según la cual poseen rigidez), *denominado esfuerzo normal o axial.* Ver figura 8.

El modo en que reaccionan la bielas puede ser visto, también, recordando que al tratar el equilibrio de los cuerpos vinculados hemos denominado *vínculo a toda condición geométrica impuesta en la dirección de una determinada coordenada.* Cada *biela* constituye, entonces, una *condición de vínculo interna*, impuesta en la dirección de su eje, por lo que sólo podrá desarrollar un esfuerzo que tenga esa dirección.





## 8. ¿Cómo se calculan los esfuerzos en las barras?

De acuerdo con lo que hemos dicho en el punto anterior, se obtendrá *en cada vértice un sistema de fuerzas concurrentes* (plano o espacial, según corresponda), *que deberá encontrarse en equilibrio*, tal como se lo pone de manifiesto en la misma figura 8 (para un sistema plano). Por lo tanto, planteando en cada uno de ellos las ecuaciones de equilibrio correspondientes, podremos solucionar el problema que representa la determinación de los esfuerzos en cada una de las barras que componen el reticulado.

Recordemos que si el sistema es plano, y según lo hemos expresado antes, la cantidad mínima de barras para que el sistema sea estable es igual a  $2V-3$ , siendo  $V$  el número de vértices, y que será igual a  $2V$  el número total de ecuaciones disponibles.

Debemos tener presente que si la determinación de los esfuerzos se lleva a cabo manualmente, el número de esfuerzos desconocidos en cada vértice cuyo equilibrio se analice no podrá ser mayor que dos, dado que éste es el número de ecuaciones que brinda la Estática.

Recordemos, por último, que si bien el planteo de las *ecuaciones de equilibrio en cada vértice* constituye el *procedimiento general de resolución*, en muchos casos de reticulados planos el *método de las secciones* puede resultar más expeditivo.

---oOo---