



ESTRUCTURA Y RESISTENCIA DE MATERIALES

Dr. Eduardo Dorta Baños

Profesor Titular ISDi

ÍNDICE

Capítulo I: Estructuras

- 1.1 Conceptos fundamentales de Resistencia de Materiales.
- 1.2 Estructuras (Armaduras, Marcos y Máquinas).
- 1.3 Método de los Nudos.
- 1.4 Método de las Secciones.
- 1.5 Estructuras de construcción compuesta.

Capítulo II: Tracción-Compresión

- 2.1 Fuerzas de Tracción-Compresión.
- 2.2 Coeficiente de Seguridad.
- 2.3 Trabajo total y energía potencial de deformación.
- 2.4 Tracción y Compresión sobre planos inclinados.

Capítulo III: Uniones

- 3.1 Uniones Roscadas.
- 3.2 Uniones Remachadas.
- 3.3 Uniones Soldadas.

Capítulo IV: Torsión

- 4.1 Deformación por Torsión.
- 4.2 Ángulo de Torsión.
- 4.3 Cálculo de la resistencia de una barra redonda.

Capítulo V: Flexión

- 5.1 Deformación por flexión.
- 5.2 Cálculo de la Flexión Transversal.
- 5.3 Diagramas del momento flector y de las fuerzas cortantes.
- 5.4 Cálculo de la Flexión Longitudinal.

Capítulo VI: Esfuerzos combinados

- 6.1 Estado Deformado Compuesto.
- 6.2 Teorías de la resistencia.
- 6.3 Ejemplo de cálculo de un árbol.

Capítulo VII: Materiales con propiedades mecánicas avanzadas.

- 7.1 Ecodiseño.

7.2
Mat
eria
les
ecol
ógic
os y
sus
pro
pie
dad
es
me
cáni
cas.

INTRODUCCIÓN

El carácter multidisciplinario del trabajo del diseñador industrial requiere de conocimientos y de un lenguaje técnico, que le permita la comunicación con otros profesionales. En su tarea de proyectar objetos, el diseñador industrial debe tener presente la resistencia, rigidez y racionalidad de las estructuras. Para él, el estudio de la resistencia de los materiales cobra particular importancia, toda vez que cualquier producto requiere de un soporte estructural determinado.

El presente texto tiene como objetivo fundamental, dotar a los estudiantes de Diseño Industrial de un material de estudio de la asignatura, que les posibilite reafirmar los conocimientos recibidos en clases y les sirva además, como documento base para la preparación con vistas a las clases prácticas. El contenido está adaptado a las necesidades

y exigencias reales del Diseño Industrial, despojándolo del contenido tradicional de estos materiales, dirigidos en lo fundamental a ingenieros Mecánicos y Civiles.

Por lo antes expuesto, los procedimientos expuestos en este texto están centrados en el cálculo de los esfuerzos y la resistencia de manera aproximada, trabajando en el plano (fuerzas coplanares), que le permita al diseñador industrial presentar al ingeniero un diseño lo más cercano posible al producto final.

La metodología de los cálculos, está abierta a la introducción de diversos materiales de posible aplicación en el Diseño.

Este es un primer intento, rápido y breve, para dar solución emergente al vacío en literatura básica de la asignatura "Estructura y Resistencia de Materiales".



J

ESTRUCTURAS

1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE RESISTENCIA DE MATERIALES.

Materiales. Materia preparada y disponible para elaborar directamente cualquier producto. Los materiales se obtienen de las transformaciones físicas y químicas a las que se someten las materias primas obtenidas de la naturaleza.

Tipos de materiales:

- **Naturales.**
- **Artificiales.**
- **Sintéticos.**

Las propiedades de los materiales se clasifican en 5 grandes grupos:

Propiedades físicas (Reacción al calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, el sonido).

Propiedades químicas (Transformación de su composición debido a la interacción con otras sustancias).

Propiedades ecológicas.

Propiedades Sensoriales (Color, textura, brillo).

Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales están dadas por la respuesta del material a las fuerzas que actúan sobre él y se resumen en:

- a) Resistencia mecánica** (capacidad de soportar las cargas sin deformarse):
 - **Tracción-compresión.**
 - **Flexión.**
 - **Torsión.**
 - **Fatiga.**
 - **Esfuerzos combinados.**

- b) **Elasticidad** (Posibilidad de restablecer la forma original).
- c) **Dureza** (Resistencia a la penetración o a ser rayado).
- d) **Ductibilidad** (Posibilidad de lograr hilos muy delgados).
- e) **Maleabilidad** (Posibilidad de lograr láminas delgadas).
- f) **Fragilidad** (Propiedad de romperse ante un choque o esfuerzo brusco).

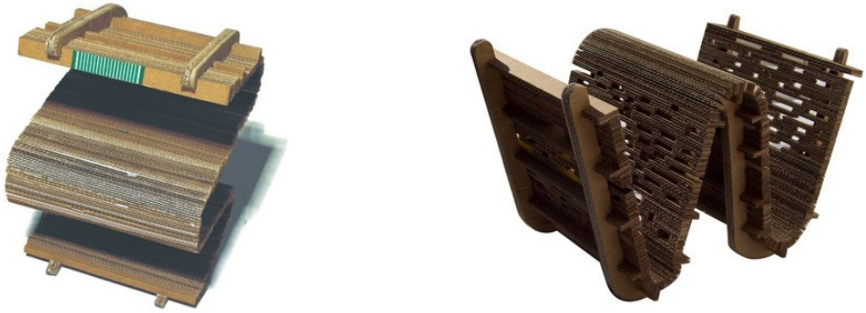


Figura No 1 Revisteros de carton.

En la figura No 1 se puede apreciar un revistero curvo hecho de cartón. Ese mismo revistero puede tener en otra posición otro uso. Ahora bien, para su uso en cualquier posición es necesario conocer las propiedades mecánicas del material y estar en condiciones de calcular la resistencia en cada una de estas posiciones. Lo mismo para estos bancos de cartón:



Figura No 2 Bancos de carton.

Resistencia de Materiales

Ciencia del cálculo de la resistencia, rigidez y estabilidad de las estructuras.

Resistencia

Capacidad de una estructura, de sus partes y elementos de contrarrestar una carga determinada sin deformarse.

Rigidez

Propiedad de una estructura o de sus elementos de oponerse a que las cargas exteriores la deformen.

Estabilidad

Capacidad de una estructura o de sus elementos de conservar el equilibrio ante la acción de cargas exteriores.

Sólido Elástico

Es aquel que, en presencia de acciones exteriores, se deforma, pero que una vez que han desaparecido estas, recupera su forma original, siempre y cuando no se hayan superado los valores que provocan rotura o deformación irreversible.

Elasticidad

Propiedad que tienen los sólidos de dejarse deformar ante la presencia de acciones (fuerzas o pares) exteriores y recuperar su forma primitiva al desaparecer la acción exterior.

Deformación elástica: la que recupera totalmente su forma original (Fig. 3).

Deformación plástica: la que parte de ella es permanente (Fig. 4).



Figura No3 .Deformación elástica



Figura No4 Deformación plástica

Deformación plástica o irreversible:

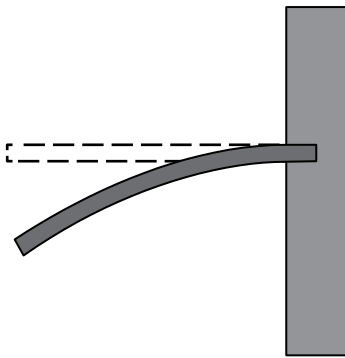


Figura No5 Antes de retirar la fuerza

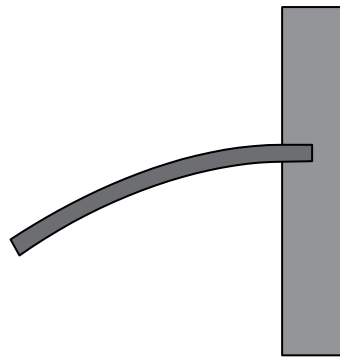


Figura No6 Después de retirar la fuerza

El cuerpo no recupera su forma primaria

Deformación elástica o reversible:

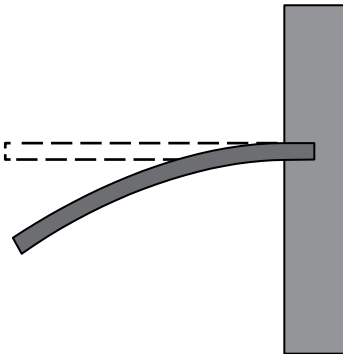


Figura No7 Antes de retirar la fuerza

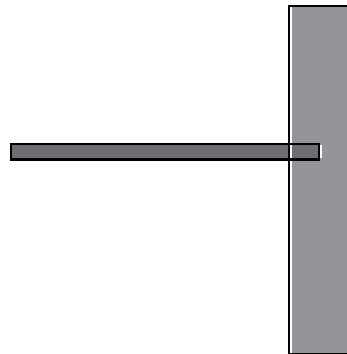


Figura No8 Después de retirar la fuerza

El cuerpo recupera su forma primaria

Características del Sólido Elástico (Modelo):

- **Homogéneo**
- **Continuo**
- **Isótropo**

Todos los cuerpos varían su forma y dimensiones bajo la acción de cargas, a veces imperceptiblemente.

En Mecánica Teórica estudiaron la acción de esas cargas externas y ahora vamos a ver las fuerzas internas que se oponen a la deformación.

En Resistencia de Materiales todos los cuerpos se consideran elásticos, a diferencia de Mecánica Teórica, donde consideramos los cuerpos rígidos.

En esta asignatura se estudia el estado de los cuerpos deformados y se establecen las relaciones entre cargas y deformaciones.

Las deformaciones que estudiaremos pueden ser por:

- **Tracción.**
- **Compresión.**
- **Torsión.**
- **Flexión.**
- **Combinación de estos esfuerzos.**

La deformación de un cuerpo cesa cuando las fuerzas internas entran en equilibrio con las externas. El estado de un cuerpo sometido a carga se llama **estado de tensión.**

Los cuerpos reales tienen propiedades físico-mecánicas muy variadas, lo que dificulta el examen teórico. Por este motivo se emplean las Hipótesis de Resistencia de Materiales:

1. Las secciones planas trazadas en el cuerpo antes de la deformación, siguen también planas después de la deformación (**Continuo**).
2. El cuerpo deformado varía insignificadamente su forma geométrica. Esto se cumple cuando las deformaciones son elásticas (**Homogéneo**).
3. Las propiedades físico-mecánicas del material se consideran iguales en todos los puntos del cuerpo (**Isótropos**).

Para hacer los cálculos en Resistencia de Materiales, se requiere conocer la magnitud de las fuerzas externas.

Las cargas externas pueden ser:

- **Concentradas / Distribuidas.**
- **Estáticas / Dinámicas.**
- **Activas / Reactivas.**

Carga concentrada: Aplicada en un solo punto o en un área insignificante (N).

Cargas distribuidas: Pueden ser:

- **De volumen:** Sobre todo el volumen del cuerpo, incluyendo el propio peso del cuerpo (N/m^3).
- **Superficiales:** Repartidas por el área de la superficie (N/m^2).
- **Lineales:** Repartidas por la longitud del cuerpo en un área estrecha (N/m).

Cargas estáticas: Conservan su magnitud y dirección y comprenden el peso de los componentes de la estructura.

Cargas dinámicas: Varían de magnitud y dirección.

Cargas activas: Interacción de los distintos elementos de una estructura durante el proceso de trabajo. Provoca esfuerzos en los apoyos que sustentan la estructura.

Cargas reactivas: Las que surgen en los apoyos (ligaduras). Los esfuerzos reactivos se determinan a partir de las condiciones de equilibrio de un cuerpo, estudiadas en Estática. En los casos en que el número de reacciones desconocidas sea mayor que el número de ecuaciones de la Estática (caso estáticamente indeterminado) a las ecuaciones de Estática se añaden las ecuaciones escritas con base de las leyes de la Resistencia de Materiales.

Las dimensiones y materiales de los objetos se eligen, de modo que cuando actúan sobre ellas fuerzas externas, las deformaciones no excedan los límites de las elásticas.

La deformación de cualquier cuerpo va acompañada de la aparición en él de fuerzas internas de elasticidad, que tienden a equilibrar las cargas externas, y la deformación del cuerpo cesa cuando las fuerzas internas equilibran las externas.

Cuando las fuerzas externas sobrepasan las internas de elasticidad, el enlace recíproco entre las partículas del cuerpo se altera y este se destruye o se deforma.

La magnitud de las fuerzas internas repartidas por el plano de la sección se mide mediante la fuerza que corresponde a una unidad del área de la sección, y se expresa en **N/m²**.

La fuerza interna que actúa por unidad de área de sección se llama **Tensión (Esfuerzo)**.

1.2 ESTRUCTURAS

Las estructuras se clasifican en:

1. Armaduras.
2. Marcos.
3. Máquinas



Figura No9 Armadura



Figura No 10 Máquina



Figura No 11 Marco

1.2.1 ARMADURAS.

Armadura: estructura rígida, compuesta de barras rectilíneas unidas en sus extremos por juntas o nudos.

Si todas las barras de la armadura se encuentran en un plano, la armadura es plana.

Todas las cargas exteriores se aplican a la armadura solamente en los nudos.

Durante los cálculos de una armadura, el rozamiento en los nudos y el peso de las barras (en comparación con las cargas exteriores) se desprecian, o el peso de las barras se reparte en los nudos, en caso de ser significativo.

Las armaduras son uno de los principales tipos de estructuras empleadas en ingeniería. Proporciona una solución práctica y económica en muchas situaciones, no solo en el diseño de puentes y edificios, sino también, en el diseño de otros productos, como sillas, mesas, bicicletas, etc.

Los elementos de las armaduras se unen solo en los extremos, por tanto ningún elemento continúa más allá del nudo. Por ejemplo, en la figura No 12 no existe el elemento AB, sino el elemento AD y el BD.

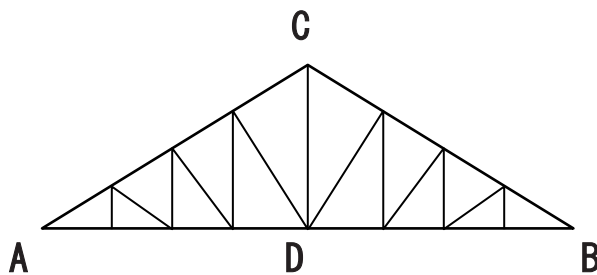


Figura No12 Armadura

Estas armaduras se diseñan para cargar en el plano, por lo que para estructuras reales (cargas en el espacio) se unen varias armaduras para formar un volumen entramado (Figura No 13).



Figura No 13 Volumen entramado

Las armaduras están compuestas por elementos delgados que solo soportan cargas pequeñas, por lo que se considera que estas descargan en los nudos, incluido el peso de los elementos. Se supone además, que estos elementos están unidos por un pasador y no por remaches o soldaduras como ocurre realmente.

Consideremos la armadura izquierda de la figura No 14, formada por 4 elementos unidos por pasadores en los puntos A, B, C y D. Si se aplica una carga en B, la armadura sufrirá deformación, perdiendo su forma original:

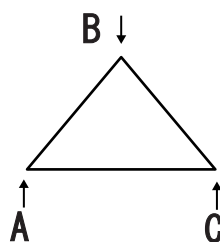
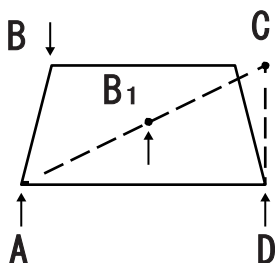


Figura No 14 Armadura de 4 elementos Figura No 15 Armadura de 3 elementos

Si analizamos la armadura de la derecha, formada por 3 elementos, unidos por pasadores en A, B y C, bajo la acción de la misma carga en B, se deformará muy poco. Por lo que podemos afirmar, que la armadura formada por tres elementos es una armadura rígida.

La armadura rígida se emplea a menudo, en estructuras de gran responsabilidad, como son los puentes, edificaciones y torres, en algunas de las cuales se puede observar, a simple vista, estas formaciones triangulares.

Como se puede apreciar en la figura No 16, podemos obtener una armadura rígida mayor, incorporando los elementos BD y DC a la armadura básica triangular.

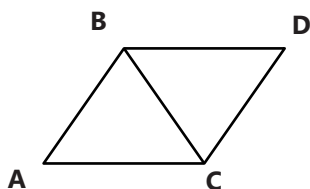


Figura No 16 Armadura simple

Este procedimiento puede repetirse tantas veces como se desee siendo la armadura resultante rígida. Si cada vez que agregamos 2 nuevos elementos, los unimos a 2 nudos diferentes ya existentes y los fijamos entre sí al nuevo nudo, no estando estos tres nudos en línea recta. Las armaduras construidas así se llaman armaduras simples.

Volviendo a la armadura triangular básica, observamos que tiene 3 elementos y 3 nudos. La armadura posterior tiene 5 elementos y 4 nudos. Notemos que cada vez que se añaden 2 nuevos elementos se aumenta en uno el número de los nudos, entonces encontramos que en una armadura simple el número total de barras es:

$$m = 2n - 3 \quad (1)$$

Donde:

n - Número de nudos.

Los cuerpos acoplados no son más que estructuras, y dentro de ellas las más conocidas son las llamadas armaduras. Estas proporcionan una solución práctica y económica en la mayor parte de los proyectos de diseño de ingeniería y de objetos de múltiples usos.

El cálculo de una armadura consiste en la determinación de las reacciones en los apoyos y de los esfuerzos en las barras.

1.2.2. MARCOS.

En la práctica casi todas las estructuras contienen elementos sometidos a varias fuerzas, que no descargan solo en los nudos, en estos casos estamos en presencia de estructuras llamadas **Marcos**. Los Marcos se diseñan para resistir cargas y son generalmente estacionarios (estructuras con construcción completa).

Este diagrama puede emplearse para determinar las fuerzas externas que actúan sobre el Marco (Figura No 17):

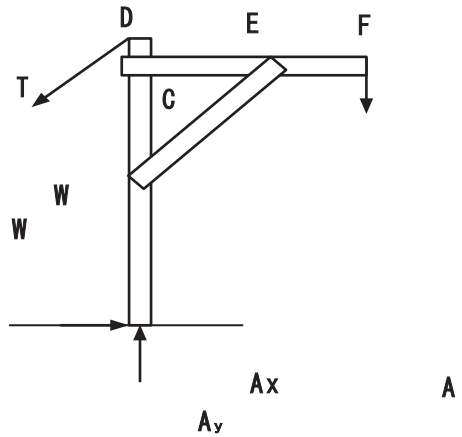
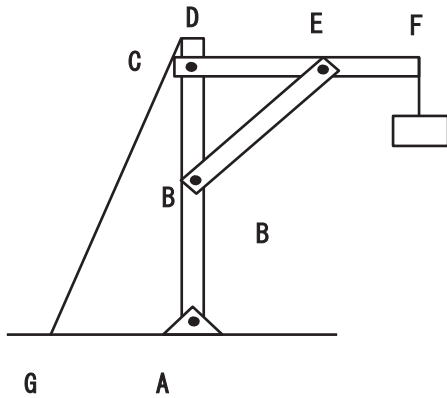
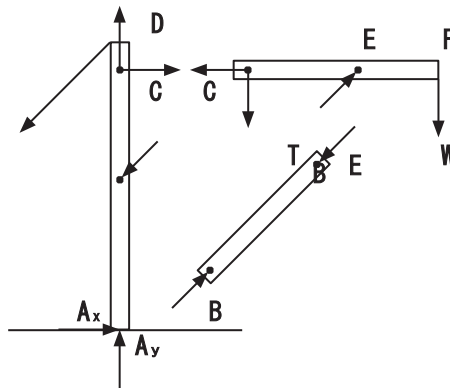


Figura No 17 Fuerzas externas en el Marco Figura No 18 Diagrama de CL de cada elemento

Para determinar las fuerzas internas que unen los elementos del Marco es necesario elaborar el diagrama de cuerpo libre para cada uno de sus elementos (Figura No 18).

Las fuerzas internas pueden calcularse considerando el diagrama de cuerpo libre de cualquiera de los elementos sometidos a varias fuerzas (Figura No 19)



1.2.3. MÁQUINAS.

Máquinas: estructuras creadas por el hombre, que efectúan movimientos con el fin de transformar energía, materiales o información, para sustituir o facilitar el trabajo físico e intelectual humano y aumentar su rendimiento. Pueden ser estacionarias o no y tendrán siempre partes móviles. Sus elementos estarán afectados por más de una fuerza.

Las máquinas que funcionan sin la intervención directa del hombre, se llaman automáticas.

Las máquinas pueden entonces ser desde herramientas sencillas, hasta mecanismos complicados y su principal objetivo es transformar energías, materiales o información de entradas, en energías, materiales o información de salidas.

Por ejemplo, consideremos la cizalla para cortar alambres:

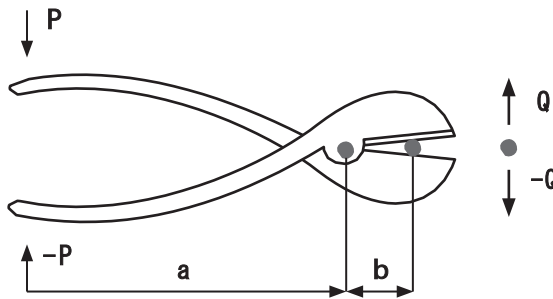


Figura No 20 Cizalla de corte

Si aplicamos en sus mangos dos fuerzas iguales y opuestas P y $-P$, ejercerán sobre el alambre dos fuerzas mayores y opuestas a Q y $-Q$ (Fig. 20).

Para determinar la magnitud de la fuerza de salida (Q) cuando se conoce la magnitud de la fuerza de entrada (o recíprocamente) hacemos un diagrama de cuerpo libre (C.L) del par de cizallas indicando las fuerzas de entrada (P y -P) y las reacciones (Q y -Q) que el alambre ejerce sobre las superficies de corte (Figura No. 21).

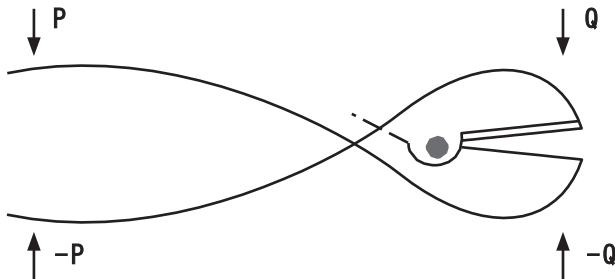


Figura No21 Diagrama CL

Sin embargo como el par de cizallas es una estructura no rígida, debemos utilizar una de las partes componentes con el fin de calcular las fuerzas desconocidas:

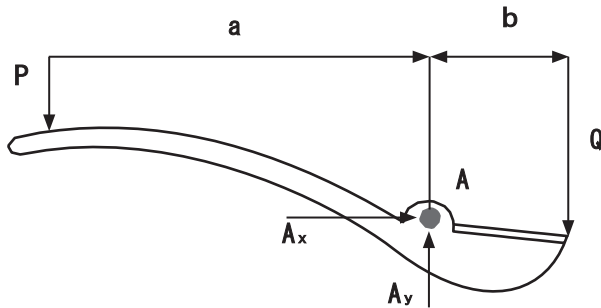


Figura No22 Diagrama simple

$$\sum M_a = P (a) - Q (b); \quad P (a) = Q (b) \quad (2)$$

Esto define las magnitudes de (Q) en función de (P) o viceversa.

$$Q = P (a)/b \quad \text{ó} \quad P = Q (b)/a \quad (3)$$

También:

$$\sum F_x = A_x = 0; \quad A_x = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_y = P - A_y + Q = 0; \quad A_y = P + Q \quad (5)$$

Naturalmente, en máquinas más complejas generalmente se realizan varios diagramas de cuerpo libre y regularmente es necesario simultanear ecuaciones en las que aparecen varias fuerzas internas.

1.3. MÉTODO DE LOS NUDOS.

En resistencia de materiales los problemas se resuelven por regla general con métodos matemáticos simples, valiéndose de hipótesis simplificadas y resultados experimentales, llevando las soluciones hasta las formulas de cálculo aptas para la utilización en la práctica de Ingeniería y Diseño.

Anteriormente habíamos dicho que una armadura puede considerarse como un grupo de pasadores y elementos sometidos a la acción de 2 fuerzas. Cada elemento estará sometido a la acción de 2 fuerzas, una en cada extremo; las fuerzas tienen la misma magnitud, la misma línea de acción y sentido opuesto.

Como se conocen las líneas de acción de todas las fuerzas internas de la armadura, el análisis de esta se reduce al cálculo de las fuerzas en todos los elementos y a la determinación, si cada elemento está sometido a tracción o a compresión.

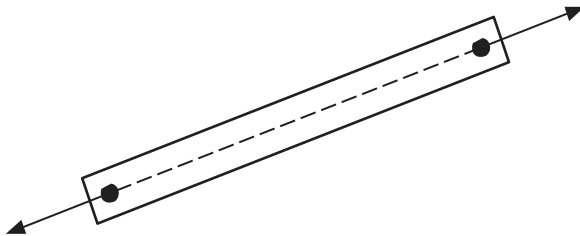


Figura No23 Elemento sometido a tracción

Ejemplo:

La armadura que muestra la figura soporta cargas de valores conocidos en B y D y se desea determinar las fuerzas internas en todos los elementos de la estructura.

La manera en que se encuentra apoyada la estructura permite conocer las reacciones de apoyo, que son las fuerzas que aparecen en la estructura al impedirle algún movimiento.

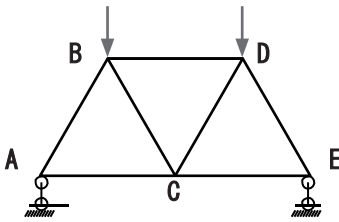


Figura No 24 Armadura con simple apoyo



Simple apoyo:

Limita el movimiento en la vertical (en el caso)



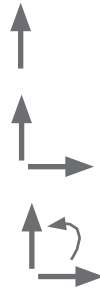
Articulación:

Limita el movimiento en la vertical y en la horizontal



Empotrado:

Limita el movimiento en la vertical, en la horizontal y el giro



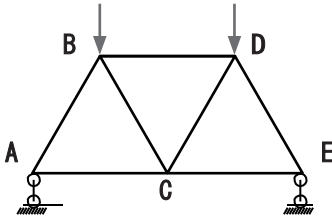
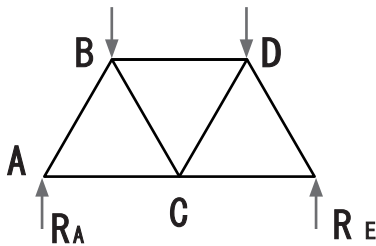


Figura No 25 Simple apoyo

Cargas externas



Fuerzas de reacción de apoyo

Figura No 26 Cuerpo libre

2. Dibujar un diagrama de fuerzas de toda la armadura, donde se analicen en conjunto las cargas externas, las reacciones de apoyo y las fuerzas internas, para luego proceder al cálculo de cada nudo independientemente.

Las fuerzas internas son las que aparecen en el interior de cada barra y demostrarán si la barra está sometida a compresión o tracción.

1. Lo primero que se debe hacer para calcular las fuerzas interiores de la armadura es un **análisis de la estructura** para determinar las cargas externas que actúan sobre ella y las reacciones en sus puntos de apoyo.

Se considera toda la armadura como un cuerpo libre y se aplican las ecuaciones de equilibrio de un cuerpo rígido.

El valor de las reacciones de apoyo se puede obtener aplicando las ecuaciones de equilibrio para la estructura.

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M_o = 0$$

$$\sum F_x = 0 \text{ (no existen) (6)}$$

$$\sum F_y = 0 = F_B + F_D - R_A - R_E; \text{ (7)}$$

$$\sum M_A = 0 = F_B(d) + F_D(d) - R_E(d) \text{ (8)}$$

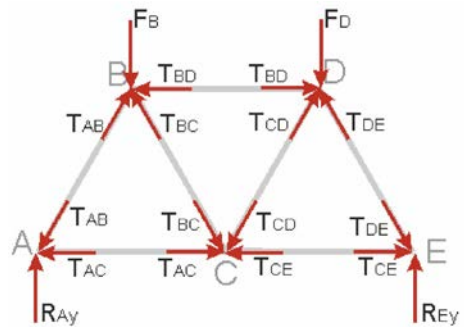


Figura No 27 Diagrama de fuerzas

Si está sometida a tracción su valor será positivo, en cambio si está sometida a compresión será negativo.

3. Calcular cada nudo independientemente.

Es importante comenzar el cálculo de los nudos por aquellos a los cuales concurren una menor cantidad de barras o por aquellas donde tengamos fuerzas de las cuales conozcamos su valor.

Para facilitar el cálculo se hace un diagrama de cuerpo libre de cada nudo que permita visualizar las fuerzas que actúan sobre cada uno y conocer cuáles de estas son incógnitas.

Posteriormente se aplican las ecuaciones de equilibrio.

En este caso se ha escogido el nudo A para comenzar, ya que en él concurren una menor cantidad de barras y presenta una menor cantidad de incógnitas, pues la reacción en A se había calculado anteriormente. (También pudiera escogerse el nudo E puesto que es similar).

Se realiza el diagrama de cuerpo libre y se hallan los componentes de las fuerzas en los ejes de coordenadas (x;y).

Posteriormente se aplica la condición de equilibrio y se halla el valor de las fuerzas.

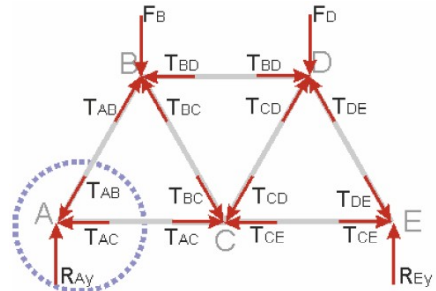
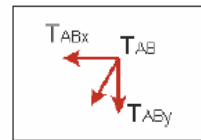
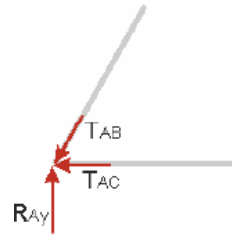
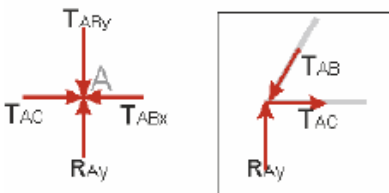


Figura No 28 Cálculo del primer nudo



Figuras No 29a, b, c Diagramas de cuerpo libre



Figuras No 30a, b Condición de equilibrio

Las fuerzas **TAC** y **TAB** deben ser de signo contrario para que se compensen y la sumatoria en el eje de las **x** sea **0**, logrando el equilibrio. Una de ellas realizará compresión y la otra tracción, en dependencia del signo que se obtenga.

Tomaremos que **TAC** se encuentra en sentido positivo y **TAB** en sentido negativo ya que de lo contrario las fuerzas en el eje **y** no se compensarían.

Se realiza el cálculo de las fuerzas en el nudo según las ecuaciones de equilibrio, hasta que se halle el valor de todas las fuerzas que incidan en este.

Así sucesivamente se va realizando nudo por nudo de la armadura hasta hallar todas las incógnitas.

Cuando se deben determinar las fuerzas que actúan en todos los elementos de una estructura, el Método de los Nudos es el más efectivo. Sin embargo no siempre es necesario o razonable determinar las fuerzas en todos los elementos, sino que en la práctica, por diferentes situaciones, solo se determinan las de mayor responsabilidad, siendo entonces el Método de las Secciones el más eficiente, debido fundamentalmente al ahorro de tiempo.

1.4 MÉTODO DE LAS SECCIONES.

El método de las secciones se emplea para determinar las fuerzas internas que surgen al deformarse una estructura compleja. Consiste, en que a una estructura sometida a fuerzas externas se le secciona, o de ella se extrae por corte una sección, la más comprometida o peligrosa. En todos los puntos de la sección actúan fuerzas internas, cuya magnitud se determina por la tensión, la cual no debe sobrepasar la tensión admisible.

Las fuerzas internas equilibran las cargas externas aplicadas a la parte seccionada. Según sea la dirección y los puntos de aplicación de las fuerzas externas, las fuerzas internas pueden tener distintas direcciones y diversa magnitud en diferentes puntos de la sección.

Las fuerzas internas (tensiones) se representan con vectores y pueden reducirse a resultantes, o viceversa, descomponerse en dos componentes: **(σ) - tensiones normales** (perpendicular al plano de la sección); **(τ) - tensiones tangenciales** (actúan en el plano de la sección).

Supongamos por ejemplo que deseamos determinar la fuerza en el elemento BD (que es el de mayor responsabilidad) de la siguiente figura:

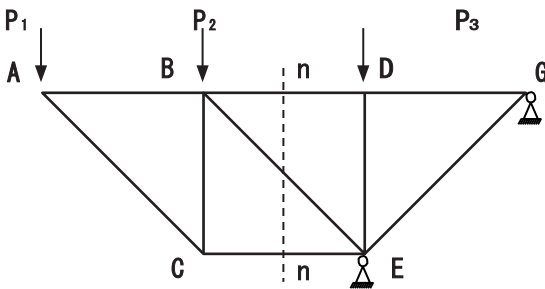


Figura No 31 Estructura seccionada

En la práctica la porción de la armadura se obtiene trazando una línea de sección a través de los 3 elementos de la armadura o estructura, una de las cuales es la barra deseada. Cualquiera de las porciones obtenidas puede usarse como cuerpo libre (Figura No 31).

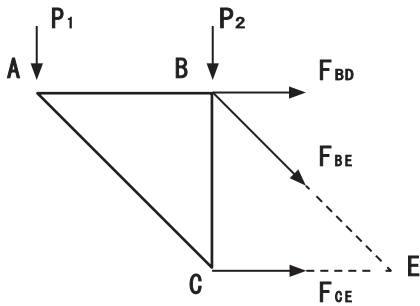


Figura No32 Porción de armadura

Seleccionemos la porción **ABC**. Las fuerzas que actúan son **P1** y **P2** en los puntos **A** y **B** y las 3 fuerzas desconocidas: **FBD**, **FBE** y **FCE**. Como se ignora si los elementos donde actúan las fuerzas están a tensión o compresión, se toma de forma arbitraria el sentido de estas fuerzas.

El hecho de que **ABC** está en equilibrio nos permite emplear tres ecuaciones de equilibrio. Si necesitáramos únicamente la fuerza **FBD** escribimos una sola ecuación, siempre que no contenga las demás incógnitas. Así la ecuación $\Sigma M_E = 0$, da el valor de la magnitud **FBD**.

Un signo positivo indicará que es correcto el sentido de la fuerza asumida, por lo que la barra estará en tracción. Un signo negativo indicará que la decisión fue incorrecta y entonces la barra estará en compresión.

Si deseáramos conocer la fuerza **FCE**, debe escribirse una ecuación que no contenga a **FBD** ni a **FBE**; la ecuación adecuada sería $\Sigma M_B = 0$. El sentido igual que en el caso anterior se comprobará mediante el signo de la respuesta.

Si se desea la fuerza **FBE**, la ecuación adecuada sería:

$$\Sigma F_y = 0.$$

Cuando la fuerza se determina en un solo elemento no existe prueba independiente de cálculo para la comprobación, sin embargo si se calculan todas las fuerzas para la porción, la $\Sigma F_x = 0$ puede servir para comprobar cualquier error.

Como se puede apreciar para estos casos el Método de las Secciones es mucho más rápido, de aquí su eficiencia.



Figura No33a, b, c Estructuras complejas

En Mecánica Teórica estudiamos los aspectos que se refieren al equilibrio de un cuerpo rígido, donde las únicas fuerzas que intervienen son externas. En realidad estos problemas requieren no solo la determinación de las fuerzas externas que actúan sobre la estructura, sino también las fuerzas internas que mantienen unidas sus diferentes partes. Esto está de acuerdo con la 3ra Ley de Newton y uno de los axiomas de la Estática, que establece que las fuerzas de acción y reacción entre cuerpos en contacto tienen la misma magnitud, la misma línea de acción y sentido opuesto. Como se indicó anteriormente está basada en la evidencia experimental y su aplicación es esencial en la solución de problemas referentes a los cuerpos acoplados.

1.5 ESTRUCTURAS DE CONSTRUCCIÓN COMPUESTA.

Se conoce por estructuras de construcción compuesta, a aquellas estructuras que están constituidas por la combinación de dos o más materiales tales como: acero, hormigón, madera y albañilería. También se denomina de este modo a aquellos elementos compuestos por un mismo material, pero con diferente resistencia y/o diferentes etapas de construcción.

El término de construcción compuesta también es empleado para describir las combinaciones del hormigón con materiales modernos, tales como los reforzados con fibras de vidrio o carbón.

Las estructuras compuestas son muy comunes en los puentes, ocupando más del 90% de los diseños actuales, principalmente por la economía que representa su manipulación y puesta en obra.

Existe mundialmente una amplia gama de elementos estructurales de amplio uso en puentes, pero el más conocido y usado es el tablero formado por vigas metálicas o vigas de hormigón prefabricadas y una losa superior construida in situ. Sin embargo, existe un elevado número de otras combinaciones de materiales que, unidos entre sí, forman un elemento compuesto.

Ejemplos:

- Pilotes de hormigón con un refuerzo central constituido por una viga de acero.
- Pilares compuestos por una viga cajón con perforaciones, también ubicada en el centro de la estructura.
- Pilares compuestos por un núcleo central de acero envuelto con malla electrosoldada y hormigonado posteriormente.
- Cajones de Acero rellenos con hormigón para túneles sumergidos.

Existen dos efectos primarios que deben ser considerados para una comprensión clara del comportamiento de los elementos compuestos:

- Las diferencias entre las propiedades mecánicas de los materiales que se combinan.
- La conexión entre estos materiales.

El comportamiento de las estructuras compuestas depende, en gran medida, de las propiedades intrínsecas de los materiales que se combinan, ya que de su adecuada combinación depende el óptimo comportamiento de los elementos que ellos forman parte. En caso de los puentes, los materiales más utilizados son el acero, el hormigón y la madera. La diferencia entre la resistencia y rigidez de los materiales que intervienen en el elemento compuesto afectan la distribución de cargas de la estructura. La resistencia y rigidez intrínseca del acero atraen proporcionalmente más carga que el hormigón y la madera. Para tomar tales diferencias es necesario transformar la sección en otra que asuma propiedades comunes para toda su geometría, transformando las propiedades de los dos materiales diferentes en uno solo, para ello se emplean los coeficientes de relación de módulos de elasticidad y resistencia.

Cuando se diseña por tensiones admisibles, se emplea únicamente la relación de módulos de elasticidad, ya que el elemento diseñado se mantiene dentro de los límites del rango elástico.

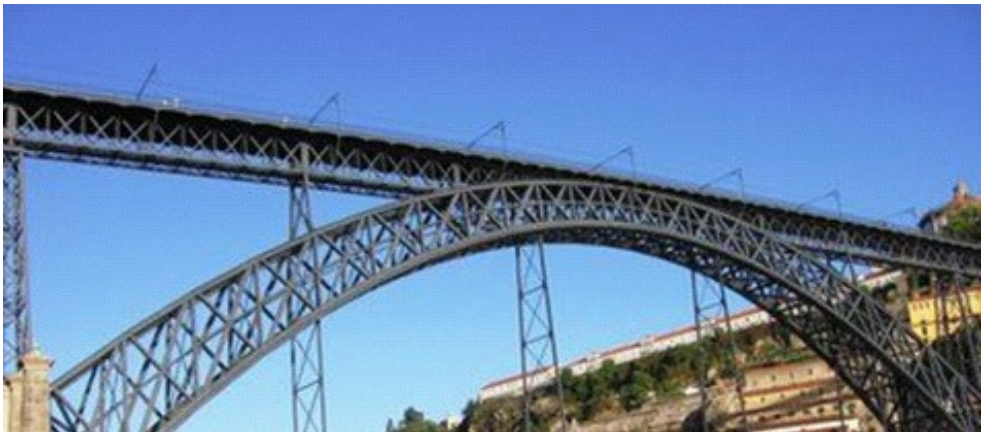


Figura No 34 Puente con materiales compuestos

III

TRACCIÓN - COMPRESIÓN

2.1 FUERZAS DE TRACCIÓN - COMPRESIÓN.

Se entiende por fuerza de tracción o simplemente tracción, aquella que origina solamente fuerzas normales en las secciones transversales de un elemento, mientras que todas las restantes fuerzas o pares son nulos.

El más usual es el caso de la tracción de un elemento con fuerzas aplicadas en sus extremos. Por ejemplo:

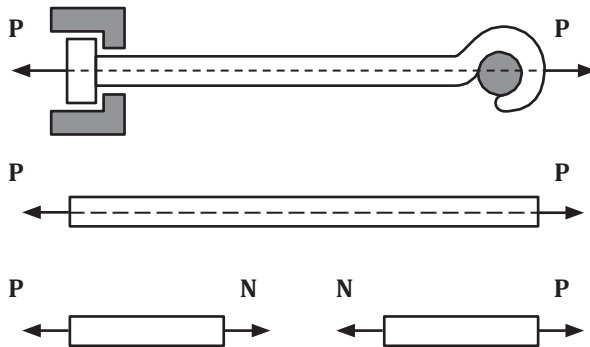


Figura No35 Elemento sometido a tracción

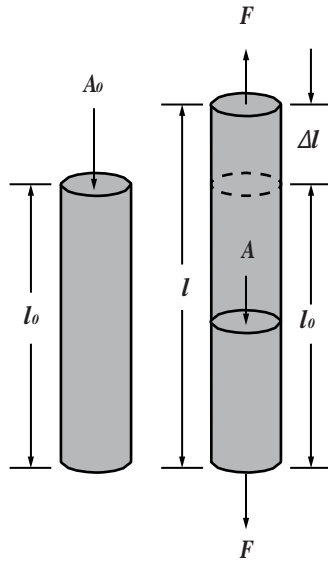


Figura No. 36 Deformación de una varilla cilíndrica sometida a un esfuerzo de tracción F .

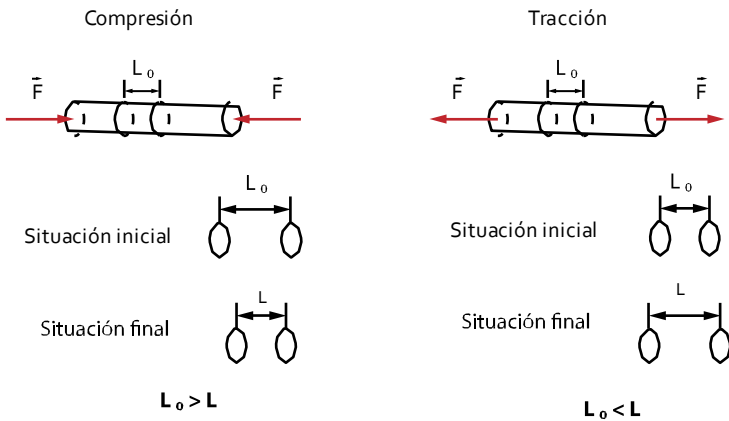


Figura No 37 Variación de longitud por compresión Figura No 38 Variación de longitud por tracción

En todos los casos el sistema de cargas exteriores se reduce a una resultante dirigida a lo largo de la barra, por lo que el esquema de cálculo siempre es único. Si empleamos el Método de Secciones Transversales, en el elemento aparece una fuerza Normal (\mathbf{N}) opuesta a la fuerza (\mathbf{P}) en cualquiera de las secciones, por lo que:

$$\mathbf{N} = \mathbf{P}$$

La compresión se diferencia de la tracción solamente en el sentido de la fuerza **P**. En el caso de la tracción la fuerza **P** va hacia afuera de la sección, y en la compresión **P** se orienta hacia la sección.

Debe significarse que aunque el método de cálculo es el mismo para ambos casos, pueden existir diferencias cualitativas en el caso de la compresión de elementos largos donde puede surgir la flexión longitudinal.

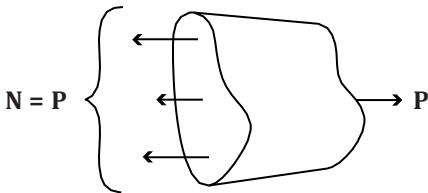


Figura No39 Resultante fuerzas interiores.

La fuerza **N** es la resultante de las fuerzas interiores en la sección.

Por tanto las **tensiones normales** en todos los puntos de la sección serán:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (9)$$

σ - Tensión Normal (N/m^2)

N - Normal (N)

A - Área de la sección transversal (m^2)

Tensión: Medida de la intensidad de una fuerza aplicada. Se conoce también como **esfuerzo**. La tensión se mide en unidades de fuerza por unidad de área. En la técnica regularmente se expresa en kg/cm^2 o kg/mm^2 ; pero debe expresarse en N/m^2 , o lo que es lo mismo Pascal (Pa).

Es de suponer que la distribución de los esfuerzos interiores es uniforme en la sección transversal. Esto es válido también, teóricamente, para el caso de elementos con cambios bruscos de sección, donde estas variaciones no se tienen en cuenta. A esto se le llama **estado tensional uniforme**.

En el caso de la tracción no siempre surge un estado tensional uniforme u homogéneo. En un elemento de sección variable, las tensiones varían a lo largo del elemento.

Las dimensiones de un elemento traccionado varían, según la magnitud de las fuerzas aplicadas. Si antes de aplicar la carga su longitud era l , después será $l + \Delta l$.

Consideremos en lo adelante que el alargamiento total y las deformaciones están relacionadas solamente con las tensiones en la barra, aunque en realidad existen otros factores que influyen, como pueden ser la temperatura y el tiempo de acción de la carga.

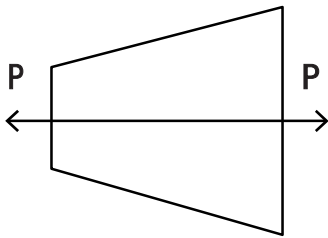


Figura No40 Elemento de sección variable.

Puesto que el estado tensional en la barra es homogéneo, en todas las secciones de esta existen las mismas condiciones, por lo que la **deformación unitaria** de la barra (ϵ) es:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L} \quad (10)$$

Cuando se trata de alargamientos pequeños, en la mayoría de los materiales es válida la **LEY DE HOOKE**, la cual establece una relación de proporcionalidad entre las tensiones y las deformaciones.

$$\sigma = E\epsilon \quad (11)$$

Donde: **E** - Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad es una constante física que se halla experimentalmente y su unidad se expresa en N/m^2 .

La **Ley de Hooke** es aproximada. Para el caso del acero se cumple con gran exactitud dentro de amplios límites de variación de tensiones. Para otros casos, como el hierro fundido, se aprecian desviaciones.

En la práctica, para el cálculo del alargamiento, se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta l = \frac{PL}{EA} \quad (12)$$

Cuando la temperatura es un factor importante, a la deformación debido a la carga,

se suma la deformación por temperatura, siendo entonces:

$$\Delta L = \frac{PL}{EA + L\alpha t} \quad (13)$$

Donde: α - coeficiente de dilatación lineal (por tabla).

2.2 COEFICIENTE DE SEGURIDAD.

Los cálculos de estructuras, asumiendo determinado régimen de explotación teórico, puede diferenciarse bastante de la explotación que en la práctica tiene lugar, debido a condiciones puntuales, por lo que para asegurar su trabajo con eficiencia se recurre al **coeficiente de seguridad** o reserva de resistencia.

$$[\sigma_{adm}] = \frac{\sigma_{lim}}{n} \quad (14)$$

Donde:

$[\sigma_{adm}]$ - tensión admisible (N/m²);

σ_{lim} - tensión límite (N/m²);

n - coeficiente de seguridad.

El coeficiente de seguridad afecta en mayor o menor medida el valor de la Tensión Admisible, la que se compara con la Tensión Real y se obtiene la **condición de resistencia**, que se expresa:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma_{adm}] \quad (15)$$

Así pues, el coeficiente de seguridad se introduce para conseguir un funcionamiento fiable de la estructura y sus partes, y protegernos de posibles desviaciones desfavorables de las condiciones reales de trabajo, en comparación con las consideradas en el cálculo.

Se recomienda el empleo de al menos 3 de estos coeficientes (son hasta 10).

$$n = (n_1) (n_2) (n_3) \quad (16)$$

Donde:

n₁ - Considera posibles errores de cálculo en las cargas y las tensiones (1,2--1,5).

n₂- Considera heterogeneidad del material y posibles defectos en los procesos tecnológicos:

- 1,2-1,5 materiales plásticos.
- 2,0-3,0 materiales poco plásticos.
- 3,0-4,0 materiales frágiles.
- 4,0-6,0 materiales muy frágiles.

n₃ - Considera el grado de responsabilidad de la pieza (1,0–1,5).

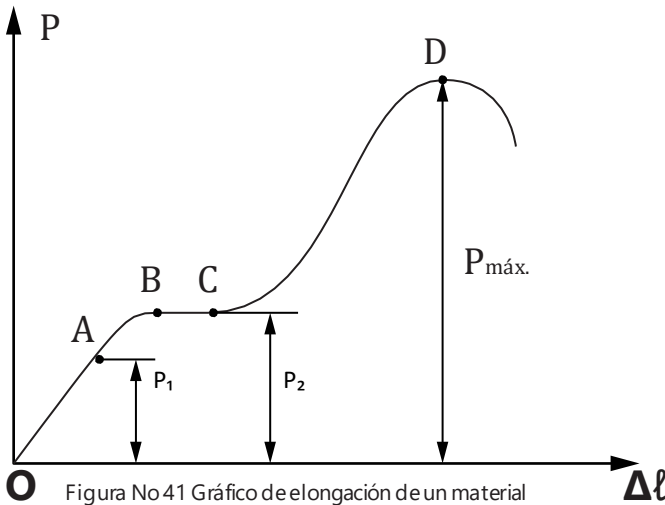
Los factores que disminuyen la resistencia de la pieza (sobrecargas, heterogeneidad de los materiales, etc.) son magnitudes de carácter accidental, que no pueden ser previstas. Sin embargo las piezas o estructuras tienen que trabajar en estas condiciones desfavorables, por lo que siempre es bueno tomar algunas precauciones.

Tensión admisible

El cociente entre el límite elástico y el coeficiente de seguridad es la tensión máxima que se acepta para que un material trabaje en condiciones de seguridad. Esta tensión se llama **tensión admisible** [**σ_{adm}**].

Se entiende por **tensión límite** con cargas estáticas al **límite de resistencia** en el caso de materiales frágiles, y al **límite de fluencia** en el caso de materiales plásticos, porque cuando las tensiones son iguales al límite de fluencia, se desarrollan deformaciones plásticas que pueden ser inadmisibles e irreversibles.

Veamos en un gráfico el fenómeno de fluencia de un material elástico, en el que se puede apreciar el proceso de deformación y el límite de fluencia y de Resistencia del material.



Por el eje horizontal de la gráfica se ha trazado la elongación $\Delta\ell$ de la probeta y por el eje vertical, la fuerza de extensión P .

OA - elongaciones proporcionales a la fuerza. Desaparecen cuando se quita la carga (deformaciones elásticas).

La tensión en el material producto de la fuerza P_1 es el **límite de proporcionalidad**, el cual se encuentra en el punto A.

La magnitud del límite de proporcionalidad se designa como σ_p y se determina:

$$\sigma_p = \frac{P_1}{A} \quad (17)$$

Donde:

P_1 - Valor máximo de la carga correspondiente a la sección OA (N).

A - Área de la sección transversal de la probeta (m^2).

ABC -El comportamiento del material varía. Comenzando en **A** la curva pasa casi a una recta horizontal, la elongación se hace mayor sin aumentar perceptiblemente la fuerza. Este fenómeno se llama **Fluencia del material**. La tensión en el material que corresponde al punto **B** se llama **límite de fluencia (σ_f)**.

Se llama límite de fluencia a la tensión a partir de la cual se produce el fenómeno de fluencia del material (cambio de forma irreversible).

$$\sigma_f = \frac{P_2}{A} \quad (18)$$

Donde:

P₂- Fuerza sobre la probeta que corresponde al punto B (N).

A - Área de la sección transversal de la probeta (m²).

Cuando se ensayan materiales frágiles tendremos diagramas de alargamiento en los cuales se expresan débilmente o están ausentes, características tales como el límite de proporcionalidad y el límite de fluencia.

La carga máxima **P_{máx}** está en el punto más alto (**D**) del diagrama, que corresponde con el **límite de resistencia (σ_{res})**:

$$\sigma_{res} = \frac{P_{máx}}{A} \quad (19)$$

Donde:

P_{máx} - Fuerza sobre la probeta que corresponde al punto D (N).

A - Área de la sección transversal de la probeta medida antes del ensayo (m²).

El límite de resistencia (**σ_{res}**) es la característica fundamental de los materiales frágiles. Cuando se someten los materiales al ensayo de alargamiento o a la flexión, se determinan el límite de resistencia (**σ_{res}**) y el límite de fluencia (**σ_f**) partiendo de las tensiones normales.

Al ensayar materiales al cizallamiento o a la torsión, las tensiones tangenciales determinan el límite de resistencia al cizallamiento (torsión) (**τ_{res}**) y el límite de fluencia al cizallamiento (torsión) (**τ_f**).

El límite de resistencia es la tensión o fatiga a partir de la cual el material se rompe. Un material puede romperse sin que las tensiones hayan alcanzado el límite de resistencia, si las cargas que actúan sobre el cuerpo son variables, tanto por la magnitud, como por la dirección.

Se llama **límite de fatiga** a las tensiones límite de las cargas dinámicas, con las cuales el material no se rompe ante cualquier gran número de variaciones de cargas.

El límite de resistencia para las tensiones normales con una variación de carga entre **-P** y **+P** se representa como **σ_{-1}** y para las tensiones tangentes, **τ_{-1}** .

La dependencia entre la cantidad de ciclos de variaciones de carga (tensiones) y las tensiones que provocan la rotura (límite de fatiga) se establece experimentalmente.

Cuando las cargas son variables, sobre la resistencia mecánica del material influye la concentración de tensiones en los sitios en que la forma de la sección transversal cambia (curvas, roscas, agujeros, ranuras, etc.), asimismo influye el acabado de la superficie de la pieza y sus dimensiones absolutas.

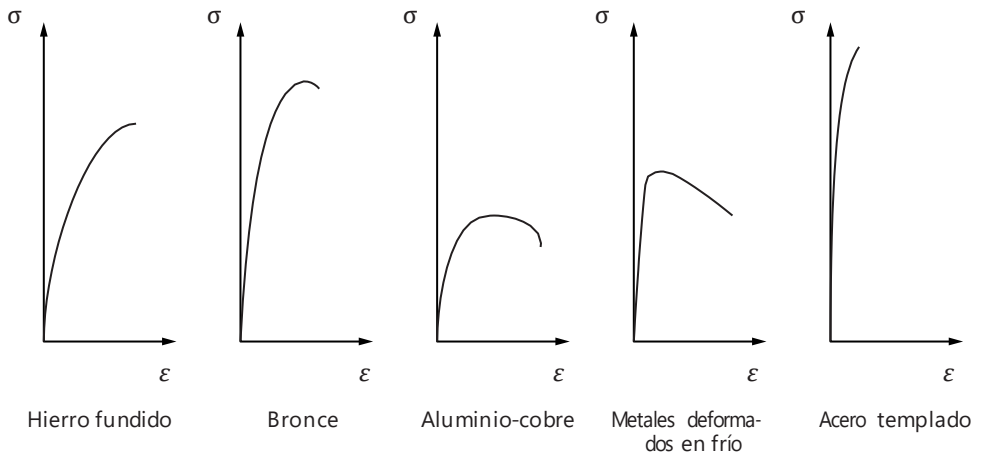


Figura No42 a, b, c, d, e Diagramas de tracción de algunos metales

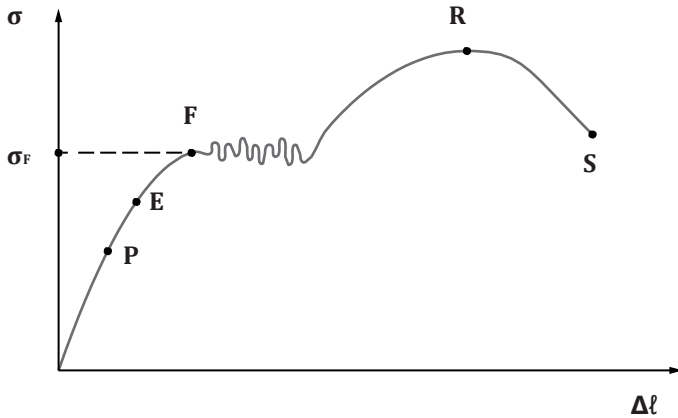


Figura No43 Diagrama de tracción del acero. Fenómeno de fluencia

2.3 TRACCIÓN Y COMPRESIÓN SOBRE PLANOS INCLINADOS.

En la práctica la tracción o compresión no siempre se da de forma perpendicular a la sección del elemento, sino que la mayoría de los casos estos esfuerzos pueden estar dados sobre planos inclinados. Por ejemplo:

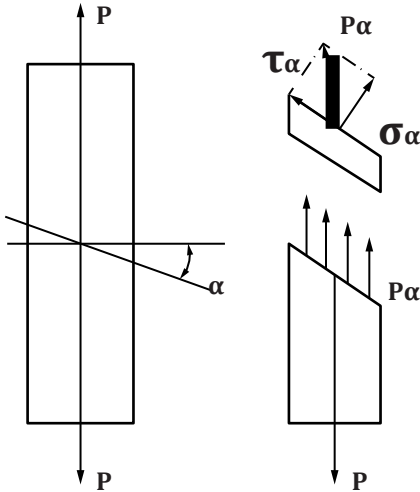


Figura No 44 Tracción en plano inclinado

En la figura anterior se muestra un elemento alargado por la fuerza P . Si se secciona el elemento por un plano que forme con su eje un ángulo α , la parte seccionada del elemento la equilibran las fuerzas internas de tensión $P\alpha$. La dirección de las tensiones $P\alpha$ forman con el plano de la sección un ángulo α .

Descomponemos las tensiones $P\alpha$ en componentes perpendiculares ($\sigma\alpha$) al plano de la sección y tangenciales ($\tau\alpha$) que se encuentran en el plano de la sección. De esta forma, sobre una sección inclinada actúan simultáneamente tensiones normales y tangenciales. Al variar el ángulo α cambian las magnitudes de los componentes de las tensiones $\sigma\alpha$ y $\tau\alpha$.

En el caso de que el ángulo $\alpha=0$, las tensiones tangenciales $\tau_{\alpha}=0$ y las normales alcanzan el máximo valor $\sigma_{\alpha}=\rho_{\alpha}=\sigma_{\text{máx}}$.

Las tensiones tangenciales alcanzan el máximo valor en una sección inclinada cuando $\alpha=45^{\circ}$:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{máx}} \quad (20)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{2A} \quad (21)$$

Este razonamiento es válido también para la compresión.



UNIONES

Las estructuras están formadas por cierto número de elementos que se fijan de alguna forma entre sí, para que puedan realizar su función.

Las formas en que estos elementos pueden unirse son muy diversas, pero pueden clasificarse dentro de estos dos grandes grupos:

CLASIFICACIÓN DE LAS UNIONES O NUDOS

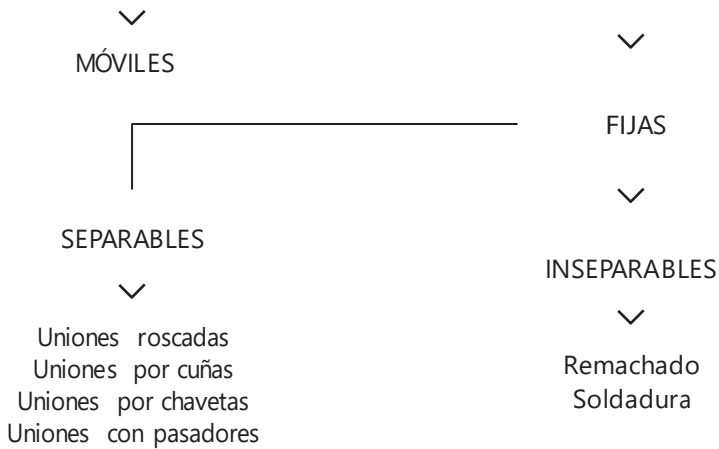


Figura No 45 Clasificación de las uniones

Uniones

Separables:

Tienden a separarse sin romper el elemento de unión. Ej.: Uniones roscadas.

Uniones

Inseparables:

No pueden separarse sin romper el elemento de unión. Ej: Soldaduras y remaches.

Por la importancia que dentro de estas uniones tienen las Uniones Roscadas, el Remachado y la Soldadura, es precisamente a ellas que nos vamos a referir.

3.1 UNIONES ROSCADAS.

Las Uniones Roscadas son aquellas que se ejecutan mediante pernos, espárragos y tornillos de retención.

Estos elementos se fabrican de diferentes materiales tales como aceros, aleaciones de Cu, aleaciones de Al, y otras.

En el caso de los elementos roscados de acero, se pueden fabricar con aceros de bajo contenido de carbono (Ac 2, Ac 3) hasta con medio contenido de carbono (Ac 35, Ac 45) y también con aleados con diferentes elementos.

Los elementos roscados se calculan a tracción y a cortante, teniendo en cuenta el material de que están fabricados.

Las tensiones admisibles a la tracción en las uniones roscadas se determinan:

$$[\sigma_{adm \text{ u/r}}] \leq 0,8 [\sigma_{adm}] \quad (22)$$

Las tensiones admisibles al corte se determinan según:

$$[\tau_{adm\ u/r}] \leq (0,6-0,8) [\tau_{adm}] \quad (23)$$

Los elementos roscados que trabajan con una carga axial, se calculan a la tracción:

$$N_{pm} = [\sigma_{adm\ u/r}] \cdot d_1^2 \cdot \pi / 4K \quad (24)$$

Donde:

N_{pm}- Carga máxima permisible de la rosca a la tracción (N);

d₁- Diámetro interior de la rosca (mm);

K- Coeficiente de tensado.

Cuando los pernos están cargados con una fuerza transversal, se diseñan de forma tal que la fuerza de corte recaiga en una zona no roscada del vástago y éste se introduce en un agujero sin holgura. En estos casos, se calcula según:

$$Q_{pm} \leq \pi d^2 / 4 \cdot [\tau_{adm\ u/r}] \cdot P \quad (25)$$

Donde:

Q_{pm}- Carga transversal permisible en el perno (N);

d - Diámetro de la parte no roscada del vástago;

P- Número de planos de corte.

3.2 UNIONES REMACHADAS.

Las uniones remachadas, antes universalmente usadas, han sido sustituidas en gran medida por la soldadura que es mucho más económica. El campo de las uniones remachadas se limita actualmente a las construcciones y a estructuras con cargas dinámicas, como puentes, cuerpos de aviones, chasis de automóviles, y estructuras similares en las que no es conveniente, o posible, el empleo de soldaduras.

Las uniones remachadas se dividen en 3 tipos, de acuerdo a su aplicación:

- **Sólidas:** Resisten acción de cualquier carga (estructuras de construcción).
- **Sólido-compactas:** Además deben asegurar la impermeabilidad (tanques de agua y combustibles).
- **Compactas:** Deben garantizar además la presión hidrostática (calderas de vapor).

Para ejecutar una unión remachada, deben taladrarse las piezas, o aprovechar uno o varios agujeros para insertar los remaches y realizar el cierre mediante golpes, con la ayuda de un apoyo, un punzón y un martillo o una máquina, según sea el proceso, manual o mecanizado.

Durante el proceso, el vástago o varilla se ajusta de manera compacta al agujero, uniendo las piezas entre sí. El proceso se puede realizar en frío o caliente, en dependencia del material del remache y las dimensiones.



Figura No 46 Remache



Figura No 47 Estructura remachada

Las uniones remachadas se hacen a solape y a tope, esta última con una o dos cubrejuntas, y pueden tener entre 1 y 3 filas de remaches.

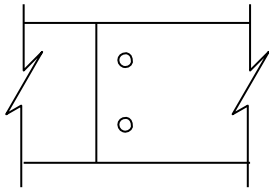
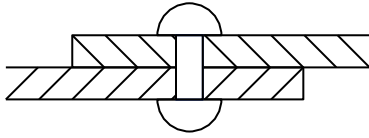


Figura No48 Unión a solape

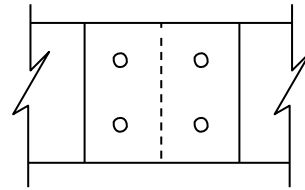
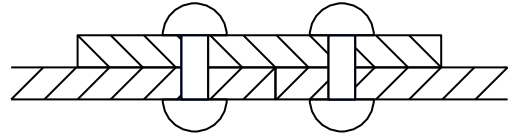


Figura No 49 Unión a tope

Las uniones remachadas se calculan a cortante en el plano de deslizamiento de las chapas y a la compresión, en las paredes de los agujeros.

La carga que un remache tolera al corte se calcula:

$$Q_r = P \cdot \pi d^2 \cdot [\tau_{adm}] / 4 \quad (26)$$

Donde:

P- Número planos de corte;

d- Diámetro del agujero (mm).

La cantidad indispensable de remaches para soportar la fuerza Q será:

$$R = \frac{Q}{Q_1} \quad (27)$$

Donde:

Q - Fuerza de corte total (N);

Q₁- Fuerza que soporta un remache (N).

El diámetro del orificio para la colocación del remache se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$d = 2S \quad (28)$$

Donde:

S- Espesor de la plancha; mm.

El paso entre remaches se determina de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$t = 2d + 8 \quad (29)$$

La distancia mínima entre el borde de la plancha y el centro del remache:

$$e = 1,5d \quad (30)$$

El ancho de las planchas a unir se determina por la siguiente fórmula:

$$b = 2(t + e) \quad (31)$$

La comprobación al corte de la union remachada:

$$\tau_r = Q_r / 2R(e - 0,5d) S \leq [\tau_{adm}] \quad (32)$$

La comprobación a la compresión de la union remachada:

$$\sigma_r = N / S (b - Rd) \leq [\sigma_{adm}] \quad (33)$$

3.3 UNIONES SOLDADAS.

Las uniones soldadas se emplean en la fabricación de estructuras metálicas, en la reparación y construcción de maquinaria, sustituyendo en muchos casos a las piezas fundidas.

La soldadura es considerablemente más económica que el remachado, debido al menor consumo de material y menor volumen de los trabajos de preparación (marcación, taladrado).

El proceso de soldadura consiste en el empleo de un calentamiento local y en utilizar las fuerzas de enlace molecular para obtener una unión inseparable.

La soldadura se clasifica en:

- a) Soldadura por Contacto.
- b) Soldadura por Fusión.

En el primer caso, el metal se calienta hasta la temperatura de soldar y se comprime.

En el caso de la soldadura por Fusión, las piezas a soldar se calientan hasta la temperatura establecida y después se unen por medio del metal adicional de una varilla de acero, u otro material, fundidas.

Según sea el procedimiento de calentamiento de las piezas a soldar, las soldaduras se clasifican en:

- a) Eléctrica.
- b) Oxiacetilénica.
- c) Por gas.

La soldadura más empleada en la industria de maquinaria es la Eléctrica.

La soldadura eléctrica al arco a mano, se emplea en los trabajos de reparación o en las producciones por unidades. En la producción en serie de estructuras soldadas, se emplean soldaduras automáticas.

En las uniones soldadas de aceros pobres en carbono, se emplean electrodos (material de aportación).

En el proceso de soldadura, el material de las piezas a unir (que es el lugar de calentamiento) y el material del electrodo (que es el material de aportación) experimentan cambios estructurales, debido a lo cual la resistencia mecánica de la costura resulta inferior a la resistencia del material base.

La reducción de la resistencia mecánica de la costura depende del material del electrodo y del procedimiento de soldadura. Las tensiones admisibles de la costura se toman como una parte de las tensiones admisibles del material base.

Para el cálculo de la resistencia de las uniones soldadas debemos tener clara la clasificación de las costuras soldadas en:

- a) Costura a Tope.
- b) Costura de Cordón.

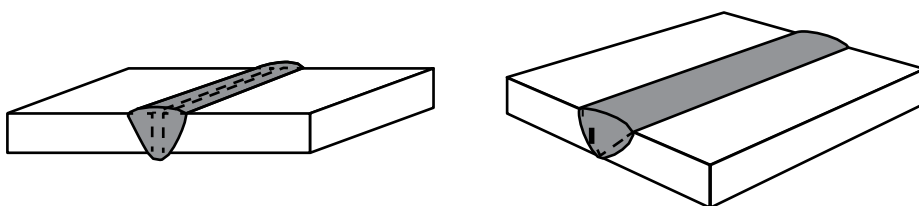


Figura No 50 Costura a tope

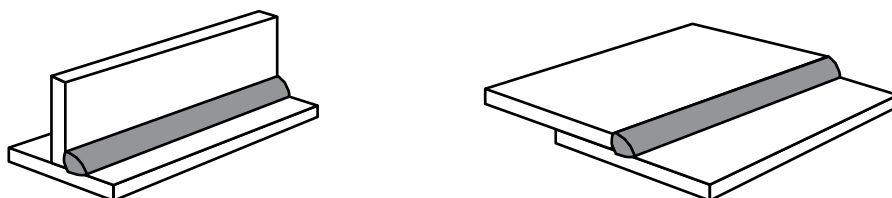


Figura No 51 Costura a solape

Las costuras a tope se emplean para unir chapas y bandas.

Las costuras de cordón se emplean en las uniones solapadas y en las costuras a tope, con cubrejuntas.

Las costuras a tope se calculan a tracción con el empleo de la fórmula:

$$P_s = S L [\sigma_{adms}] \quad (34)$$

Donde:

P_s – Carga que tolera la costura (N);

L – Longitud de la costura (mm);

S – Espesor de la chapa (mm).

[σ_{adms}]- Tensión admisible a la tracción en las uniones soldadas (N/mm²).

Las costuras de cordón se calculan al corte con el empleo de la siguiente fórmula:

$$P = 0,7 S L [\tau_{adms}] \quad (35)$$

Donde:

P - Carga que tolera la costura (N);

L - Longitud de la costura (mm);

S - Espesor de la chapa (mm).

[τ_{adms}]- Tensión admisible al corte en las uniones soldadas (N/mm²).

En el caso de cargas dinámicas las tensiones admisibles de la costura soldada se multiplican por el Coeficiente Dinámico (γ).

En el caso de las costuras a tope: γ = 0,75.

Para el caso de las costuras de cordón con carga variable γ=0,6.

Tabla No5 Valores de la tensión admisible en las uniones soldadas.

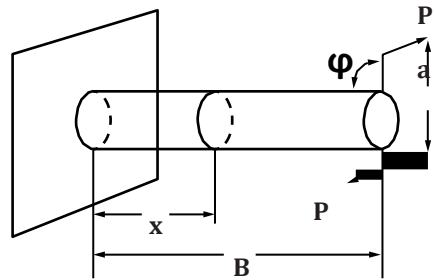
Tipo de soldadura	Tensión admisible a tracción en la costura	Tensión admisible a compresión en la costura	Tensión admisible al corte en la costura
Automática	0,9 σ _{admt}	1,0 σ _{admc}	0,65 τ _{adm}
A mano	0,6 σ _{admt}	0,75 σ _{admc}	0,5 τ _{adm}

IV

TORSIÓN

4.1 DEFORMACIÓN POR TORSIÓN.

En la figura No 52 se representa una barra que tiene un extremo empotrado y el otro libre, cargado con un par de fuerzas ($P.a$), que actúa sobre el plano de su sección transversal.



Si seccionamos esta barra por un plano transversal, a cualquier distancia X desde el lugar donde está empotrada, tenemos que para conservar el equilibrio de la parte seccionada, hay que aplicarle en el plano de la sección el par o "momento de torsión" (M_x), igual en magnitud y opuesto en signo al momento ($P.a$) del par de fuerzas.

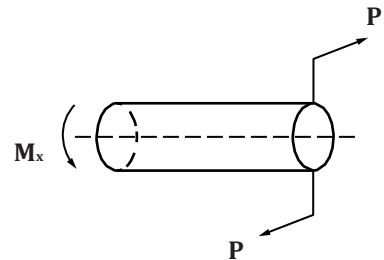


Figura No52 Barra empotrada

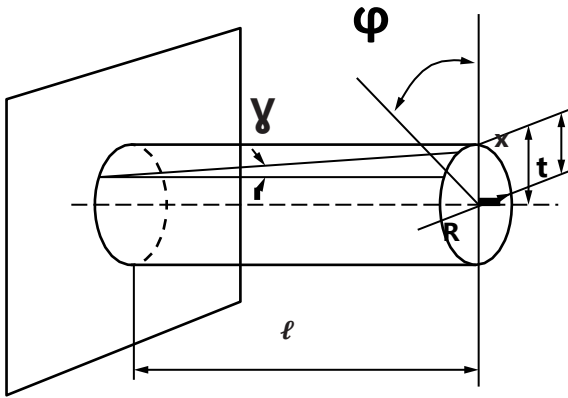


Figura No 53 Barra empotrada

Bajo la acción del momento $(P.a)$ del par de fuerzas, todas las secciones del cilindro giran, salvo la empotrada. El ángulo de giro del extremo libre de la barra se llama ángulo absoluto de torsión (φ) .

La relación del ángulo absoluto de torsión (φ) y la longitud de la barra (ℓ) se denomina ángulo relativo de torsión (θ) y se expresa:

$$\theta = \varphi / \ell \quad (36)$$

En la figura No 53 se puede apreciar que debido a la deformación de torsión, las fibras de la barra se desplazan un ángulo (γ) llamado cizallamiento relativo.

El enlace entre el ángulo de giro (φ) y el de cizallamiento relativo (γ) se expresa:

$$\gamma \ell = \varphi R \quad \text{ó} \quad \gamma = \theta R$$

Las fibras que experimentan mayor desplazamiento son las que se encuentran a mayor distancia del centro de la sección, es decir, las fibras periféricas, en las cuales $(X=R)$. En el centro de la sección el desplazamiento es igual a cero, ya que para la fibra central $R=0$.

Si las deformaciones por cizallamiento no sobrepasan los límites de las deformaciones elásticas, las tensiones tangenciales (τ) son proporcionales al cizallamiento relativo (γ) .

Esta condición se llama Ley de Hook del cizallamiento y se expresa:

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (38)$$

Donde:

G - módulo de elasticidad a la cizalladura (MPa).

Entre el módulo de cizallamiento (G) y el de elasticidad a la tracción (E) existe el siguiente enlace:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (39)$$

Donde:

μ - Módulo de Poisson.

De la fórmula $(\tau = G \cdot \gamma)$ se deduce que la magnitud de las tensiones tangenciales de torsión varían de cero en el centro de la sección, al máximo en las fibras periféricas:

$$\tau_{\text{máx}} = G \cdot \gamma_{\text{máx}} = G \cdot \theta \cdot R \quad (40)$$

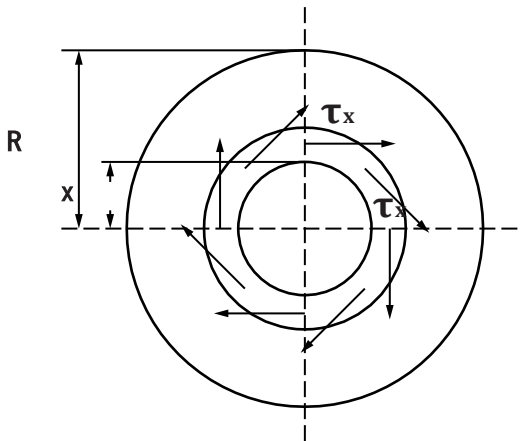


Figura No54 Tensiones tangenciales

En la figura se muestra un diagrama de las tensiones de torsión. Las tensiones, a una distancia arbitraria x del centro de la sección, son iguales a:

$$\tau_p = \tau_{\text{máx}} \frac{x}{R} \quad (41)$$

Una parte del par de torsión equilibrada por las tensiones (τ_p) en un anillo estrecho es igual a:

$$M_x = A_x \cdot \tau_x \cdot x \quad (42)$$

Donde:

A_x - área del anillo (m^2).

El par de torsión completo es igual a la suma de los momentos (M_x) tomados de toda el área de la sección:

$$M_{\text{tor}} = \sum M_x = \sum F_x \tau_x x \quad (43)$$

La expresión ($\sum F_x x^2$) se llama momento polar de inercia de la sección. Su valor depende de la forma de la sección. El momento polar de inercia se designa como (I_p), expresándose en (mm^4). Después de varias sustituciones obtenemos:

El Momento Torsor (M_{tor}):

$$\mathbf{M_{tor}} = \boldsymbol{\tau_{m\acute{a}x}} \cdot \mathbf{I_p/R} \quad (44)$$

Donde:

$\mathbf{I_p}$ – Momento Polar de Inercia (mm^4).

La tensi3n máxima permisible:

$$\boldsymbol{\tau_{m\acute{a}x}} = \mathbf{M_{tor}} \cdot \mathbf{R/I_p} \quad (45)$$

Tomando el par o momento de torsi3n ($\mathbf{M_{tor}}$) dado en (Nm), el radio (\mathbf{R}) en (mm) y el momento polar de inercia ($\mathbf{I_p}$) de la secci3n de la barra en (mm^4); la f3rmula obtenida sirve para determinar las tensiones máximas ($\boldsymbol{\tau_{m\acute{a}x}}$) de cizalladura (torsi3n) en la secci3n transversal de una barra redonda, expresadas en (Mpa).

El valor ($\mathbf{I_p/R}$) se llama momento polar de resistencia de la secci3n y se designa como ($\mathbf{W_p}$), expresándose en (mm^3).

Las f3rmulas previstas de la torsi3n se suelen expresar mediante el momento polar de Resistencia:

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{\mathbf{M_{tor}}}{\mathbf{W_p}} \leq [\boldsymbol{\tau_{adm}}] \quad (46)$$

Donde:

$\boldsymbol{\tau_{adm}}$ - Tensi3n admisible a la torsi3n.

Los valores del momento polar de inercia ($\mathbf{I_x}$) y el momento polar de resistencia ($\mathbf{W_p}$) que corresponden a un círculo y a un anillo se dan en la tabla No 6.

Tabla No 6. Momento polar de inercia y momento polar de Resistencia.

Forma de la sección transversal	Momento polar de Inercia (I_p)	Momento polar de resistencia (W_p)
Círculo	$0,1d^4$	$0,2d^3$
Anillo circular	$0,1(d^4-d_1^4)$	$0,2d^3(1-\beta^4)$

Donde:

- d**: diámetro exterior;
- d1**: diámetro interior;
- β** = d_1/d .

4.2 ÁNGULO DE TORSIÓN.

Ya hemos establecido la relación entre el ángulo relativo de torsión (θ) y la tensión (τ) a través de la fórmula ($\tau = G \cdot \theta \cdot R$).

Sustituyendo (τ) en la expresión del momento de torsión ($M_{tor} = \tau_{máx} \cdot I_p/R$):

$$M_{tor} = G \cdot I_p \cdot \theta \quad (47)$$

De aquí que la magnitud del ángulo relativo de torsión (θ) se define de acuerdo con la relación:

$$\theta = \frac{M_{tor}}{G I_p} \quad (48)$$

Multiplicando ambas partes de la última fórmula, por la longitud de la barra, tendremos:

$$\theta l = \frac{M_{tor} l}{G I_p} \quad (49)$$

Como (θl) es el ángulo absoluto de torsión (φ) de una barra redonda, entonces:

$$\varphi = \frac{M_{tor} l}{G I_p} \quad (50)$$

Esta fórmula sirve para determinar el ángulo absoluto de torsión de una barra redonda que tiene una longitud (l) y una rigidez $(G I_p)$, cuando se le carga con un momento de torsión (M_{tor}) .

Al determinar el ángulo de torsión (φ) o al calcular una barra a la torsión, es necesario conocer de qué modo se distribuye el momento de torsión por la longitud de la barra.

De acuerdo con el diagrama de los momentos de torsión (M_{tor}) puede determinarse la magnitud del momento de torsión que actúa en cualquier sección de la barra.

La magnitud del ángulo absoluto de torsión (φ) de cualquier sección de la barra, se determina por el diagrama de los ángulos de torsión.

Los diagramas se construyen trazando los valores de los momentos de torsión (M_{tor}) o de los ángulos de torsión (φ) , partiendo del eje neutro situado paralelamente al eje de la barra.

Las magnitudes de los momentos de torsión o de los ángulos de torsión se trazan a una escala elegida bajo la sección respectiva de la barra, perpendicularmente al eje neutro.

Según sea el signo del momento de torsión o el sentido del ángulo de torsión, sus ordenadas (magnitudes) se trazan hacia arriba o hacia abajo del eje neutro. El sentido positivo (negativo) de las ordenadas se elige convencionalmente.

Los diagramas de los momentos de torsión tienen aspecto de rectángulo:

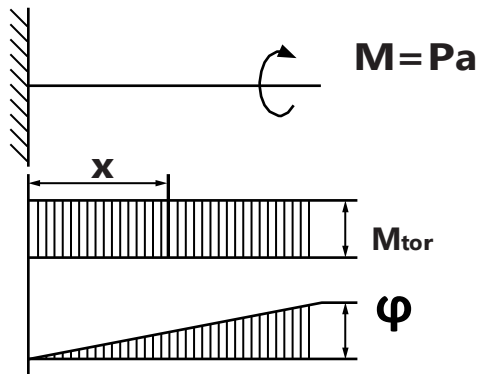


Figura No55. Diagramas momento torsor y ángulo absoluto de torsión

El diagrama de los ángulos absolutos de torsión (φ) puede construirse con ayuda de la ($\varphi_x = M_{tor} \cdot X / G I_p$); siendo X la coordenada de la longitud de la barra que se calcula desde el extremo fijo. En el caso de una barra fija por un extremo, si ($X=0$), el ángulo ($\varphi_0=0$),

4.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE UNA BARRA REDONDA.

El cálculo de resistencia a la torsión de barras redondas se realiza por las tensiones tangenciales máximas ($\tau_{máx}$) que actúan en la sección:

$$\tau_{máx} = \frac{M_{tor}}{W_p} \leq [\tau_{adm}] \quad (51)$$

Donde:

M_{tor} - Momento de torsión que actúa en la sección a calcular, (Nm); (se determina mediante el diagrama).

W_p - Momento polar de resistencia de la sección, (mm^3); (por tabla).

Esta fórmula nos permite comprobar la resistencia, en el caso que sean conocidos el momento de torsión (M_{tor}) y el diámetro de la barra (d), mediante la comparación de las tensiones reales máximas ($\tau_{máx}$) con las tensiones admisibles por el material (τ_{adm}).

V

FLEXIÓN

5.1 DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN.

A los elementos de las estructuras sometidos a flexión se le llaman “vigas”.

La flexión más frecuente es la transversal, en la cual las fuerzas exteriores son perpendiculares al eje longitudinal de la viga y actúan en un plano que pasa por dicho eje y por uno de los ejes centrales principales de la sección transversal, en particular, en el plano que coincide con el de simetría de la viga. Esta flexión recibe el nombre de “plana”.

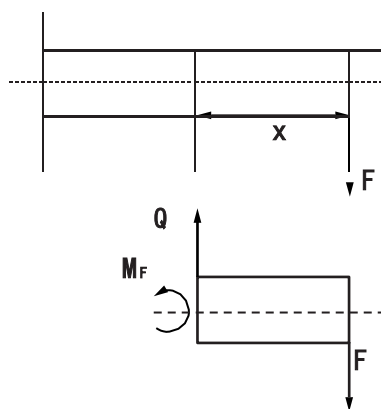


Figura No56 Flexión transversal

Si la fuerza que ocasiona la deformación por flexión actúa en un plano que pasa por el eje de la viga, pero que no pasa por uno de los ejes centrales principales de su sección transversal, se produce la “flexión desviada”.

En las secciones transversales de las vigas surgen durante la flexión dos factores de fuerza internos:

- * Un momento flector (**MF**);
- * Una fuerza transversal (**F**).

No obstante, es posible un caso particular en el que en las secciones transversales de la viga surge un solo factor de fuerza, el momento flector, y la fuerza transversal es nula. En este caso se dice que la flexión es “pura”. La flexión pura se produce cuando la viga es doblada por dos pares de fuerzas de sentidos opuestos, aplicados a sus extremos.

En la figura No 57 se muestra una viga antes de ser sometida a una fuerza transversal (a) y la misma viga experimentando deformación por flexión (b). Las secciones **mn** y **ck** siguen siendo planas y forman con el ángulo de la viga un ángulo recto.

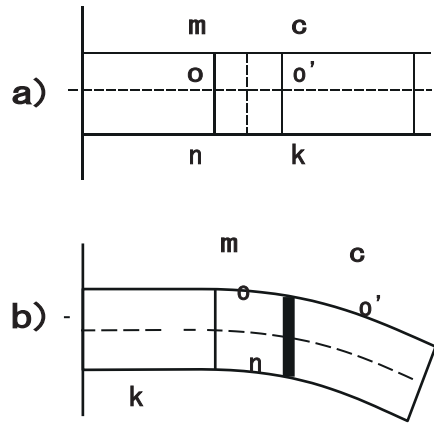


Figura No 57 a,b Viga sometida a flexion transversal

De la figura (b) se ve que la capa **mc** se alargó, en tanto que la capa **nk** se acortó. La deformación no afecta las dimensiones iniciales de la capa **oo'** que pasa por el eje de la viga, por lo que se le llama "capa neutra". La capa neutra pasa por el centro de gravedad de la sección.

Como resultado del alargamiento y acortamiento de las capas de la viga se engendran tensiones normales de tracción y compresión en su sección transversal. Las tensiones experimentadas por una capa de la viga separada de la neutra a una distancia "**y**", se determina de acuerdo con la fórmula de Hooke:

$$\sigma_f = \epsilon_x \cdot E \quad (52)$$

De donde se puede deducir que la capa que se encuentra a la distancia máxima de la neutra experimenta las tensiones normales máximas, ya que es la que tiene mayor alargamiento relativo (**ϵ_x**).

Las tensiones en las capas **k** y **c**, serán:

$$\sigma_k = \frac{M_f \cdot e_k}{I_x} \quad (53)$$

$$\sigma_c = \frac{M_f \cdot e_c}{I_x} \quad (54)$$

Donde:

I_x - Momento axial de inercia de la sección, tomado con respecto al eje **x**;

e_k y **e_c** -Distancias de la capa neutra a las capas exteriores **k** y **c**;

σ_k y **σ_c** -Tensiones en las capas **k** y **c**.

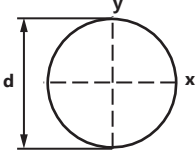
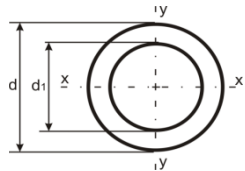
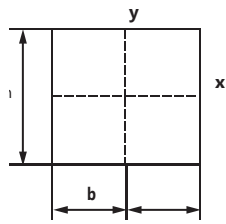
Se le llama "momento axial de resistencia" a las razones respecto al eje **x**, y se designan como **W_x** . (Ver tabla).

$$W_x = \frac{I_x}{e_k} \quad \text{ec} \quad W_x = \frac{I_x}{e_k} \quad (55)$$

La Condición de Resistencia a la flexión será:

$$\sigma_f = \frac{M_F}{W_x} \leq [\sigma_{admf}] \quad (56)$$

Tabla No 7. Momento axial de inercia y de resistencia

Forma de la sección transversal	I_x	I_y	W_x	W_y
	$0,5 \cdot d^4$		$0,1 \cdot d^3$	
	$\frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4)$		$\frac{\pi}{32} \frac{(d^4 - d_1^4)}{d}$	
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{b^3h}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{b^2h}{6}$

5.2 CÁLCULO DE FLEXIÓN TRANSVERSAL.

En el caso de la flexión transversal, en la sección de la viga actúan tensiones tangenciales y normales. En la práctica, con frecuencia suelen encontrarse vigas cargadas con fuerzas transversales concentradas o repartidas que actúan en los planos principales de inercia de la viga.

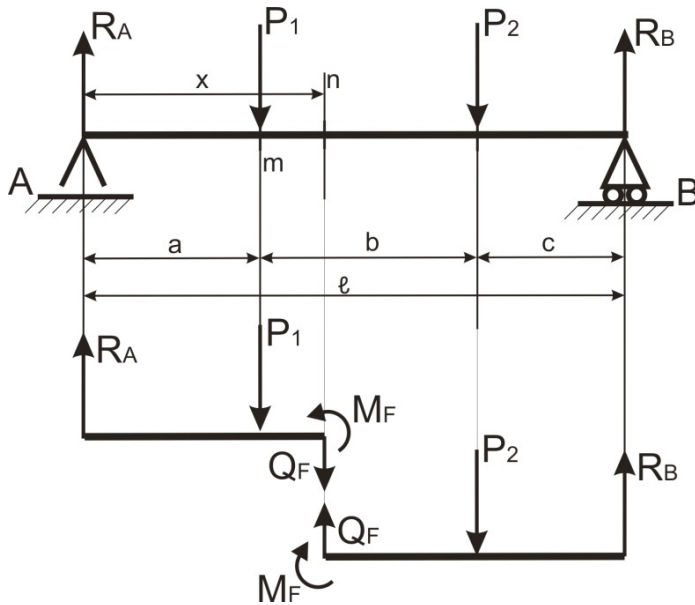


Figura No 58 Viga transversal

La deformación de la viga en el caso de una carga de esta índole se llama "**flexión transversal**".

En la figura No 58 se muestra una viga que descansa sobre los apoyos **A** y **B** y cargada por las fuerzas transversales **P1** y **P2**.

Las fuerzas activas **P1** y **P2** que actúan sobre la viga provocan en los apoyos las fuerzas reactivas **RA** y **RB**. Las fuerzas activas y reactivas son fuerzas externas que producen la deformación por flexión en la viga.

Una vez elegida una sección arbitraria **nm** de la viga a una distancia **x** del apoyo **A**, omitimos la parte izquierda de la viga y sustituimos por fuerzas su acción sobre la parte restante de la viga.

Las fuerzas **RA** y **P1** aplicadas a la parte omitida, las trasladamos al centro de la sección **nm**, quedando los momentos **RA.X** y **P1(x-a)**.

El momento resultante es el “**Momento Flector**” de la sección, en tanto que la resultante de las fuerzas trasladadas **RA** y **P1** es una fuerza transversal a la sección (**QF**).

La magnitud del momento **MF** y de la fuerza **QF** se determina de la condición de equilibrio de la parte seccionada de la viga (izquierda o derecha).

$$M_F = R_B (l-x) - P_2 (a+b-x) \quad (57)$$

$$Q_F = R_B - P_2 \quad (58)$$

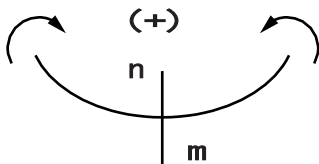
La parte izquierda de la viga tendrá por condiciones de equilibrio las siguientes:

$$M_F = R_A \cdot X - P_1 (x-a) \quad (59)$$

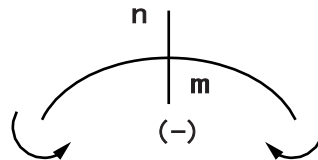
$$Q_F = R_A - P_1 \quad (60)$$

5.3 DIAGRAMAS DEL MOMENTO FLECTOR Y LAS FUERZAS CORTANTES.

La determinación de las secciones peligrosas de las vigas que trabajan a la flexión requiere de la construcción de diagramas de momentos de flexión, por los cuales puede verse claramente la variación de los momentos de flexión a lo largo de la viga.



MF-positivo



MF-negativo

Figura No 59 Momento flector positivo y negativo en una viga

El diagrama de los momentos de flexión se construye de la siguiente forma.

A partir del eje neutro trazado paralelamente al eje de la viga, se trazan, en la escala adoptada y debajo de la sección respectiva, los valores (ordenadas) de los momentos de flexión. Las ordenadas de los momentos de flexión se consideran positivas, si en esta sección la viga se flexiona hacia abajo y negativas si se flexiona hacia arriba (figura No 59).

Las ordenadas de distintos signos se trazan a uno y otro lado del eje neutro. Al determinar las tensiones lo esencial es el valor absoluto del momento de flexión, independientemente de su signo.

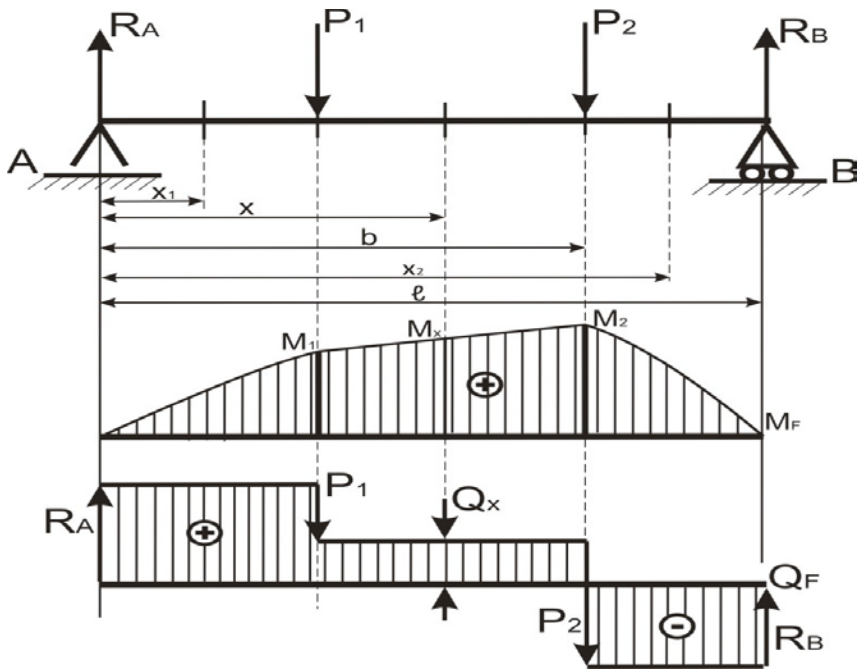


Figura No 60 Diagramas de momento flectory fuerza cortante

Supongamos que una viga descansa sobre dos apoyos y se encuentra cargada por dos fuerzas concentradas. La viga se divide en secciones. Los límites de estas secciones son los puntos de aplicación de las fuerzas concentradas y de los momentos exteriores, si los hay.

Los momentos en las secciones situadas bajo las fuerzas **RA**, **P1**, **P2** y **RB** se determinan por el método de la sección. Sus magnitudes serán:

$$\mathbf{M_1 = R_A \cdot a}$$

$$\mathbf{M_2 = R_A \cdot b - P_1(b - a)}$$

$$\mathbf{M_A = 0; \quad M_B = 0}$$

La construcción del diagrama **QF** requiere calcular las fuerzas transversales en cada una de las secciones:

$$Q_A = R_A;$$

$$Q_1 = R_A - P_1;$$

$$Q_2 = R_A - P_1 - P_2;$$

$$Q_B = R_B.$$

Principios generales para la construcción de los diagramas de flexión:

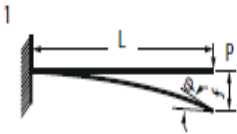
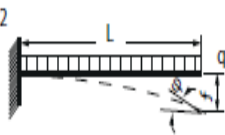
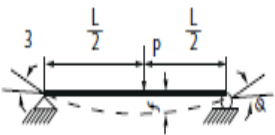
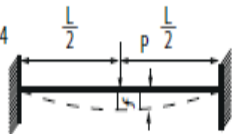
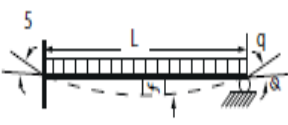
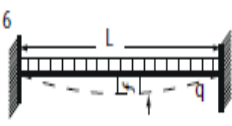
- 1) En el caso de cargas concentradas, el diagrama de los momentos se traza con líneas rectas.
- 2) En el caso de cargas continuas, y distribuidas uniformemente, el diagrama de los momentos tiene un contorno curvilíneo.
- 3) Los diagramas de las fuerzas cortantes presentan saltos en los puntos de aplicación de las fuerzas concentradas. La magnitud del salto es igual a la fuerza aplicada.
- 4) Entre los puntos de aplicación de las fuerzas, la magnitud de la fuerza de corte es constante.
- 5) En el caso de la carga distribuida uniformemente, el diagrama de las fuerzas cortantes traza una línea recta inclinada.
- 6) El momento de flexión alcanza el máximo valor en la sección en que la fuerza cortante es igual a cero.

La carga distribuida uniformemente se presenta como $q = \frac{F}{l}$ (N/mm).

Bajo la acción de una carga aplicada la viga se flexiona. La forma del eje flexionado de la viga depende de si la viga está articulada, empotrada o libre en uno de sus extremos, y de la naturaleza de la carga. El grado de deformación de una viga flexionada se determina en cada sección, por la flecha de flexión (**f**) y por el ángulo de giro del eje (**φ**).

En la siguiente tabla se muestran seis de los esquemas que se usan con más frecuencia en los cálculos de vigas, con distintas variantes de carga y procedimientos de sujeción de los apoyos; y se dan fórmulas para determinar la magnitud del Momento Flector (**MF**), la flecha de flexión (**f**), y el ángulo de giro (**φ**).

Tabla No 8. Esquemas Momentos de Flexión

Esquema de la viga	Momento de flexión	Flecha de flexión	Ángulo de giro
	En el empotramiento $M_{max} = PL$	Bajo la fuerza $f = \frac{P \cdot L^3}{3EIx}$	Bajo la fuerza $\varphi = \frac{P \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot Ix}$
	En el empotramiento $M_{max} = \frac{qL^2}{2}$	En el extremo libre $f = \frac{q \cdot L^4}{8EIx}$	En el extremo libre $\varphi = \frac{qL^3}{6EIx}$
	Bajo la fuerza $M_{max} = \frac{PL}{4}$	Bajo la fuerza $f = \frac{PL^3}{48EIx}$	En los apoyos $\varphi = \frac{PL^2}{16EIx}$
	Bajo la fuerza y en el empotramiento $M_{max} = \frac{PL}{8}$	Bajo la fuerza $f = \frac{PL^3}{192EIx}$	—
	En la mitad del tramo $M_{max} = \frac{qL^2}{8}$	En la mitad del tramo $f = \frac{5qL^4}{384EIx}$	En los apoyos $\varphi = \frac{qL^3}{24EIx}$
	En el empotramiento $M_{max} = \frac{qL^2}{12}$ En la mitad del tramo $M = \frac{qL^2}{24}$	En la mitad del tramo $f = \frac{qL^4}{384EIx}$	—

5.4 CÁLCULO DE LA FLEXIÓN LONGITUDINAL.

Una barra larga sometida a la acción de una fuerza de compresión "**P**", aplicada al centro de gravedad de la sección, puede tener dos formas de estabilidad. En el caso de pequeños valores de **P**, la barra conserva la forma rectilínea. En caso de aumento gradual de la fuerza **P**, llega el momento, cuando esta fuerza sobrepasa un límite llamado "fuerza crítica" (**P_{cr}**) y se produce la flexión de la barra, y esta, perdiendo su forma rectilínea, pasa a una segunda forma curvilínea de estabilidad. Por este motivo es necesario comprobar los elementos largos y finos de las estructuras que están sometidos a compresión.

Al cargar una barra con fuerzas de compresión que sobrepasen la fuerza crítica (**P_{cr}**), además de la compresión se observa una flexión que denominamos "**flexión longitudinal**". La flexibilidad de una barra depende de la magnitud del momento axial de inercia (**I_x**) de la sección transversal de la barra, de la longitud (**L**) de esta y del procedimiento de sujeción de sus extremos.

En la práctica, el cálculo de la flexión longitudinal se hace preferentemente a la compresión, disminuyendo la tensión admisible en un grado que depende de la magnitud de flexibilidad de la barra (**λ**).

$$[\sigma_{adm} f/l] = \varphi [\sigma_{adm}] \quad (61)$$

P < P_{cr}

P > P_{cr}

Donde:

φ - Coeficiente de corrección, cuya magnitud depende de la flexibilidad de la barra (**λ**).

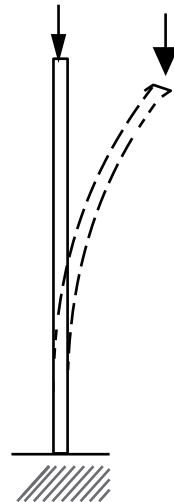


Figura No 61 Flexión longitudinal

De este modo, la determinación de la resistencia de la superficie de la sección transversal de una barra sometida a compresión se realiza por la fórmula:

$$\sigma = N/A \leq \varphi[\sigma_{adm}] \quad (62)$$

El coeficiente de corrección se elige por tabla, a partir de la flexibilidad de la barra (λ):

$$\lambda = \mu \cdot l / r_x \quad (63)$$

Donde:

μ - Coeficiente de sujeción.

r_x - radio de inercia de la sección (mm).

Tabla No 8 Valores del coeficiente de sujeción.

Caso	Procedimiento de sujeción de los extremos de la barra	μ
a	Ambos extremos están articulados	1
b	Un extremo empotrado, otro libre	2
c	Un extremo empotrado, otro tiene articulación	0,7
d	Ambos extremos empotrados	0,5

El radio de inercia de la sección (r_x):

$$r_x = \sqrt{I_x/A} \quad (64)$$

Tabla No 9 Valores coeficiente de corrección.

Flexibilidad de la barra λ	Valores de ϕ			
	Cr. 3	Cr. 5	Fundición	Madera
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,57	0,80
60	0,86	0,82	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,34	0,60
80	0,75	0,70	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,20	0,38
100	0,6	0,51	0,16	0,31
110	0,52	0,43	—	0,25
120	0,45	0,37	—	0,22
130	0,4	0,33	—	0,18
140	0,36	0,29	—	0,16
150	0,32	0,26	—	0,14
160	0,29	0,24	—	0,12
170	0,26	0,21	—	0,11
180	0,23	0,19	—	0,10
190	0,21	0,17	—	0,09
200	0,19	0,16	—	0,08

VI

ESFUERZOS COMBINADOS

6.1 ESTADO DEFORMADO COMPUESTO.

El estado deformado compuesto se presenta en aquellos casos en que un elemento de la estructura está sometido, simultáneamente, a varias de las deformaciones simples antes estudiadas.

En el capítulo III se trató de las uniones por remache, en las cuales se produce, simultáneamente, cizallamiento y aplastamiento, por lo que actúan tensiones normales y tangenciales.

En los tornillos ajustados también tiene lugar una deformación compleja, en ellos se manifiesta la acción compuesta de la tracción debido a la fuerza de apriete, y de la torsión, causada por el momento torsor. En virtud de esto, en los tornillos surgen tensiones normales de tracción y tensiones tangenciales de torsión.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (65)$$

$$\tau = \frac{M_T}{W_p} \quad (66)$$

Donde:

A = $\pi d^2/4$ - Área sección transversal del tornillo (mm^2);

$W_p = 0,2d^3$ - Momento polar de Resistencia (mm^3).

Las tensiones normales están distribuidas uniformemente por la sección y las tangenciales alcanzan los valores máximos en el contorno del tornillo. Es evidente que los puntos de la periferia del tornillo son los que se encuentran en estado de mayor

peligro, particularmente a causa de la existencia de concentración de tensiones en la rosca.

Otro ejemplo de deformación compuesta son los árboles sometidos a flexión y torsión. En este caso, en la sección transversal del árbol surgen tensiones normales y tangenciales. Las tensiones de flexión que se producen alcanzan su valor máximo en las fibras más alejadas del eje neutro:

$$\sigma = \frac{M_F}{W} \quad (67)$$

Donde:

$W=0,1d^3$ - Momento axial de resistencia de la sección (mm^3).

Mientras que las tensiones máximas de torsión surgen en los puntos del contorno de la sección transversal:

$$\tau = \frac{M_T}{W_p} \quad (68)$$

Como $W_p = 2W$:

$$\tau = \frac{M_T}{2W} \quad (69)$$

Por tanto, en los puntos del árbol en que la tensión es mayor, cuando actúan simultáneamente la flexión y la torsión, surgen tensiones normales y tangenciales. Se plantea la pregunta: ¿Por cuál de estas tensiones o por cuál de sus combinaciones, se debe determinar la resistencia del árbol?

La respuesta a esta pregunta la dan las llamadas "teorías de resistencia".

6.2 TEORÍAS DE RESISTENCIA.

El ensayo de los materiales permite determinar las tensiones peligrosas o límites para ciertos estados deformados simples.

Producto de la acción de los esfuerzos combinados los elementos pueden destruirse

con diversas magnitudes de las tensiones que actúan y depende de la interacción entre ellas.

Cuando actúan simultáneamente la flexión y la torsión, el árbol puede ceder cuando es grande el momento flector y pequeño el torsional, y viceversa. La destrucción puede producirse siendo pequeño el momento flector, pero grande el torsional.

A cada relación entre las magnitudes del momento flector y el torsional, corresponde una magnitud determinada de las tensiones que ocasionan la rotura del árbol.

Determinar empíricamente las tensiones admisibles de un estado tensional compuesto es, prácticamente imposible. Para este fin hay que emplear las "teorías de resistencia".

La teoría de resistencia nos permite, en el caso de la acción compuesta de tensiones normales (σ) y tangenciales (τ), tener en consideración su influencia recíproca.

Las tensiones normales equivalentes a la acción conjunta de en los materiales plásticos (por ejemplo el acero) se determinan de acuerdo con la 3ra teoría de la resistencia, por la fórmula:

En tornillos:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\frac{F^2}{A^2} + \frac{4M_T^2}{W_p^2}} \leq [\sigma_{admF}] \quad (70)$$

$$\frac{\sigma_{eq}^2}{4\tau^2} = \frac{F^2}{A^2} + \frac{4M_T^2}{W_p^2}$$

En árboles:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{\sqrt{M_F^2 + M_T^2}}{W} \leq [\sigma_{admF}] \quad (71)$$

Las tensiones equivalentes (σ_{eq}) se comparan con las tensiones normales admisibles $[\sigma_{admF}]$, debiendo ser menores o iguales ($\sigma_{eq} \leq [\sigma_{admF}]$)

El cálculo de las dimensiones de un árbol se realiza de acuerdo con el “**Momento Equivalente**”:

$$\mathbf{M_{eq}} = \sqrt{\mathbf{M_t}^2 + \mathbf{M_F}^2} \quad (72)$$

El diámetro del árbol (**d**) de acuerdo con el Momento Equivalente (**M_{eq}**), se determina:

$$\mathbf{d} = \sqrt[3]{\frac{32\mathbf{M_{eq}}}{\pi\sigma_{admF}}} \quad (73)$$

6.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN ÁRBOL.

Vamos a analizar un ejemplo de cálculo de un árbol sometido a flexión y torsión, como ocurre normalmente en cualquier árbol.

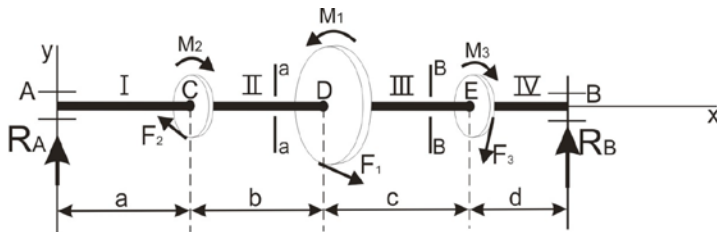


Figura No62 Árbol sometido a flexión y torsión.

Datos:

$a = 300 \text{ mm}$	$d = 300 \text{ mm}$	$F_3 = 1,3 \text{ KN}$	$D_3 = 250 \text{ mm}$
$b = 400 \text{ mm}$	$F_1 = 2 \text{ KN}$	$D_1 = 300 \text{ mm}$	
$c = 500 \text{ mm}$	$F_2 = 1,5 \text{ KN}$	$D_2 = 200 \text{ mm}$	

Sobre el árbol representado van montadas tres ruedas dentadas, que soportan las cargas F_1 , F_2 y F_3 . Las fuerzas F_1 y F_2 están dirigidas horizontalmente y la fuerza F_3 , verticalmente. Los diámetros de las ruedas son D_1 , D_2 y D_3 .

Debemos construir los diagramas de los momentos torsionales (M_T) y de los momentos flectores (M_F) en los planos vertical y horizontal, despreciando la masa de las ruedas y del árbol mismo. Debemos además, determinar el diámetro que debe tener el árbol, de acuerdo a la Tercera Teoría de Resistencia. La tensión admisible según el material escogido es $[\sigma_{admf}] = 50 \text{ Mpa}$.

Solución:

Se calculan los momentos exteriores de las fuerzas F_1 , F_2 y F_3 que tuerquen el árbol:

$$M_1 = F_1 \frac{D_1}{2} = \frac{2000\text{N} \cdot 300\text{mm}}{2} = 300 \cdot 10^3 \text{Nmm} = 300\text{Nm}$$

$$M_2 = F_2 \frac{D_2}{2} = \frac{1500\text{N} \cdot 200\text{mm}}{2} = 150 \cdot 10^3 \text{Nmm} = 150\text{Nm}$$

$$M_3 = F_3 \frac{D_3}{2} = \frac{1200\text{N} \cdot 250\text{mm}}{2} = 150 \cdot 10^3 \text{Nmm} = 150\text{Nm}$$

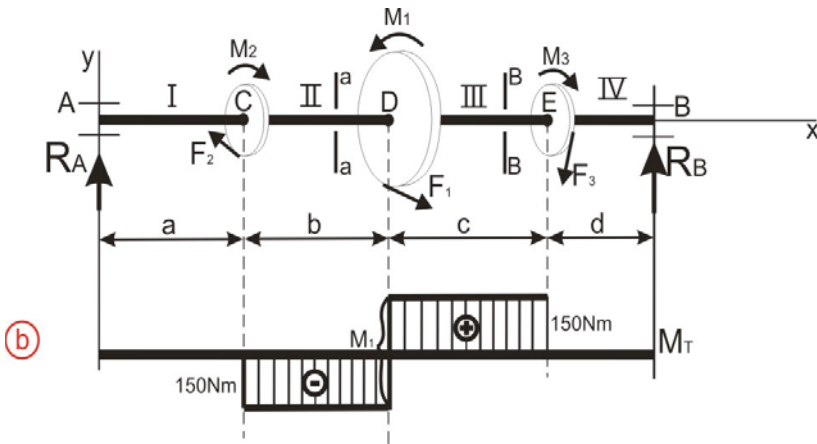


Figura No63 Gráfico momentos torsionales.

En la figura se muestra cómo está cargado el árbol con estos momentos. En el tramo II se hace un corte en la sección **a-a** y esa se considera la parte izquierda del árbol cortado:

$$M_{TII} = -M_2 = -150\text{Nm}$$

El signo menos indica que el momento exterior, aplicado a la parte izquierda y visto desde la sección del corte, gira en sentido contrario al de las agujas del reloj. Por el tramo III se pasa a la sección **B-B** y se considera la parte derecha del árbol cortado:

$$M_{TIII} = M_3 = 150\text{Nm}$$

En las secciones transversales de los tramos **I** y **IV**, los momentos torsionales son nulos (el rozamiento de los cojinetes se desprecia).

Podemos ver cómo queda el diagrama de los momentos torsionales (fig. 63).

La fuerza F_3 produce flexión en el plano vertical. La carga vertical flectora se muestra en el diagrama de la figura No 64. Se determinan las componentes verticales de las reacciones de apoyo en los puntos **A** y **B**:

$$\Sigma M_A = 0; F_3(a+b+c) - R_B(a+b+c+d) = 0$$

$$\Sigma F_y = 0; -F_3 + R_B + R_A = 0$$

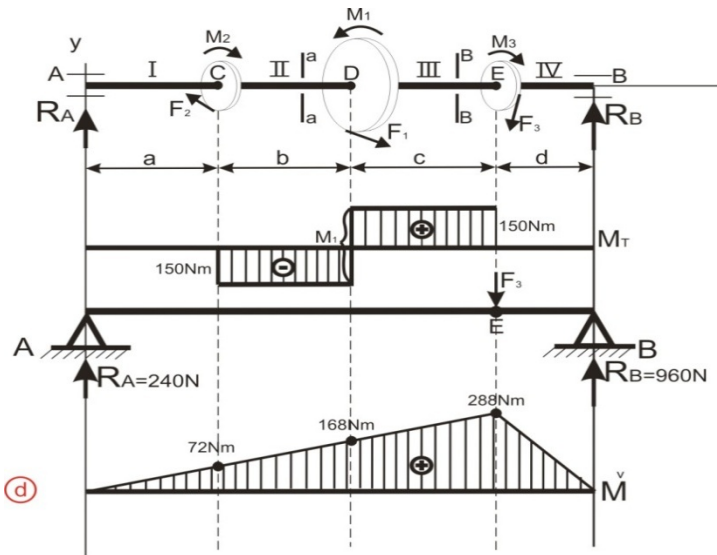


Figura No 64 Gráfico momento flector.

De donde:

$$\mathbf{R_{Bv} = \frac{F_3(a+b+c)}{a+b+c+d} = 960 \text{ N}}$$

$$\mathbf{A = F_3 - R_B = 240 \text{ N}}$$

Se determinan las ordenadas del diagrama de los momentos flectores en el plano vertical:

-En el punto A: $\mathbf{M_A = 0}$

-En el punto C: $\mathbf{M_C = R_A \cdot a = 240 \cdot 0,3 = 72 \text{ Nm}}$

-En el punto D: $\mathbf{M_D = R_A (a+b) = 240 \cdot 0,7 = 168 \text{ Nm}}$

-En el punto E: $\mathbf{M_E = R_B \cdot d = 960 \cdot 0,3 = 288 \text{ Nm}}$

-En el punto B: $\mathbf{M_B = 0}$

El diagrama de los momentos flectores, en el plano vertical, se puede apreciar en la figura No 64.

Pasamos a determinar las componentes horizontales de las reacciones de apoyo provocadas por las fuerzas horizontales F_1 y F_2 (figura No 65):

$$\mathbf{\Sigma M_A = 0; F_2 \cdot a - F_1(a+b) + R_{Bh}(a+b+c+d) = 0}$$

$$\mathbf{\Sigma F_x = 0; -R_A + F_2 - F_1 + R_B = 0}$$

De donde:

$$\mathbf{R_{Bh} = \frac{F_1(a+b) - F_2 \cdot a}{a+b+c+d} = 633 \text{ N}}$$

$$\mathbf{R_A = -F_1 + F_2 + R_B = 133 \text{ N}}$$

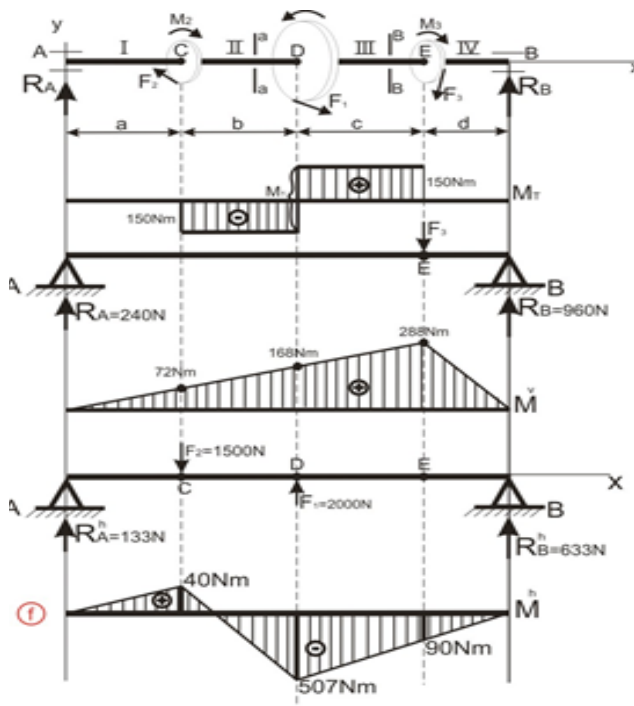


Figura No 65 Componentes horizontales reacciones de apoyo.

Se determinan las ordenadas del diagrama de los momentos en el plano horizontal:

- En el punto A: $M = 0$
- En el punto C: $M_C = R_A \cdot a = 133 \cdot 0,3 = 40 \text{ Nm}$
- En el punto D: $M_D = R_A(a + b) - F_2 \cdot b = -507 \text{ Nm}$
- En el punto E: $M_E = -R_B \cdot d = -633 \cdot 0,3 = -190 \text{ Nm}$
- En el punto B: $M_B = 0$

El diagrama de los momentos en el plano horizontal se muestra en la figura No 66.

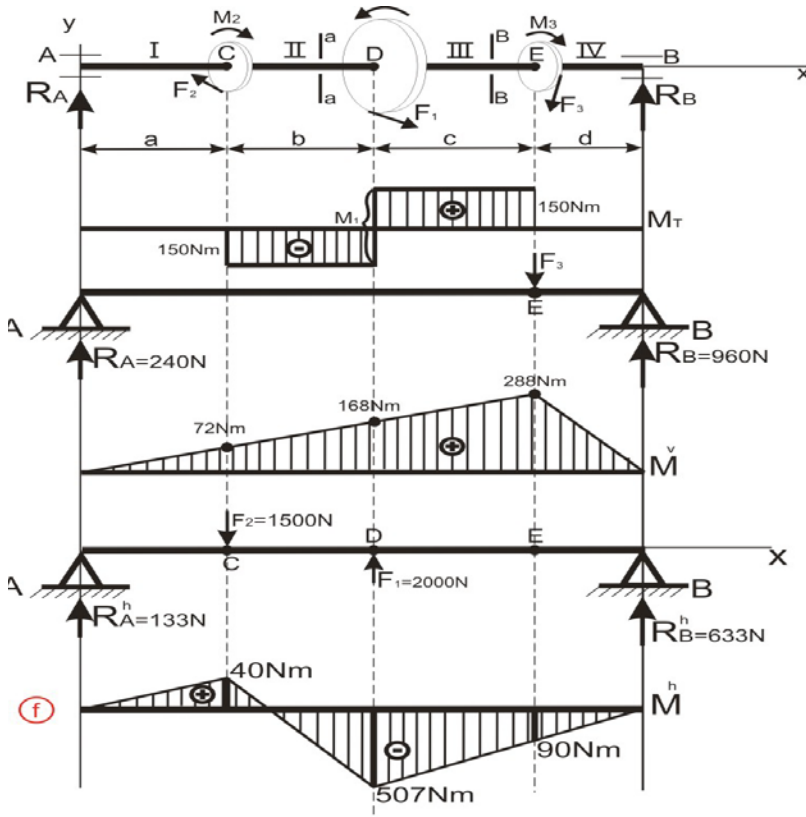


Figura No 66 Diagrama momentos en el plano horizontal.

Como los momentos flectores M^v y M^h surgen en planos perpendiculares entre sí, el momento flector total va a ser igual a su suma geométrica:

$$M_F = \sqrt{(M_F^v)^2 + (M_F^h)^2}$$

Determinamos el momento flector total máximo en el punto D:

$$M_{FD} = \sqrt{(M_F^v)^2 + (M_F^h)^2} = \sqrt{(168)^2 + (507)^2} = 534\text{Nm}$$

En todas las secciones de los tramos **II** y **III** se producen momentos torsionales de valor absoluto **$M_T = 150 \text{ Nm}$** ; estos momentos son negativos a la izquierda de la sección **D** y positivos a su derecha. Es evidente que el punto **D** es el más peligroso.

De la fórmula:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{M_F^2 + M_T^2} / W \leq [\sigma_{adm}]$$

Obtenemos:

$$W \geq \sqrt{M_F^2 + M_T^2} / [\sigma_{adm}] \geq 11,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

σ

Por último se calcula el diámetro del árbol, suponiendo que **$W = 0,1d^3$** :

$$d \geq \sqrt[3]{10 \cdot W} = \sqrt[3]{10 \cdot 11,1 \cdot 10^3} = 48,1 \text{ mm}$$

$$d \geq 48,1 \text{ mm}$$

Seleccionamos un diámetro de 50mm.



7.1 ECODISEÑO.

Las raíces del Ecodiseño parten de épocas remotas, en las que el mobiliario y otros objetos se fabricaban a partir de recursos naturales locales.

Durante el siglo XIX se produjo la emigración gradual de los campos hacia los núcleos urbanos industrializados, proceso asociado a una insipiente degradación medioambiental.

Desde esa época ya hubo movimientos, incluidos los primeros diseñadores, que preocupados por la calidad de muchos productos fabricados masivamente y su nocivo impacto ambiental, consideraran métodos nuevos que redujeran ese impacto, sin afectar el incremento de las producciones.

Se habían iniciado los primeros movimientos de vanguardia en Europa, especialmente en Alemania, hasta arribar a la Bauhaus. Esta corriente sostenía que "la forma de un objeto debía adecuarse a su función, y que las formas simples favorecían la duración, la calidad y el ahorro en los objetos..."¹. "La economía en el uso de materiales y energía fue pareja al funcionalismo y al modernismo"¹

La economía de materiales y de energía sobrevivió a corrientes como el Styling en los propios EEUU y tomó fuerza al concluir la 2da GM, período que se caracterizó por la escasez de materiales y energía, época en que se puso en boga el lema: "menos es más". En Europa muchos diseñadores jóvenes dieron con nuevas formas y materiales reciclados y buscaron sistemas alternativos de diseño, producción y venta.

Los años 70 se caracterizaron por la primera crisis energética, que se reflejó sin piedad sobre el Diseño, acercándolo nuevamente a tendencias de "más con menos". Los autos pequeños y económicos ya eran mayoría en Europa y Asia, aunque EEUU seguía tratando de imponer su majestuosidad y derroche. Es precisamente desde estos años, que en el análisis del ciclo vital de los productos se tiene en cuenta no solo la energía y los materiales, sino también el impacto ambiental asociado a cada objeto.

En los años 80, muchos diseñadores y fabricantes, concibieron algunos productos "respetuosos con el medio ambiente", pero el público ya de por sí escéptico, se desilusionó más, al comprobar que lo que decían las etiquetas a veces era infundado, y el Diseño Verde acabó sepultado bajo una avalancha de productos guiados por el interés de mercado y poco respetuosos con el medio ambiente. Era el inicio de la "Economía Global" y el Neoliberalismo.

Los últimos años han sido testigo de leyes medioambientales internacionales y nacionales más estrictas, que han posibilitado en cierto grado, retomar el camino abandonado en los años 80. Surge el concepto de "Desarrollo Sostenible". Desde inicios de los años 90, y sobre las cenizas del Movimiento Posmoderno, surgen diseñadores comprometidos con el impacto ambiental de sus productos, unos conscientemente y otros, ya presionados por las nuevas legislaciones.

El Diseño cuenta hoy con softwares que permiten medir el impacto ambiental de los productos y los servicios, y garantizan trazar las pautas para cerrar el ciclo. Se habla hoy de que los diseñadores "asuman no solo el impacto ambiental de sus diseños a lo largo del tiempo, sino también el impacto social y ético de los mismos"¹.

Las bases principales del Ecodiseño son:

- Satisfacer las necesidades reales del hombre.
- Minimizar la huella ecológica del producto, material o servicio.
- Aprovechar la energía solar, eólica, hidráulica y de los mares.
- Garantizar el reciclaje o la biodegradabilidad de los productos.
- Excluir el uso de sustancias tóxicas o peligrosas.
- Crear el máximo de beneficios para los consumidores.
- Usar materiales y recursos disponibles localmente.
- Convertir productos en servicios.
- Fomentar las estructuras modulares.

El Diseño en nuestra época es una gran realidad en todas las esferas del quehacer humano y reconocido por todos los profesionales e instituciones jurídicas del mundo, su corriente principal deberá ser el Ecodiseño, que se nutre de lo mejor de las corrientes de los siglos XIX y XX, adaptándose a las necesidades y posibilidades materiales, energéticas y ambientales del hombre.

El papel de los diseñadores de hoy es vital para dar forma al futuro y salvar al planeta.

Una vez que los mercados hayan sido invadidos por un diseño novedoso y respetuoso del medio ambiente, sus efectos se multiplicarán. Las empresas gastarán menos en materias sin refinar y en producción, de modo que obtendrán mayores beneficios. Por su parte, la población disfrutará de productos más eficaces y económicos, con lo que se mejorará la calidad de vida de todos los hombres y el medio ambiente.

“En el siglo XXI todo diseñador consciente diseñará, con integridad y sensibilidad, productos, materiales o servicios que satisfagan las necesidades humanas, sin acabar con los recursos naturales, sin causar daños a los ecosistemas y sin restringir las opciones disponibles a las generaciones futuras”¹.

7.2 MATERIALES CON PROPIEDADES MECÁNICAS AVANZADAS.

En este capítulo concentraremos nuestra atención en los materiales sintéticos con prestaciones mecánicas avanzadas; en específico los materiales metálicos, plásticos y cerámicos.

7.2.1 CERÁMICAS.

Los materiales cerámicos son compuestos químicos con una combinación de elementos metálicos y no metálicos, conectados entre sí por enlaces iónicos o covalentes. Estos materiales adquieren sus propiedades después de un tratamiento térmico a elevadas temperaturas.

Las cerámicas se clasifican en:

- * **Cerámicas tradicionales** (porcelanas, ladrillos, baldosas, vidrios y refractarios).
- * **Cerámicas avanzadas** (descubiertos en los últimos 60 años: materiales eléctricos, magnéticos y ópticos).

Los materiales cerámicos son duros, tienen alto punto de fusión, son malos conductores térmicos y eléctricos, tienen buena estabilidad química y térmica, y resisten bien la compresión, pero son muy frágiles.

En 1975 se descubre un mecanismo de reforzamiento de matrices cerámicas (partículas de dióxido de Circonio), que modifican sustancialmente la fragilidad de los materiales cerámicos y otras de sus propiedades. El salto de los valores de

resistencia mecánica fue espectacular, de 500 MPa en 1970 a 2500 MPa en el año 1990 y ha seguido creciendo. Estos valores de resistencia mecánica compiten con los mejores aceros.

Los materiales cerámicos basados en Nitruro de Silicio, con elevados módulos elásticos y elevada dureza, buen aislante eléctrico y alta conductividad térmica, se emplean en estructuras a elevadas temperaturas, en cojinetes, herramientas de corte, así como en circuitos integrados, en los que disipa rápidamente el calor, evitando la fractura de la base de estos.

Los materiales cerámicos con gradiente de composición son en los que determinada propiedad varía a lo largo del volumen, por ejemplo: la dureza, conductividad térmica, constante dieléctrica. Por un extremo pueden poseer una elevada conductividad eléctrica y térmica, mientras que por el extremo opuesto, pueden ser aislantes perfectos, encontrando aplicación como interconectores en lámparas halógenas de alta intensidad, sirviendo al unísono de electrodo y de componente de sellado de la lámpara (Fig. 67).



Figura No 67 Lámpara con gradiente de composición.

Estas lámparas poseen una alta estabilidad lumínica, no explotan, y tienen una vida media de 4000 horas y más, diez veces mayor que las convencionales.

Los materiales cerámicos sobre la base de Alúmina son utilizados por su alta resistencia térmica, mecánica y por su carácter aislante, en circuitos integrados, implantes ortopédicos y empastes, bujías, tubos para hornos y otros usos. Con Cromo es un láser frecuentemente utilizado.

Si el tamaño de la microestructura de los materiales cerámicos de Circonio se reduce hasta el nivel de los nanómetros y se elimina por completo la porosidad residual, aumenta su resistencia mecánica y su dureza, a la vez que se hace transparente, por lo que se pueden emplear en ventanas ópticas para medios aeroespaciales, donde una elevada transparencia ha de conjugarse con una alta resistencia mecánica y dureza.

El diamante es el material más duro que se conoce, sin embargo no puede utilizarse para la elaboración mecánica del Acero y del Silicio, ya que reacciona con ellos, degradándose. Estos materiales cerámicos nanoestructurados alcanzan valores de resistencia mecánica mayores a 30 GPa, son químicamente estables frente al Hierro y al Silicio y constituyen en la actualidad la mejor apuesta para el mecanizado a alta velocidad de aceros duros.

7.2.2 PLÁSTICOS.

La historia contemporánea de los plásticos se comienza a contar desde 1860, fecha imprecisa, algunos plantean 1868. En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este se considera el primer plástico sintético de la historia, se nombró bakelita en honor a su creador.

POLÍMEROS: Poli (muchas)- meros (partes, unidades, monómeros).

Esas muchas partes, que se llaman monómeros, se encuentran conectadas entre sí por enlaces covalentes, formando una sola molécula gigante (polímero). A este proceso se le denomina polimerización.



Figura No 68 Traje a base de polímeros

Como los polímeros están constituidos por muchas unidades repetitivas, se les denominan: poli (etileno); poli (estireno); poli (carbonatos).

El desarrollo de la Química Orgánica ha permitido polímeros con diferentes estructuras y propiedades.

TIPOS DE POLÍMEROS:

***Homopolímeros:** Polímeros lineales constituidos por un solo tipo de monómero. Son los de estructura más sencilla y los más utilizados. Se procesan a partir de fundido por su carácter plástico (polietileno, PVC, polipropileno).

***Copolímeros:** Derivados de dos o más tipos de monómeros. Los monómeros pueden distribuirse de diferentes formas y adoptar variadas estructuras, llegando a entrelazarse estructuras cristalinas con elásticas (lycra). El proceso de copolimerización permite fabricar polímeros a la medida (Fig. 68). Ejemplos de copolímeros:

***SAN: Estireno-** acrilonitrilo (estireno al 65-80 %). Tienen buena amortiguación y resistencia térmica se emplean en máquinas lavaplatos, elementos de radio y TV, en la industria alimenticia y como excelente barrera contra el Oxígeno, el CO₂ y la humedad.

***ABS:** Acrilonitrilo-butadieno-estireno. Surgió por la necesidad de mejorar las propiedades del poliestireno para artículos moldeados y extruidos.

***Hules sintéticos:** Estireno-butadieno. Contienen 25 % de Estireno y 75 % de Butadieno, se emplean en neumáticos, espumas, envases, suelas, aislamiento de alambres y cables eléctricos, mangueras. Con un 60 % de Butadieno se emplean en pinturas y recubrimientos ahulados.

Los polímeros entrecruzables son los que se crean producto de la reacción entre diferentes cadenas que dan lugar a una sola molécula gigante. Como las moléculas están unidas por enlaces covalentes, la molécula gigante es insoluble e infusible, por lo que no pueden ser procesados ni reciclados. Este entrecruzamiento confiere a estos materiales propiedades mecánicas y de resistencia química y térmica únicas. Como ejemplos de estos materiales están las baquelitas y las resinas epoxídicas con extraordinarias propiedades adhesivas. La interacción entre las grandes cadenas polímeras es superior a las del acero, en proporción a su masa.

Ejemplos de polímeros entrecruzables son:

- * **Las Fibras de alto módulo.**
- * **Las Membranas.**

Dentro de los materiales que requieren del apoyo de los polímeros entrecruzables está el Kevlar, con un módulo mecánico de 150 GPa y una densidad de $1,45 \text{ g/cm}^3$ (Acero- 200 GPa y $7,8 \text{ g/cm}^3$) y las Fibras de Carbono (400 GPa y $1,9 \text{ g/cm}^3$) que se obtienen a través del estiramiento de sus cadenas, pero tienen un inconveniente, que son sus propiedades mecánicas en la dirección perpendicular, lo que se resuelve con la introducción de materiales compuestos, en especial los constituidos por fibras de alto módulo, que se aplican en forma de tejidos, con diferentes orientaciones de la fibra, y un sistema entrecruzable (generalmente una resina epóxida) que impregna las fibras, las mantiene unidas y da tenacidad al conjunto. El Kevlar, en combinación con el Nomex, tiene un amplio uso en chalecos y cascos antibalas, cables ópticos, cordones para escalar, neumáticos, partes para aviones, canoas, raquetas de tenis y otros.

Se comercializan dos tipos de Kevlar, el Kevlar 49, de baja densidad, alta resistencia y módulo elástico, que se utiliza para aplicaciones aeroespaciales, marina, transporte terrestre y otras aplicaciones industriales; y el Kevlar 29, de baja densidad y alta resistencia, se utiliza principalmente para aplicaciones balísticas, cables y cuerdas.



Figura No 69 Chaleco de protección antibalas

Sometido a presión hidrostática Kevlar es 20 veces más fuerte que el acero. Este chaleco de protección antibalas y anti-impactos está fabricado con una combinación de Kevlar y Nomex, donde el Nomex proporciona una resistencia adicional ante el fuego, las explosiones y la abrasión (Fig. 69).

Los materiales compuestos introdujeron una revolución en las industrias aeronáutica y aeroespacial. Hoy un avión comercial tiene un 30 % de su peso en materiales compuestos, con el correspondiente ahorro de peso ($1,9 \text{ g/cm}^3$ Vs $2,7 \text{ g/cm}^3$ el Aluminio).

Las membranas por su parte, se emplean como capas desaladoras de agua en plantas potabilizadoras; para la separación de gases industriales (oxígeno, nitrógeno, amoníaco, cloro, etileno y propileno). Por este método ya se obtiene Nitrógeno con 95 % de pureza a partir del aire y se separa el CO₂ del gas natural.



Figura No 70 Cubierta de policarbonato

Los policarbonatos son polímeros muy ligeros, con buen aislamiento térmico, gran solidez, alta resistencia y gran flexibilidad; lo que unido a su resistencia a agentes químicos, transparencia y estética, lo sitúan en un lugar privilegiado como cubiertas translúcidas (Fig. 70).



Figura No 71 Cama de poliuretano.

El Poliuretano es otro miembro de la familia de los polímeros con amplio uso en muebles, mangueras, impermeabilización de cubiertas, pistas de atletismo, pinturas y otros renglones (Fig. 71).

Las pinturas de Poliuretano son flexibles, elásticas, de alta resistencia a la abrasión, excelente resistencia química y a los rayos UV, resistencia a los cambios bruscos de temperatura y alto brillo (Fig. 72).



Figura No 72 Pintura de poliuretano



Figura No 73 Bloques de poliestireno

El poliestireno (PS) expandido (EPS), extruido (XPS) y espumado son ampliamente empleados en la construcción, envases y otros usos, caracterizándose por su ligereza, resistencia mecánica y protección contra la humedad y los agentes químicos (Fig. 73).

El ETFE es un plástico de gran resistencia al calor, a la corrosión y a los rayos UV. Es transparente y de extraordinaria durabilidad: posee una elevada resistencia química y mecánica (al corte y a la abrasión), así como una gran estabilidad ante cambios de temperatura (soporta hasta 170°C). Es además combustible pero no inflamable. No cambia de color por la acción de los rayos solares. Esta característica lo convierte en una alternativa al vidrio en las edificaciones.

El ETFE pesa 100 veces menos que el vidrio, deja pasar más luz, y en configuración de doble lámina o "almohada" es más aislante. Además es fácil de limpiar y reciclable.

Los edificios con ETFE más emblemáticos son:

- El "Cubo de Agua", de los Juegos Olímpicos de Pekín (Fig. 74).
- El estadio "Allianz Arena" de Múnich.



Figura No 74 Estadio "Cubo de Agua"

El gran problema de los polímeros es su elaboración a partir del Petróleo, con reservas limitadas en nuestro planeta. Por este motivo, después de largas investigaciones, ya se ha logrado producir Etileno y Propileno sin Petróleo. El proceso utiliza un catalizador de hierro hecho con nanopartículas, capaz de convertir en plástico materia orgánica vegetal como árboles o hierba, surgiendo así la familia de los bioplásticos.

Latigea es una familia de compuestos en biorresina, que incluye el PLA (polímero obtenido del maíz), como matriz para un amplio abanico de termoplásticos de inyección. Esta familia cuenta con compuestos reforzados con fibras naturales o sintéticas (Fig. 75). En Cuba contamos con impresoras 3D que emplean el PLA.



Figura No 75 Envases de biorresina

La producción es relativamente limitada y el precio aún no es competitivo. Pero esto puede cambiar rápidamente, ya que sus características de dureza y resistencia al calor se acercan cada vez más a las del polietileno.

En 2005 se comenzaron a introducir bioplásticos en la fabricación de algunos ordenadores portátiles y se presentaron varios modelos de discos DVD elaborados a partir de bioplásticos.

No obstante, para los plásticos derivados del petróleo existe ya una tecnología oxobiodegradable, para que las cadenas de polímeros se desintegren y aceleren la biodegradación a tan solo 3 o 5 años, en lugar de más de cien que le toma al plástico convencional.

7.2.3 METALES.

Hace más de 9000 años que se emplean los materiales metálicos y han marcado etapas en la historia de la humanidad:

-Edad del Cobre----- 7000 ANE.

-Edad del Bronce----- 2800 ANE.

-Edad del Hierro----- 1500 ANE.

El descubrimiento de que la fusión y mezcla de los metales cambiaba significativamente las propiedades de estos, constituyó un hito en la historia y un gran salto en el desarrollo de la humanidad.

La Revolución Industrial y el posterior desarrollo acelerado no hubiesen sido posibles sin el concurso de los materiales metálicos.

Los primeros metales en descubrirse como el Cobre, el Estaño, la Plata, el Oro y el Hierro, siguen siendo referente obligado en los avances científicos y tecnológicos de nuestros días.

Estos materiales no envejecen gracias a la investigación incesante de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

No debemos olvidar que la mayoría de los elementos químicos conocidos son metales.

La investigación de los metales va dirigida a conseguir materiales viables económicamente, con elevadas propiedades mecánicas, con elevada resistencia a la corrosión y fácil procesamiento y aleación.

El acero, fabricado desde 1855, ha sido uno de los materiales metálicos más estudiados, gracias a ello es hoy un material de bajo costo comparado con otros materiales estructurales, de gran disponibilidad y gran variedad (> 2000 tipos).

Ejemplo de la actualidad en el empleo del acero es la construcción de la torre Taipéi (509 m y 101 plantas) que fue edificada sobre 8 pilares de acero y a partir de la planta 62 está conformada de 5 tipos de aceros, con alta resistencia y capacidad de adquirir pequeñas deformaciones por terremotos (Fig. 76).



Figura No 76 Torre Taipéi.

En la década de los 80 del pasado siglo, hubo una revolución en los aceros. Los aceros HSLA redujeron el peso de las carrocerías y estructuras en un 35 %, con características mecánicas muy superiores (límite elástico de 300 MPa a 550 MPa), mejorándose sustancialmente la resistencia al impacto y la torsión. Se redujo el Carbono a 0,15% y se introdujeron aleantes como el Titanio y otros.

En los últimos 20 años se han logrado aceros de más alta resistencia, con cargas de rotura de 15000 MPa (se puede colgar un peso de 1500 Kgf en un hilo de acero de 1mm² sin que se rompa), dentro de los que podemos mencionar las siguientes familias:

- **Fase dual:** Compuesto principalmente por Ferrita, que proporciona ductibilidad; Martensita, que le confiere alta resistencia.
- **TRIP:** Estructura con Ferrita, Bainita y Austenita, que proporciona una excelente ductibilidad, permitiendo conformar piezas de difícil geometría y un endurecimiento por transformación martensítica durante el proceso de deformación. Esto se traduce en que un impacto sobre el material, lejos de romperlo o deformarlo, lo endurece, repercutiendo de manera directa sobre la seguridad del vehículo o la estructura.
- **TWIP:** Con ultra alto contenido de Manganeso (hasta 25%) conjugan muy alta resistencia, con extrema ductibilidad. La mezcla de Martensita, Bainita y/o Austenita retenida permiten el deseado efecto de endurecimiento por transformación.

- **Superbaníticos:** Libres de carburos, fundamentan sus excelentes propiedades de resistencia (2,26 GPa) y tenacidad (capacidad de absorber energía sin romperse) en la formación de micro estructuras nanoestructuradas.

En poco más de 150 años el aluminio (y sus aleaciones) ha pasado de ser desconocido (en 1900 - 8 toneladas) a rodearnos en nuestra vida cotidiana (en 2012 - 44 millones de toneladas), pudiéndose considerar el gran competidor con el acero.

Su densidad ($2,7 \text{ g/cm}^3$) x ($7,8 \text{ g/cm}^3$ el Acero), su resistencia a la corrosión y sus elevadas propiedades mecánicas, hacen que su aplicación en el transporte, sobre todo aeroespacial, sea prioritaria.

Al igual que los aceros, la familia de las aleaciones de Aluminio es grande, y sus propiedades dependerán de las combinaciones con otros metales, los que les confieren un uso específico.



En un AIRBUS 380 (Fig. 77):

- 61 % aleaciones de aluminio
- 7 % Glare (aleación Al + vidrio).

Figura No 77 Airbus 380

La tercera generación de aleaciones AL-Litio, con nuevas propiedades como la facilidad de soldarse, abre grandes posibilidades en el empleo en la técnica militar y en la aeronáutica, aunque esta última industria es muy cautelosa en la introducción de nuevas tecnologías, lo que prolonga los plazos de asimilación.

Las Superaleaciones juegan un importante papel en el desarrollo tecnológico actual, las de base de níquel representan el 35% de toda su producción. De uso en la industria aeroespacial y en la generación de energía eléctrica, poseen características mecánicas excepcionales a altas temperaturas. Un aspa de turbina puede estar

trabajando durante 35000 horas a 1200°C sin sufrir daños mecánicos, ni de corrosión.

Junto a las de níquel, las aleaciones de Titanio ocupan otro puesto destacado como material avanzado en aplicaciones biomédicas, electrónicas, en la industria química o en usos marinos, por su combinación de resistencia mecánica a temperaturas elevadas, resistencia a la corrosión y al desgaste.

La industria aeroespacial ha desarrollado diferentes aleaciones de Titanio-Aluminio-Vanadio con adiciones de Cromo, Circonio y/o Molibdeno, que con el debido tratamiento térmico presentan mejor resistencia a la fatiga y ductibilidad, que aceros con una sección mayor.

Variaciones en su composición han permitido su empleo en la industria energética, en aplicaciones geotérmicas; algunas son capaces de trabajar en salmuera sin que se produzca ataque por corrosión.

Igualmente, la excelente biocompatibilidad de las aleaciones de titanio, hace que su uso se extienda a prótesis osteoarticulares.

Los Intermetálicos (aleaciones binarias Titanio-Aluminio, Níquel-Titanio, Hierro-Aluminio, Níquel-Aluminio). Su éxito radica en una elevada resistencia mecánica a temperaturas de hasta 600°C, gran resistencia a la corrosión y baja densidad, que permite su empleo en motores aeroespaciales y turbinas. Poseen una cualidad excepcional que es la memoria de forma, que consiste en recuperar la forma inicial mediante la aplicación de temperatura o corriente eléctrica, lo que hace posible su empleo en múltiples aplicaciones, desde la maquinaria hasta los "stents coronarios".

En el terreno de los nuevos materiales metálicos pudiéramos hablar de los aceros inoxidables, las aleaciones de cobre y zinc, de nuevos materiales conseguidos en condiciones de no equilibrio (solidificación rápida), la metalurgia de polvos, las nuevas técnicas de modificación superficial y otras tantas aleaciones, pero harían interminable este material.

Para avanzar, el mundo necesita forzosamente desarrollar tecnologías sostenibles. Estas tecnologías requieren, entre otras cosas, nuevos materiales, hoy inexistentes o poco conocidos, con nuevas propiedades específicas, cada vez más sofisticadas.



Sistema Internacional de Unidades.

El Sistema Internacional de Unidades, también denominado Sistema Internacional de Medidas, es el nombre que recibe el sistema de unidades que se usa en casi todos los países, a excepción de Estados Unidos, Liberia y Birmania.

Su antecesor es el Sistema Métrico Decimal, por lo que también se lo conoce como "sistema métrico". Se instauró en 1960, a partir de la Conferencia General de Pesos y Medidas, durante la cual inicialmente se reconocieron seis unidades físicas básicas. En 1971 se añadió la séptima unidad básica: el mol.

Una de las características trascendentales, que constituye la gran ventaja del Sistema Internacional, es que sus unidades se basan en fenómenos físicos fundamentales cuya excepción única es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo. Entre los años 2006 y 2009 el SI se unificó con la norma ISO 31 para instaurar el Sistema Internacional de Magnitudes (ISO/IEC 80000, con las siglas ISQ).

Unidades Básicas

El Sistema Internacional de Unidades consta de siete unidades básicas. Son las que se utilizan para expresar las magnitudes físicas básicas a partir de las cuales se determinan las demás. De las unidades básicas existen múltiplos y submúltiplos, que se expresan mediante prefijos. Por ejemplo: la expresión «kilo» indica mil, por lo tanto, 1 km equivale a 1000 m. Del mismo modo «mili» significa milésima, entonces, 1 mA es 0,001 A.

Magnitud física básica	Símbolo dimensiona	Unidad básica	Símbolo de la unidad
Longitud	L	Metro	m
Tiempo	T	Segundo	s
Masa	M	Kilogramo	kg
Intensidad de corriente eléctrica	I	Amperio	A
Temperatura	T	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	N	Mol	mol
Intensidad lumínica	J	Candela	cd

Unidades derivadas

Se les denomina así a las unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas que son resultado de combinar magnitudes físicas básicas. Si no son las siete expresadas anteriormente, entonces son unidades derivadas. Ejemplo de estas son la unidad de volumen o metro cúbico, la unidad de densidad o cantidad de masa por unidad de volumen, etc. A continuación se ofrece una tabla con algunas de estas unidades derivadas más importantes con nombres especiales.

Nombre especial	Símbolo dimensional	Unidad derivada	Unidad de medida
Newton	N	Fuerza	$\text{Kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Pascal	Pa	Presión	N/m^2 ($\text{Kg}/\text{s}^2\cdot\text{m}$)
Joule	J	Energía	$\text{N}\cdot\text{m}$
Voltio	V	Potencial eléctrico	J/C ($\text{m}^2\text{Kg}/\text{s}^3\cdot\text{A}$)
Faradio	F	Capacidad eléctrica	$\text{A}\cdot\text{s}/\text{V}$ ($\text{s}^4\text{A}^2/\text{m}^2\cdot\text{Kg}$)
Tesla	T	Densidad de flujo magnético	W_b/m^2 ($\text{Kg}/\text{s}^2\cdot\text{A}$)
Hertz o Hercio	Hz	Frecuencia	$1/\text{s}$

UNIDADES DE MEDIDAS DE MAGNITUDES MECÁNICAS EN EL SI.

MAGNITUD	UNIDAD DE MEDIDA	RELACIÓN DE UNIDADES
Masa (m)	Kilogramo (Kg)	$1\text{Kg} \approx 0,1\text{Kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
Fuerza (Peso) (N,F,P)	Newton (N)	$1\text{N} \approx 0,1\text{Kgf}$
Tensión(σ) Módulo de Elasticidad (E)	Pascal (Pa)	$1\text{Pa} \approx 1\text{N}/\text{m}^2 \approx 0,1\text{Kgf}/\text{m}^2$ $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} \approx 1\text{N}/\text{mm}^2$ $1\text{MPa} \approx 10\text{Kgf}/\text{cm}^2$
Momento de una fuerza (M)	Newton por metro (N·m)	$1\text{Nm} \approx 0,1\text{Kgf} \cdot \text{m} \approx 10\text{Kgf} \cdot \text{cm}$
Trabajo (W) Energía (E)	Joule (J) (Newton por metro)	$1\text{J} \approx 0,1\text{Kgf} \cdot \text{m} \approx 1\text{N} \cdot \text{m}$
Potencia (P)	Watt (W) (Joule por segundo)	$1\text{W} \approx 0,1\text{Kgf} \cdot \text{m}/\text{s} \approx 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{s}$ $1\text{W} \approx 1\text{J}/\text{s}$ $1\text{CV} = 736\text{W} = 0,736\text{Kw}$

UNIDADES MÚLTIPLOS

NOMBRE	TERA	GIGA	MEGA	KILO	HECTO	DECA
SÍMBOLOS	T	G	M	K	h	da
MÚLTIPLOS	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10

UNIDADES FRACCIONARIAS

NOMBRE	Deci	Centi	Mili	Micro	Nano	Pico
SÍMBOLOS	d	c	m	μ	n	p
SUBMÚLTIPLOS	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

Tensión admisible al cizallamiento, Módulos de Elasticidad y Coeficiente de Poisson.

Material	τ_{adm} (MPa)	E (MPa)	μ
Acero	60-120	200000	0,27-0,30
Hierro	60-80	170000	0,23-0,27
Fundición gris	20	175000	0,22
Cobre	30-50	110000	0,34
Bronce	50-60	120000	0,31
Madera blanda	1,0-3,5	10000	0,07
Madera dura	8,0-12	12000	0,07
Hormigón armado	3,5-6,0	15000	0,25
Aluminio	60-90	70000	0,33
Duraluminio	40-50	100000	0,32-0,36
Latón	60-120	110000	0,34
Magnesio		45000	0,35
Níquel		207000	0,30
Titanio		107000	0,34
Tungsteno		470000	0,28
Cinc laminado	60-80	82000	0,34
Polímero PE-PP		2000-4000	
Nylon 6,6		3000	
Vitrocerámica		120000	0,24
Cerámicas		390000	
Vidrio comercial	145-500	65000	0,20
Hormigón ©	3,0	27000	0,20
Goma		7,0	0,50
Grafeno		1000000	
Textolita	20-40	13000	0,20

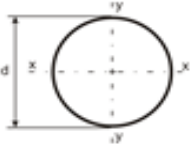
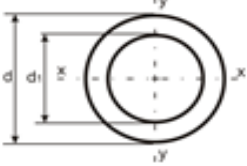
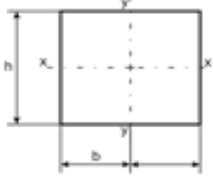
Anexo 5

Tensión admisible en uniones soldadas (σ_{adm}) (MPa).

Tipos de soldaduras	Tensión admisible a tracción en la costura ($\sigma_{adm s}$)	Tensión admisible a compresión en la costura ($\sigma_{adm s}$)	Tensión admisible al corte en la costura ($\tau_{adm s}$)
Soldadura automática	0,9($\sigma_{adm.t}$)	1,0($\sigma_{adm.c}$)	0,65($\tau_{adm.co}$)
Soldadura a mano	0,6($\sigma_{adm.t}$)	0,75($\sigma_{adm.c}$)	0,5($\tau_{adm.co}$)

Anexo 6

Momento axial de inercia y momento axial de Resistencia.

Forma de la sección transversal	I_x	I_y	W_x	W_y
	$0,05 \cdot d^4$	$0,05 \cdot d^4$	$0,1 \cdot d^3$	$0,1 \cdot d^3$
	$\frac{\pi}{64} (d^4 - d_i^4)$	$\frac{\pi}{64} (d^4 - d_i^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$	$\frac{\pi}{32} \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{b^3 h}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{b^2 h}{6}$

DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN

Anexo 7

Valores del Módulo Elástico, de cizalladura

Materiales	G(GPa)
Aluminio	25
Titanio	44
Tungsteno	160
Magnesio	17
Cobre al berilio	48.9
Acero Inoxidable	73.1
Hierro Colado (gris)	41.4
Bronce Fosforado	41.4
Plomo	13.1
Vidrio	18.6
Inconel	75.8

Alfabeto griego.

Letra	Nombre			Sonido <u>AFI</u>		Valor numérico	Alfabeto fenicio
	Adaptado	Gr. Clásico	Gr. Moderno	<u>Ant.</u> ^{1 2}	<u>Mod.</u>		
A α	alfa	alpha	alfa	[a] [a:]	[a]	1	'alp (□) /ʔ/
B β	beta	bēta	beta	[b]	[v]	2	bet (□) /b/
Γ γ	gamma	gamma	gama	[g]	[ɣ] [j]	3	gaml (□) /g/
Δ δ	delta	delta	delta	[d]	[ð]	4	delt (□) /d/
E ε	épsilon	épsilon	épsilon	[e]	[e]	5	he (□) /h/
Z ζ	dseta	dzēta	zeta	[zd] o [dz] o [z]	[z]	7	zai (□) /z/
H η	eta	ēta	eta	[ɛ:]	[i]	8	het (□) /h/
Θ θ	theta	thēta	theta	[tʰ]	[θ]	9	tet (□) /t/
I ι	iota	iota	iota	[i] [i:]	[i]	10	yod (□) /j/
K κ	kappa	kappa	kappa	[k]	[k] [c]	20	kap (□) /k/
Λ λ	lambda	lambda	lambda	[l]	[l]	30	lamd (□) /l/
M μ	mi	my	mi	[m]	[m]	40	mem (□) /m/
N ν	ni	ny	ni	[n]	[n]	50	nun (□) /n/
Ξ ξ	xi	xi	xi	[ks]	[ks]	60	senk (□) /s/
O ο	ómicron	ómicron	ómicron	[o]	[o]	70	'ain (□) /ʕ/

Π π	pi	pi	pi	[p]	[p]	80	pe (□) /p/
Ρ ρ	rho	rho	rho	[r] [r]; [r ^h], [r ^h]	[r] [r]	100	roš (□) /r/
Σ σ ς	sigma	sigma	sigma	[s]	[s]	200	šin (□) /ʃ/
Τ τ	tau	tau	tau	[t]	[t]	300	tau (□) /t/
Υ υ	ípsilon	ýpsilon	ípsilon	[u] [u:] > [y] [y:]	[i]	400	wau (□), /w/
Φ φ	fi	phi	fi	[p ^h]	[f]	500	incierto
Χ χ	ji	chi	ji	[k ^h]	[x] [ç]	600	incierto
Ψ ψ	psi	psi	psi	[ps]	[ps]	700	incierto
Ω ω	omega	ōmega	omega	[ɔ:]	[o]	800	'ain (