Capítulo 1. LOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

1.1 OBJETO DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES.

La Mecánica Clásica supone que cuando sobre un sólido ideal se aplica un determinado sistema de fuerzas aquél permanece indeformable. La realidad es bien distinta: cualquier cuerpo real sobre el que actúa un sistema de fuerzas, se deforma siempre en mayor o menor grado, aunque muchas veces estas deformaciones no sean detectables a simple vista. Las fuerzas interiores que se ejercen entre las moléculas y átomos del cuerpo, se oponen a esta deformación. Si vamos aumentando la magnitud de las fuerzas aplicadas van aumentando, también, gradualmente las deformaciones y las citadas fuerzas interiores, hasta que llega un momento en que el cuerpo se rompe.

La Resistencia de Materiales, tiene por objeto principal hallar los esfuerzos, por unidad de superficie, (tensiones), que se originan en los distintos puntos de un cuerpo cuando sobre éste actúa un sistema de fuerzas cualquiera.

En el caso de una pieza en movimiento, por ejemplo una biela de una máquina, el sistema de fuerzas que actúa sobre ella no está en equilibrio, pero en nuestro caso, que nos ocuparemos exclusivamente de los problemas planteados por las construcciones, el sistema de todas las fuerzas reales, que actúa sobre el cuerpo, estará siempre en equilibrio, es decir, que el sistema de sectores que representa todas las fuerzas, será siempre un sistema nulo.

La Resistencia de Materiales, añade algunas hipótesis simplificadas, a las pocas hipótesis fundamentales de que parte la Teoría de la Elasticidad. Se obtienen así, soluciones con la aproximación suficiente que requieren la mayoría de los problemas de dimensionamiento o de la comprobación de la estabilidad de las vigas o piezas que componen una estructura, que son los dos aspectos en que se suelen presentar los problemas de que se ocupa esta Técnica y que definimos a continuación:

a) DIMENSIONAMIENTO: Es cuando conociendo el sistema de fuerzas, en equilibrio, que actúan sobre una viga o estructura, nos proponemos determinar cuales son las dimensiones a dar a esta viga o estructura para que los esfuerzos específicos internos (tensiones) o las deformaciones no pasen de los límites fijados previamente como admisible.

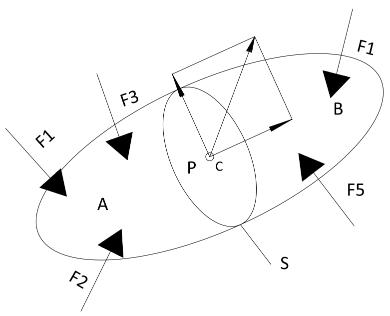
b) COMPROBACIÓN: En este caso, conociendo previamente las dimensiones de la estructura y el sistema, en equilibrio de fuerzas que actúa sobre ella (cargas directamente aplicadas y reacciones de los apoyos), nos proponemos determinar los esfuerzos interiores y deformaciones para comprobar que éstos no son superiores a los límites máximos admitidos.

Generalmente lo que se fija para el dimensionamiento son los valores máximos que pueden alcanzar los esfuerzos internos. Las deformaciones se investigan, generalmente, como veremos después, para determinar las reacciones de los apoyos y los esfuerzos internos que no pueden hallarse con solo los recursos que ofrece la Mecánica Clásica (las ecuaciones de la Estática).

1.2 CONCEPTO DE TENSIÓN

En el apartado anterior, hemos utilizado varias veces el término de “esfuerzos específicos interiores” o “tensiones”. Precisemos y definamos este concepto, de capital importancia para todo lo que sigue.

Consideremos un cuerpo natural al que se le aplica un sistema de fuerzas en equilibrio. Este sistema será pues, nulo.



Imaginemos una superficie S que divide al cuerpo en dos partes A y B.

La parte A estará en equilibrio, bajo la acción de las fuerzas que le son directamente aplicadas (F_1, F_2, F_3); y de las acciones o esfuerzos interiores que la parte (B) ejerce sobre la (A) a través de su superficie de contacto S.

Sea C un pequeño entorno, de área $\partial\Omega$, de ésta superficie, que comprende al punto P, e ΔF la fuerza ejercida a través de este pequeño elemento de superficie.

Se llama tensión en el punto P, según la orientación definida por la superficie plana (C) al Vector:

$$\boxed{\overrightarrow{t} = \lim(\Delta\Omega \rightarrow 0)\frac{\overline{\Delta F}}{\overrightarrow{\Delta\Omega}} = \frac{d\overline{F}}{d\Omega}}$$

Es pues la fuerza por unidad de superficie, en el punto P y ejercida según el plano (C) que pasa por este punto. A cada punto P, corresponde pues un conjunto doblemente infinito de vectores tensión correspondientes al conjunto doblemente infinito de planos que pasan por P. Así pues el término “tensión en el punto P carece de sentido, por incompleto, si no se precisa sobre que orientación se ejerce.

En general el vector $\vec{t}$ es oblícuo al plano C y $\vec{t}$, puede descomponerse en dos componentes situadas sobre la normal al plano, dirigido de (A) hacia (B) y otra contenida en éste. A estas dos componentes se las designa por tensión normal $\overrightarrow{\sigma}$ y tensión tangencial $\vec{\tau}$.

Estas tensiones, $\overrightarrow{\sigma}$ y $\vec{\tau}$ (y también su resultante $\vec{t}$) son fuerzas por unidad de área, y tienen por tanto, la dimensión FL^{-2} .

Las fuerzas $\overrightarrow{F_L}$ aplicadas al cuerpo pueden ser fuerzas de volumen (como por ejemplo el peso) o fuerzas de superficie (como por ejemplo empuje de las tierras, hidrostático, fuerzas de rozamiento, etc)

Notemos que en la definición de tensión hemos supuesto;

a) que el cuerpo está formado por un medio continuo, lo que no corresponde a la realidad pues la materia está constituida por moléculas y éstas a su vez por átomos. Pero se puede aceptar la anterior definición porque un elemento diferencial de volumen comprende un número elevadísimo de moléculas.

b) Que las acciones entre las dos partes (A) y (B) del cuerpo se reducen a las acciones de superficie. Esta hipótesis corresponde prácticamente a la realidad, porque la acción de cada molécula solo se hace notar, en virtud de la ley de la atracción universal de Newton, sobre las moléculas vecinas a distancia muy pequeña.

1.3 DEFINICIÓN DE VIGA EN GENERAL.

Como el objeto principal de la Resistencia de Materiales es el estudio de las vigas (en el sentido amplio de la palabra), y de las estructuras formadas por un conjunto, resistente, de vigas enlazadas entre sí, pasamos a dar el concepto de “viga” o “pieza”.

“Una viga o pieza es un sólido engendrado por una sección plana S, cuyo centro de gravedad recorre una curva C, manteniéndose el plano π de S normal a la curva “.

La sección plana S, se llama sección recta o sección normal de la viga.

La curva C es la fibra media de la viga, sin que esta denominación tenga ninguna relación con la estructura material.

Viga alabeada, es cuando la curva C es alabeada.

Viga plana, es cuando la curva C es plana.

Viga recta, es cuando la curva C es una recta.

Las vigas alabeadas son muy poco corrientes, las vigas o piezas planas más usuales son los arcos. Las vigas rectas suelen denominarse comúnmente, simplemente “vigas”.

En la mayor parte de las vigas planas que se consideran, el plano de la fibra media es un plano de simetría, llamado plano medio (vigas de plano medio).

Cuando la viga es recta se llama viga de plano medio cuando la sección recta tiene un eje de simetría contenido siempre en este plano.

En todo lo que precede hemos supuesto S constante. En este caso se dice que es de sección constante. Frecuentemente, la sección S varía gradualmente de magnitud, e incluso de forma, para definir una viga más idónea a los esfuerzos que debe soportar; se dice entonces que la viga es de sección variable.

Se llama rebanada al elemento de una viga comprendida entre dos secciones muy próximas.

1.4 FUERZAS APLICADAS A LAS VIGAS

Las fuerzas aplicadas a una viga comprenden;

a) Fuerzas dadas o cargas.

b) Las reacciones de los apoyos, que provienen de los enlaces exteriores, es decir de la forma como la viga está sustentada a un medio o sistema exterior o ajeno a la viga.

En el caso de un sistema de vigas, puede ser preciso considerar enlaces interiores correspondientes de la forma que una viga se enlaza con otra del mismo sistema. Después daremos varios ejemplos de reacciones.

a) Fuerzas dadas. Estas pueden ser de superficie (como el empuje hidrostático o de las tierras y cualquier carga repartida o de rozamiento; o de volumen; el ejemplo más clásico de estas últimas es el propio peso de la viga.

Las fuerzas, también se clasifican, en repartidas o concentradas, entendiéndose por estas últimas cuando actúan sobre un elemento de volumen o superficie muy pequeña, como por ejemplo, la fuerza que hace sobre la plataforma de un puente la rueda de un camión (fuerza vertical) o la fuerza de frenado (fueran horizontal). Ambos ejemplos de fuerzas concentradas son de fuerzas de superficie.

Ejemplo de fuerzas repartidas son el peso (fuerza de volumen), la carga que realiza sobre la viga de apoyo al contorno de una placa que apoya sobre dos o más vigas (fuerza de superficie), la fuerza del viento, etc.

b) Reacciones de apoyo

Nos limitamos aquí a las vigas de plano medio.

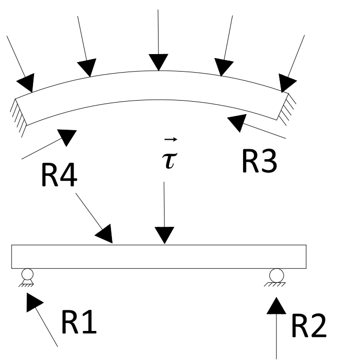
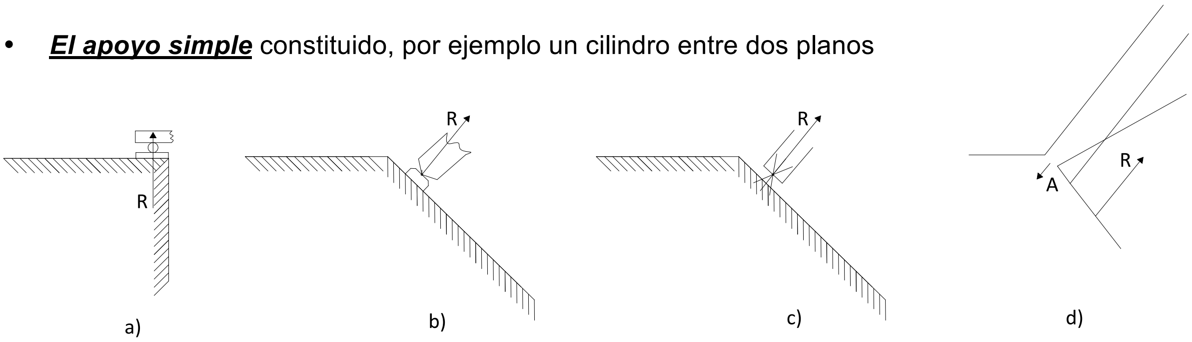


FIG.12

La viga ejerce una acción sobre los apoyos y éstos devuelven a la viga una reacción igual y contraria. El efecto que el apoyo ejerce sobre la viga, o sea la reacción, es equivalente a una fuerza concentrada, tal como se indica en los ejemplos de la figura.

Entre los diferentes tipos de enlace que se disponen para las vigas de plano medio, se distinguen, como más importantes, y casi exclusivamente, los siguientes;

- ***El apoyo simple*** constituido, por ejemplo un cilindro entre dos planos



Este tipo de apoyo solo coarta un solo movimiento del extremo de la viga (en el caso de la figura a) el vertical) y da lugar a una reacción cuya posición y dirección está completamente determinada. Hay por tanto una sola incógnita; la magnitud de la reacción.

- **La articulación**. En las vigas metálicas está constituída por una rótula y en la de hormigón armado por una sección muy reducida y bien armada (rótula o articulación Freyssinet). De la reacción correspondiente sólo se sabe que pasa por el punto, que teóricamente determina la posición de la articulación. Se desconoce la dirección y magnitud de la fuerza. Aquellas pueden venir determinadas por las proyecciones H y V sobre dos rectangulares, soliéndose tomar, uno horizontal (el otro será por tanto vertical). Hay pues dos incógnitas; las componentes horizontal y vertical de la reacción. Este tipo de apoyo coarta toda la traslación y permite e giro.

- **El empotramiento**. Coarta todo movimiento de la extremidad de la pieza; traslación y giro. Es decir, asegura la completa inmovilidad del extremo de la viga.

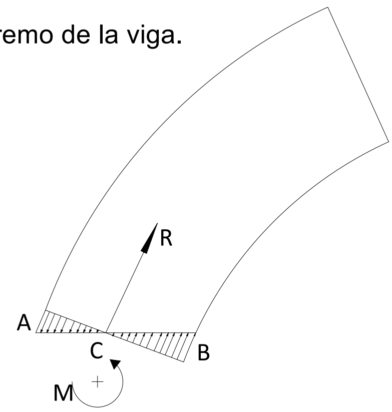


FIG.1.4

En este caso la reacción ejercida está constituida por una fuerza repartida, que en virtud de la primera hipótesis fundamental, que veremos a continuación, puede sustituirse por una fuerza $\overrightarrow{R}$ (resultante general de las fuerzas repartidas) y su momento resultante respecto al centro de gravedad de la sección AB (ver fig.14) .

“Este equivale a una fuerza única $\overrightarrow{R}$ que actúa excéntricamente a la sección, unido a esta por un brazo rígido”

La determinación de este tipo de reacción implica tres incógnitas. Las proyecciones de $\overrightarrow{R}$ (x e y) sobre dos ejes (en general rectangulares y uno de ellos horizontal) y el momento de las fuerzas repartidas (o sea de su equivalente $\overrightarrow{R}$) respecto a un eje normal al plano medio de la viga trazado por G. (Las incógnitas son; X, Y y M). También se designan otras veces por H, V y M).

1.5 RELACION ENTRE LAS FUERZAS DADAS Y LAS REACCIONES APLICADAS. ISOSTÁTICO E HIPERESTATISMO. PRIMERA HIPÓTESIS DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES.

Estando la pieza que estudiamos en equilibrio, el sistema de fuerzas reales aplicadas a él, deben formar, como ya hemos dicho, un sistema de vectores nulo. Las fuerzas aplicadas son las dadas y las reacciones de los apoyos.

En el caso más general se deben verificar pues las dos ecuaciones vectoriales (ecuaciones de la estática) siguientes:

$$\left.\begin{array}{l} \sum \overrightarrow{F_i} = 0 \\ \\ \sum \overrightarrow{M_i} = 0 \end{array}\right\} \quad (1)$$

Siendo $\sum F_i$ la suma geométrica de todas las fuerzas aplicadas $\sum F_i$ (fuerzas dadas y reacciones).

Y $\sum M_i$ la suma de momentos de todas estas fuerzas respecto a un punto cualquiera.

Si tomamos un triedro trirrectángulo y proyectamos sobre sus ejes los componentes de $\overrightarrow{F_i}(X_1, Y_1, Z_1)$ y de $\overrightarrow{M_i}(M_1, M_2, M_3)$ las dos ecuaciones vectoriales (1) equivalen a las 6 algebraicas siguientes.

$$\left.\begin{aligned} \sum X_i &= 0 \\ \sum Y_i &= 0 \\ \sum Z_i &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \left.\begin{aligned} \sum M_x &= 0 \\ \sum M_y &= 0 \\ \sum M_z &= 0 \end{aligned}\right\} \text{(1´)}$$

Siendo seis, las ecuaciones que ligan las reacciones con las fuerzas dadas, se deduce, que para asegurar el equilibrio de una viga alabeada sometida a un sistema de fuerzas cualquiera (fuerzas dadas y reacciones), es necesario disponer al menos de 6 incógnitas.

En las piezas o vigas de plano medio, cargadas en su plano de una forma cualquiera (que son principalmente de las que nos ocuparemos) las 6 ecuaciones (1´) se reducen a las 3 siguientes:

$$\left.\begin{aligned} \sum X_i &= 0 \\ \sum Y_i &= 0 \\ \sum M_z &= 0 \end{aligned}\right\} \text{(1´´)}$$

Por tanto para asegurar el equilibrio de una pieza de plano medio, cargada en su plano, es necesario, para las reacciones de apoyo, disponer de 3 incógnitas al menos.

Para las vigas rectas sometidas a fuerzas paralelas (gravedad por ejemplo) sólo es necesario disponer, por lo menos, de dos incógnitas, para las reacciones.

Un ejemplo de cada uno de estos dos últimos casos se ilustra en la figura 1.5

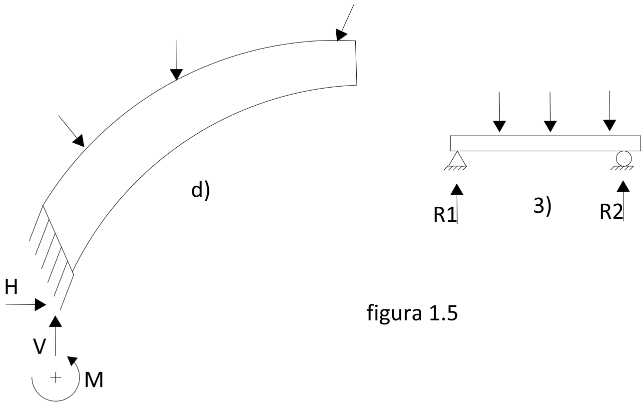


figura 1.5

Puede suceder que el número anterior de incógnitas de las reacciones de apoyo, mínimo preciso para asegurar el equilibrio (6 para las vigas alabeadas, 3 para las vigas de plano medio cargadas en su plano, 2 para las vigas rectas cargadas con fuerzas paralelas) que designaremos por K, sea mayor para un sistema de vigas en que existen reacciones interiores debidas a los enlaces internos (ejemplo el arco biarticulado de la figura 1.6). En cualquier caso K, es siempre igual al número de ecuaciones independientes dadas por la aplicación de las ecuaciones (1”) de la estática a cada una de las presas y al conjunto que forman éstas.

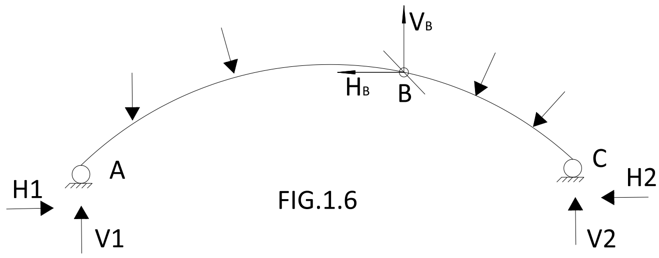


FIG.1.6

6 incógnitas: 4 de apoyos A y C, y dos del enlace B

Ahora bien, comparando K con el número de incógnitas debidas a las reacciones, pueden suceder dos casos, siguientes;

1º: que r = K, entonces todas las reacciones pueden determinarse por las ecuaciones de la estática. La pieza o el sistema de piezas que componen la estructura se llama ISOSTÁTICA.

2º: que r > K, la viga o estructura se llama HIPERESTÁTICA de grado n=r-K. Sólo K, de las incógnitas para determinar las reacciones, se pueden determinar por las ecuaciones de estática. Las “n” restantes (hiperestáticas) deben determinarse considerando las deformaciones producidas, en la pieza o estructura, por las fuerzas que le sean aplicadas.

En relación con las ecuaciones de equilibrio de que acabamos de hablar supongamos – excepto en algunos casos (pandeo), en que advertiremos lo contrario, que se pueden escribir aquellas ecuaciones, considerando la forma de la viga o estructura antes de deformarse, o lo que es lo mismo, despreciando estas deformaciones ya que son muy pequeñas comparadas con las dimensiones de las vigas. Esta es una de las hipótesis fundamentales de la teoría de la Elasticidad y de la Resistencia de Materiales.

1.6 SEGUNDA HIPÓTESIS FUNDAMENTAL DE LA TEORÍA DE VIGAS: PRINCIPIO DE SAINT – VENANT.

Este principio – fundamental también en la Teoría de la Elasticidad – dice;

“las tensiones (y por consiguiente las deformaciones cuando se conserva la hipótesis de Hooke) en una zona alejada de los puntos de aplicación de un sistema de fuerzas sólo depende de la suma geométrica $\vec{R}$ y del momento resultante de las fuerzas situadas a un lado (la derecha por ejemplo) de la sección o zona que se considere”.

Este principio nos será muy útil, para – como veremos en el apartado siguiente – sustituir cualquier sistema de fuerzas, aplicadas a un lado de una sección genérica, y por otro más sencillo y normalizado.

De esta hipótesis, propia de los materiales elásticos, la definiremos después, capítulo 2.

Por otra parte en virtud de este principio se puede afirmar que la perturbación local produce en una sección por la aplicación de una fuerza concentrada, la existencia de una entalladura, etc…sólo se nota en una zona localizada a un lado y otro de la sección, y en una longitud total, aproximadamente igual al canto de la viga.

La teoría elemental de las vigas y estructuras, que expondremos en este curso, nos permitirá el estudio teórico de estas zonas perturbadas que, normalmente, suele hacerse experimentalmente.

1.7 ELEMENTOS DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS EXTERIORES (APLICADAS A UN LADO DE UNA SECCIÓN) EN LA SECCIÓN RECTA DE UNA VIGA, CONCEPTO DE:

a) Esfuerzo Axial

b) Esfuerzo Cortante

c) Momento Flector

d) Momento Torsor

a) ESFUERZO AXIAL; Consideramos todas las fuerzas (fuerzas dadas y reacciones) aplicadas a la derecha de una sección recta (5), genérica, de una viga cualquiera alabeada.

Según el principio de Saint-Venant, este Sistema de fuerzas se puede sustituir a efectos de investigar las tensiones que producen en esa sección S (o de las deformaciones de una rebanada una de cuyas caras sea S), por un sistema equivalente. El sistema anterior será siempre equivalente por complejo que sea a una resultante $\overrightarrow{R}$ única y un momento $\overline{M_0}$ aplicados ambos en el centro de gravedad, G, de la sección S. Es decir que reducimos el sistema de fuerzas situado a la derecha de la sección S al punto G.

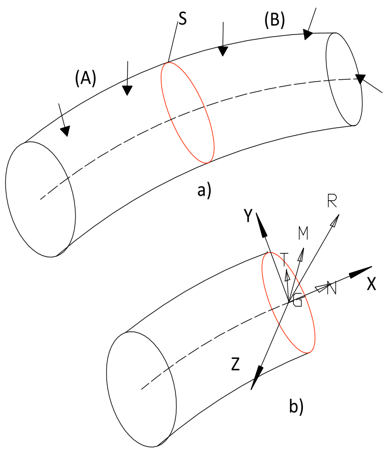


FIG1.7

Tenemos un triedro trirectángulo cuyos ejes sean $\overrightarrow{GX}$ la normal a S orientada de (A) a (B) y $\overline{GY}$, $\overline{GZ}$ los ejes principales de inercia de esta sección.

En el caso más general, $\overrightarrow{R}$, podrá descomponerse en su proyección sobre el eje $\overrightarrow{GX}$ y sobre el plano S

La proyección $\overrightarrow{R}$, sobre $\overrightarrow{GX}$ se llama esfuerzo axial N correspondiente a la sección S. Este producirá tracciones, si es positivo y compresiones, en caso contrario.

La proyección de $\overrightarrow{R}$, sobre el plano (S) se llama esfuerzo cortante. Es esfuerzo cortante en el caso más general se suele descomponer, en sus dos proyecciones sobre los ejes principales de inercia de la sección. Designaremos a estas componentes por Ty, Tz.

Igualmente, el momento $\overrightarrow{M}$ se puede descomponer en sus proyección sobre el plano S, llamada momento flector M y sobre la normal, (a este plano) $\vec{c}$. A esta última proyección se la designa por momento torsor (fig. 1.7b).

Como en el caso anterior el momento flector se suele descomponer en sus dos componentes $\overline{My}$ y $\overline{Mz}$ sobre los dos ejes principales de inercia de la sección recta S (fig. 1.7b).

Notemos que de esta forma en vez de tener que estudiar, en cada caso particular, un sistema de fuerzas aplicadas, las tensiones que se producen en una determinada sección, se substituyen este sistema por otro normalizado, reducido al centro de gravedad G de la sección y que se compone en el caso más general, de las siguientes elementos:

$\overline{N}$ = esfuerzo normal.

$\overrightarrow{T}$ = esfuerzo cortante.

$\overrightarrow{M}$ = momento flector.

$\vec{c}$ = momento torsor.

$\overrightarrow{T}$ y $\overrightarrow{M}$, se suelen descomponer en sus proyecciones sobre los ejes de la elipse central de inercia de la sección.

En el caso de piezas de plano medio cargadas en su plano será c = 0 y si la viga es recta y las fuerzas normales a su fibra media será también; $\vec{c}$ = 0, $\overline{N}$ = 0.

Notas importantes:

Por consideraciones de equilibrio se verifica inmediatamente que:

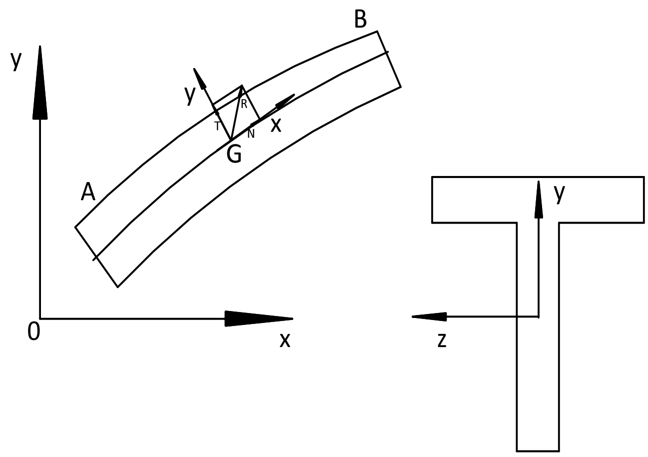
En todo sólido en equilibrio bajo la acción de un sistema de fuerzas exteriores (de superficie y de volumen):

1º) Las fuerzas interiores (tensiones) que se ejercen de cada lado de una sección cualquiera, están en equilibrio.

2º) Las fuerzas interiores que la parte (B) ejerce sobre la (A) a través de una sección, genérica S, están en equilibrio con las fuerzas exteriores aplicadas a la parte (A) del cuerpo.

3º) Los dos sistemas de fuerzas exteriores aplicadas a cada lado de la sección S (fuerzas aplicadas a la parte (A) y (B) del sólido) son equivalentes. Dos sistemas que se anulan.

b) En el caso particular de PIEZAS DE PLANO MEDIO CARGADAS CON FUERZAS CORTANTES EN SU PLANO, los ejes correspondientes a la sección son;



$G\vec{x}$ la tangente en G a la fibra media orientada de (A) a (B).

$G\vec{y}$ normal a $G\vec{x}$ y orientada de forma que forma con este eje un ángulo de 90º.

La resultante $\vec{R}$ de todas las fuerzas exteriores (fuerzas dadas y reacciones) aplicadas a la derecha de S actuada en el plano medio- se puede descomponer en sus componentes sobre $G\vec{x}$ y $G\vec{y}$, $\vec{N}$ y $\vec{T}$ respectivamente.

Designaremos por N y T las medidas algebraicas de $\overline{N}$ y $\vec{T}$.

N es el esfuerzo axilo normal correspondiente a la sección (S).

T es el esfuerzo cortante correspondiente a la sección (S).

El momento de todas las fuerzas exteriores, aplicadas a la derecha de la sección (S), se define a su componente sobre el eje . $\overline{GZ}$ y Mx

El valor algebraico M de este vector le llamaremos momento flector.

Por lo dicho en la nota del apartado anterior, o simplemente por la consideración del equilibrio de una rebanada elemental de espesor dS vemos que N, T y M a cada cara de la rebanada, tienen sentidos opuestos como se indica en la figura 1.9.

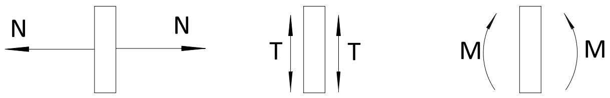


figura 1.9

Ahora bien, por la convención de signos hecha anteriormente (dignos de las proyecciones de la resultante $\overrightarrow{R}$ y momento $\overrightarrow{M}$ de las fuerzas situadas de lado de la sección (B) que indica el sentido positivo del eje $G\vec{x}$ sobre el triedro Gxyz no habrá ambigüedad.

El esfuerzo normal N será positivo si es un esfuerzo de tracción, es decir, si tiende a producir un alargamiento de la rebanada. Si comprime la rebanada y tiende por tanto a disminuir su espesor, es negativo.

El esfuerzo tangencial T es positivo si el aplicado en la cara frontal de la rebanada está dirigido en el sentido positivo del eje OY, es decir en el caso de una viga horizontal está aplicado hacia arriba y tiende a deformar la rebanada, como se indica en la figura. Produce también un ligero alabeo de las caras de la sección que no se suele tener en cuenta en la teoría de Resistencia de Materiales.

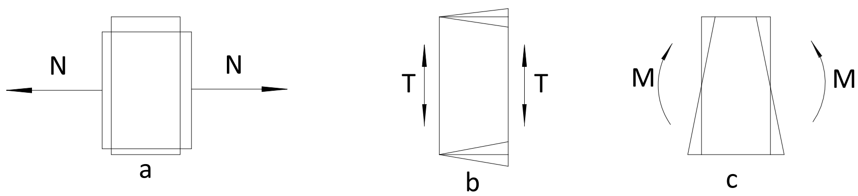


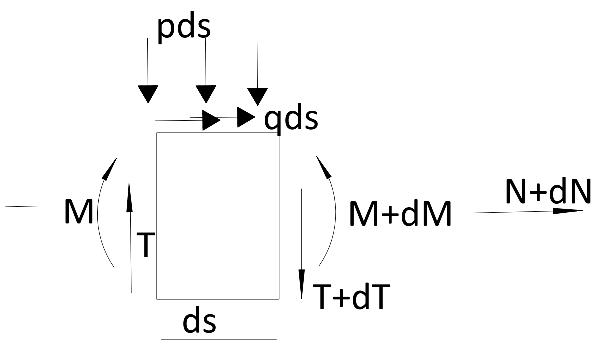
figura 1.10

El momento flector positivo si (en caso de viga horizontal) tiende a extender las fibras inferiores de la sección y a comprimir las superiores, produciendo un giro relativo de una de las caras de la rebanada respecto a la otra.

El momento torsor (que puede existir en las vigas de plano medio cuando las fuerzas exteriores están contenidas en este plano) tiende a hacer girar una de las caras de la rebanada respecto a la otra, alrededor de un eje normal a amabas que pasa por G. Produce además – como veremos- excepto en el caso de sección circular un alabeo de las caras de la rebanada.

1.8 . RELACIONES ENTRE M, N, T , p Y q.

Si en una rebanada no hay aplicada ninguna fuerza concentrada se deduce de la figura 1.11 – expresando que está en equilibrio y despreciando infinitésimas de 2º orden -;



a) Suma de fuerzas verticales igual a cero:

$$T - pds - T - dT = 0 \rightarrow \ p = -\frac{dT}{ds}$$

b) Suma de fuerzas horizontales igual a cero:

$$-N + qds + N + dN = 0 \rightarrow q = -\frac{dN}{ds}$$

c) Suma de momentos igual a cero:

$$-Tds + M - M + dM = 0 \rightarrow T = \frac{dM}{ds}$$

Esta última es de gran importancia.

1.9 VALIDEZ DE LAS HIPÓTESIS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA DE VIGAS.

La teoría de vigas, con las hipótesis fundamentales admitidas, no darán resultados aproximados, más que para vigas que satisfagan las siguientes condiciones. Los resultados serán tanto más aproximados, cuanto más satisfactoriamente cumplan estas condiciones:

1. Las dimensiones transversales de la viga deben ser pequeñas respecto a su longitud.

Sin embargo no deben ser tan pequeñas que resulte muy deformable, pues entonces la hipótesis fundamental de suponer la estructura no deformada (es decir despreciar las deformaciones) para el cálculo de las reacciones y de los elementos M, N y T, no será aplicable.

En las vigas rectas la relación del canto a su longitud suele ser; $\frac{1}{10} a \frac{1}{12}$ para el hormigón armado; $\frac{1}{15} a \frac{1}{20}$ para el hormigón pretensado; $\frac{1}{25}$ o más para el acero laminado. En general se puede decir que la anterior relación oscila entre $\frac{1}{5} y \frac{1}{30}$.

En los arcos que se aproximan al antifunicular, es decir, sometidas a pequeños momentos flectores, por ejemplo, el caso de puentes, esta relación es bastante menor ($\frac{1}{40} a \frac{1}{100}$).

2. El radio de curvatura de la fibra media debe ser grande respecto al canto de la pieza.

   El radio de curvatura deberá ser al menos 5 veces el canto.

3. En el caso de que la viga sea de sección variable, la variación de la sección debe ser gradual y lenta.