1

01

Resistencia

Mecánica aplicada a las construcciones

Su objeto es dar a la construcción proyectada la forma y dimensión conveniente para que pueda realizarse y resistir a la acción de las fuerzas

Hay dos clases de fuerzas: Sistema exterior
" interior

Las exteriores son: el peso de los materiales, las cargas que han de sostener y las acciones externas: viento, nieve
Las reacciones de los apoyos también lo son
Son interiores: los cuerpos se consideran como invariables en Mecánica, o sea que las distancias entre sus puntos no varían; esto es en teoría, pero en los cuerpos naturales no, porque son deformables. Los sólidos sujetos a extensión y a compresión
Ofrecen una resistencia a la deformación, que resulta de la oposición de las moléculas a deformarse; estas fuerzas son interiores o elásticas

Si las fuerzas exteriores son muy grandes, hay rotura
Debe llegar un momento en que haya equilibrio entre las fuerzas interiores y exteriores; las deformaciones que produzcan las fuerzas exteriores no han de llegar a cierto límite
Este es el equilibrio elástico.
Si cuando hay equilibrio se supone que el sistema invariable (indeformable) seguirá el equilibrio.
Si no hubiera equilibrio, las fuerzas exteriores darían una Resultante o un par, y no sería estable. Luego debe realizarse el equilibrio de las fuerzas exteriores
Luego hay 2 problemas: 1) Resistencia de materiales (equilibrio elástico)
2) Equilibrio estático; considerando el sistema invariable. Es de Mecánica racional (Estabilidad de construcciones)
Se ha estudiado el equilibrio estricto, que variando una fuerza no hay equilibrio. Esto no conviene para la práctica; debe haber un coeficiente de seguridad
Hay que tener en cuenta la época de duración; no es lo mismo si ha de durar siglos o meses.
Hay que saber la resistencia de cada material. En los elásticos

No hay que guiarse por la rotura, sino por el período elástico. Un hierro se rompe a tracción a 50 kg por mm²
hay que considerarse en 10 kg.

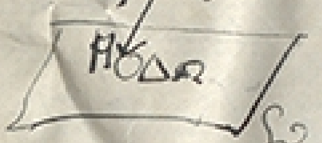
Hay que hallar para cada punto el total de fuerzas que sobre él actúan.

Las fuerzas interiores se deducen de las exteriores

Las cargas son de dos clases: Repartidas y aisladas

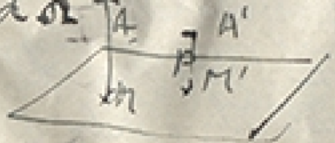
Repartidas: se reparten de una manera continua

Hay que conocer en cada punto la fuerza por unidad de superficie. Sobre $\Delta\Omega$ se considerarán fuerzas paralelas



que tendrán una R. ΔP, $\frac{\Delta P}{\Delta \Omega}$ = la carga por unidad de superficie. Lo que gravita en un punto M será: $\lim \frac{\Delta P}{\Delta \Omega} =$

$$\frac{dP}{d\Omega} = \rho$$



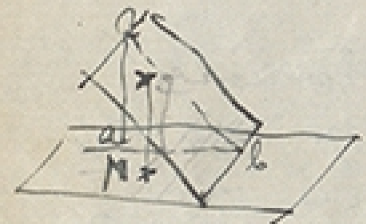
En cada punto será la carga distinta en general: Los puntos extremos de las normales forman otra superficie que determina un cuerpo que nos da el volumen de c

Puede haber casos particulares: Si se quiere hallar la carga sobre una parte del plano limitada

si es una superficie cilíndrica; $p = f(x, y, z)$

Para x y un plano; $p = f(x, y)$

A veces los extremos de las ... son un plano



Entonces basta conocer en el plano

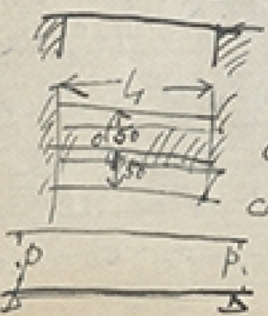
sino que basta un triángulo abc

porque todos los puntos en paralelo a

la arista bc tienen la misma carga

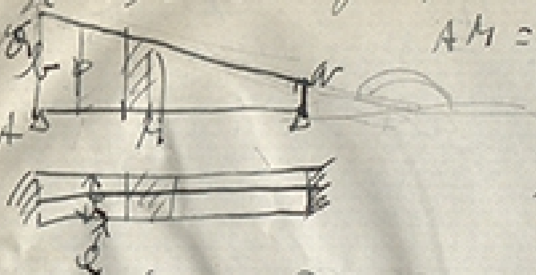
que se conoce por la ordenada

Se pueden tomar como ejes ab y ac, y p es función sólo de x. Si el plano es horizontal la carga estará repartida uniformemente. A veces son cargas uniformemente o variable según una línea. Una viga horizontal I



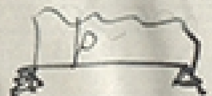
Si son vigas equidistantes sobre la viga de en medio carga el peso de ▨. Luego la carga por metro lineal y $4 \times 0'5 \times 300$ kg es la carga total, y 300/m metro lineal es $0'5 \times 300$

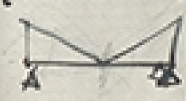
Si es una viga que resiste un muro:



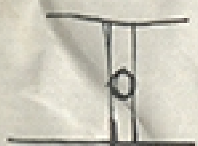
$AM = b \qquad e \times \Delta . b . p . T$

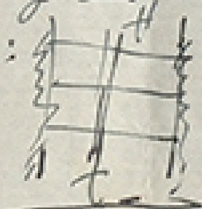
$p = ax + b$ que es la ecuación de la recta PN

Si es  $p = f(b)$

También a veces:  como en: 

Cargas aisladas: cuando la carga actúa sobre una superficie muy pequeña, " una columna que soporta varios tornillos y un círculo de 1 dm de diámetro



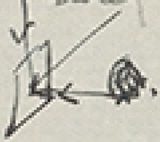
También:  Si hay un tabique tt' de 4 m de alto y 8 cm de ancho, carga sobre las vigas como cargas pequeñas

Las fuerzas se clasifican en: Una varilla de hierro, o para fuerzas de tracción, que separan o se aproximan, fuerzas de compresión.

también las tangenciales,

R se descompone en n y t

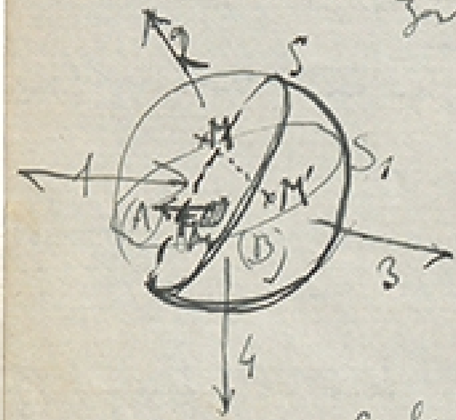
Cortante



Cortante :

Equilibrio elástico: entre el sistema de fuerzas exteriores y
y el interior
Hay que hallar para cada punto la fuerza elástica que en él
se desarrolla por la acción de las exteriores
Equilibrio estático: se equilibran las fuerzas exteriores (incluyendo
reacciones, ...) ______
La elasticidad se estudia por cálculo y experiencia
Elasticidad de un cuerpo: la propiedad, que en muy deformado
por fuerzas exteriores, al cesar éstas, recobra en todo o parte
la forma primitiva
Es perfecta: si el experimento lentamente recobra por completo
la forma primitiva; si no, es imperfectamente el.
Hallar la relación entre las fuerzas exteriores y las deforma-
ciones que producen.
2 Hipótesis: 1) Considerar los cuerpos constituidos por ele-
mentos moleculares, a distancias muy pequeñas, unidos
por fuerzas atractivas
2) Considerar como una masa continua de cuerpos. Si se divide
por planos paralelos, infinitamente próximos.
Hay fuerzas interiores o moleculares que se desarrollan por la
acción de las exteriores
al estirar [illegible] en resistencia, se [illegible]
que se oponen a las exteriores.

Sea un cuerpo limitado: actúan fuerzas sobre la superficie y sobre la masa. Tiende a deformarlo. M y M' tenderán a desplazarse; la oposición a ello, son las fuerzas elásticas:



Ha de haber equilibrio. La deformación cesa al haber equilibrio. Si lo cortamos por un plano, lo divide en (A) y (B). Si se suprime (A), queda (B). No habrá equilibrio y para que lo haya, habrá que poner en cada punto de la sección fuerzas elementales, equivalentes a las moleculares.

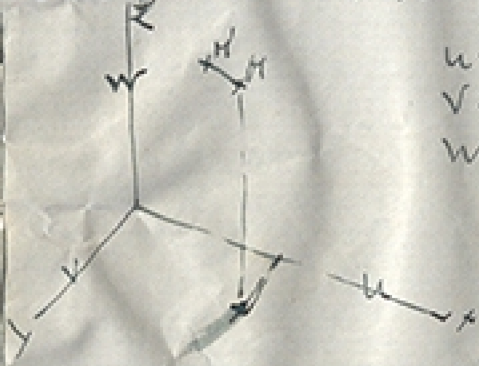
Si se toma un elemento infinitamente pequeño, y en él un punto M_1 con la fuerza f_1. Dividiendo $\frac{\Delta f_1}{\Delta S}$ da la fuerza en M_1.

Hay que conocer la fuerza molecular unitaria para cada punto. Se refiere a los componentes. El normal n y el tangencial t. El normal se determina por la perpend. al plano. Se toman dos ejes rectangulares en S, y la tangencial se descompone en 2, luego en 3 componentes rectangulares.

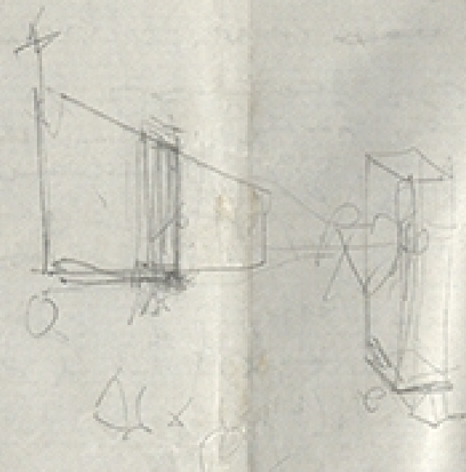
Pero esto depende del plano S. Si se hiciera para otro S_1 la fuerza elástica sería diferente y en otra dirección. Para conocerla en cualquier dirección hay que hallar los compon

ETSAM

Al suprimir fuerzas, se suprimen lentamente.
Consideramos deformaciones muy pequeñas. $\frac{1}{500}$ de la luz en una viga
y la elasticidad estática.
La dinámica (una ~~cuerda~~ cuerda vibrando) no se estudia aquí.
Las relaciones entre fuerzas externas y las deformaciones.
Para haber equilibrio, ha de haber deformación
Se refiere el cuerpo a 3 ejes coordenados
Cada punto se desplaza. Luego hay que conocer el desplazamiento de
cada punto. Si M va a M', $\overline{MM'}$ es el desplazamiento $\bar{\varepsilon} = \bar{u} + \bar{v} + \bar{w}$



$$\left.\begin{array}{l} u = f(x\,y\,z) \\ v = f_1(x\,y\,z) \\ w = f_2(x\,y\,z) \end{array}\right\}$$ hay que ~~conocer~~ conocer estas 3 ecuaciones de deformación.

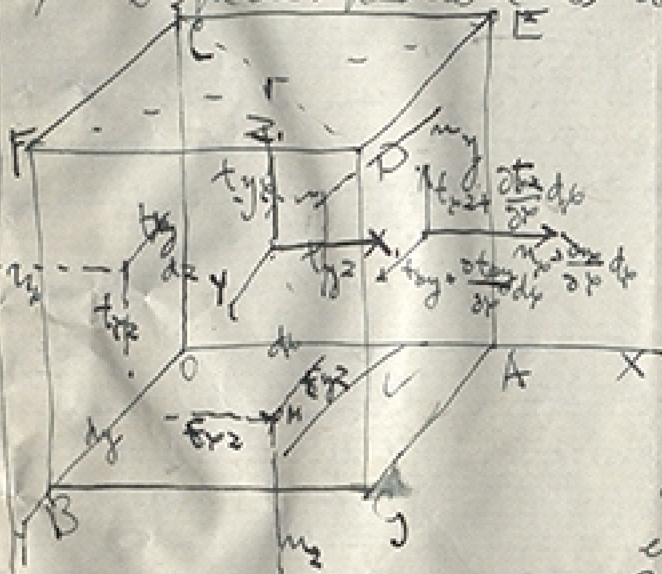


Las interiores dependen de los esfuerzos y de la naturaleza del material.

$\frac{\Delta P}{\Delta \omega}$ es la fuerza de la unidad de superficie en un punto $\frac{dP}{d\omega}$

Componentes según 3 componentes.

Aislemos del cuerpo un paralelepípedo infinitamente pequeño por 6 planos paralelos a los coordenados. Las aristas son dx, dy, dz



El cuerpo está en equilibrio bajo la acción de fuerzas interiores y exteriores al aislarlo, sobre cada elemento de cada cara, hay que aplicar fuerzas equivalentes a las que ejercían las partes suprimidas. En OAB, se puede suponer que las acciones elásticas se reparten uniformemente (por ser infinitamente pequeño). Se considera un punto cualquiera, la fuerza elástica en él X por el área, da la fuerza elástica total de la cara. Cada fuerza elástica unitaria se descompone en 2 tangenciales y una normal. En M: n_z t_{xz} t_{yz}. Lo mismo en las otras caras

Si se toma ASDE, como es paralela a FCOD, se pasa a ésta incrementando x. Se consideran constantes y z ∴ n_x será

$n_x = f(x,y,z)$ ∴ $f(x+dx, y, z) = n_x + \frac{\partial n_x}{\partial x}$ por la fórmula de Taylor

$$= n_x + \frac{\partial n_x}{\partial x} dx$$

Con las tangenciales lo mismo $t_{xy} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial x} dx$..

Así se estudiarían las 6 caras. En cada cara 3 componentes luego en total son 18 las que equivalen a las exteriores aplicadas al paralelepípedo. Las exteriores se conocen (son necesarias para el equilibrio estático)

Como es infinit. pequeño, se pueden considerar aplicadas al centro del paralelepípedo, descomponiéndolas, desde el que tendrá 3 componentes XYZ (referidas a la unidad de masa)

XYZ son unitarias: las verdaderas serán $\begin{cases} X\,dx\,dy\,dz \\ Y\,dx\,dy\,dz \\ Z \ldots \end{cases}$

Las 6 ecuaciones de equilibrio se referirán 3 a las proyecciones y 3 a los momentos.

Consideramos los ejes en el centro X, Y, Z y refiramos a ellos tomando el Z, : se halla el momento respecto a este: el de las exteriores

ETSAM

R)

siendo porque están aplicados al centro
Luego las elásticas son 0. Los momentos de las que cortan o son paralelas al eje z son nulos; luego se toman las demás que son las ⊥
($t_{xy}\, dy\, dz$) es la fuerza $\frac{dx}{2}$ a la distancia:

$$t_{xy}\, dy\, dz\, \frac{dx}{2} + t_{xy}\, dy\, dz\, \frac{dx}{2} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial x} dx\, dy\, dz \cdot \frac{dx}{2}$$

Son positivos por la rotación.
L AOC:

$$-t_{yx}\, dx\, dz\, \frac{dy}{2} - t_{yx}\, dx \cdot dz \frac{dy}{2} - \frac{\partial t_{yx}}{\partial y} dy\, dx\, dz\, \frac{dy}{2} = 0$$

Las demás corta. al eje
$dx\, dy\, dz$ es factor común
$t_{xy} - t_{yx} = 0$ en el límite
Para los los otros lo mismo:

$$\begin{cases} t_{xy} = t_{yx} & \text{esto para el eje } z \\ t_{xz} = t_{zx} \\ t_{yz} = t_{zy} \end{cases}$$

La 1ª: $t_{xy} = t_{yx}$ de las fuerzas elásticas tangenciales sobre planos ⊥, normales, a la arista de intersección, son iguales.

La suma de las proyecciones de las fuerzas sobre los 3 ejes son cero.
Las exteriores las que consideradas aquí. Las que las que

yectan las que sean $\perp$ a cada eje. En X, las y y z serán cero; igualando: $-n_x\,dy\,dz + \left(n_x + \frac{\partial n_x}{\partial x}dx\right)dy\,dz - t_{xz}\,dx\,dy + \left(t_{xz} + \frac{\partial t_{xz}}{\partial z}dz\right)dx\,dy - t_{yx}\,dx\,dz + \left(t_{yx} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial y}dy\right)dx\,dz + X\,dx\,dy\,dz = 0$

pues la proyección de Y y Z es cero

$$\frac{\partial n_x}{\partial x}dx\,dy\,dz + \frac{\partial t_{xz}}{\partial z}dx\,dy\,dz + \frac{\partial t_{yx}}{\partial y}dx\,dy\,dz + X\,dx\,dy\,dz = 0$$

El signo de X será + ó −, al contrario de los interiores.

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial n_x}{\partial x} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial t_{xz}}{\partial z} + X = 0\\
&\frac{\partial n_y}{\partial y} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial t_{yz}}{\partial z} + Y = 0\\
&\frac{\partial n_z}{\partial z} + \frac{\partial t_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial t_{zy}}{\partial y} + Z = 0
\end{aligned}\right\}$$

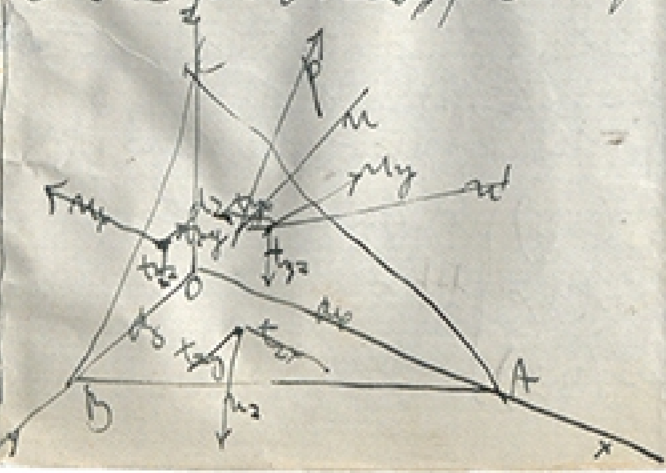
Lo mismo para los ejes Y y Z

$$\left.\begin{array}{l} t_{xy} = t_{yx} \\ t_{xz} = t_{zx} \\ t_{yz} = t_{zy} \end{array}\right\} \mathrm{I} \qquad \left.\begin{array}{l} \dfrac{\partial n_x}{\partial x} + \dfrac{\partial t_{xy}}{\partial y} + \dfrac{\partial t_{xz}}{\partial z} + X = 0 \\ \dfrac{\partial n_y}{\partial y} + \dfrac{\partial t_{yx}}{\partial x} + \dfrac{\partial t_{yz}}{\partial z} + Y = 0 \\ \dfrac{\partial n_z}{\partial z} + \dfrac{\partial t_{zx}}{\partial x} + \dfrac{\partial t_{zy}}{\partial y} + Z = 0 \end{array}\right\} \mathrm{II}$$

Las 9 fuerzas elásticas están ligadas por estas 6 ecuaciones, que determinarán 6 incógnitas, luego dados 3 de ellas, se conocen las otras 6.

Dadas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, hallar para cada punto, la fuerza elástica unitaria, correspondiente a una orientación dada.

Sea un punto dado O, por el que se hacen pasar 3 planos coordenados



Consideramos en vez del plano que pasa por O, uno infinitamente próximo paralelo que corta a XYZ en dx dy dz

A B C

El área de ABC es $\frac{1}{2} dy\,dz$.

La fuerza unitaria en todos los puntos es la misma.

Se tienen las 9 fuerzas:

En ABC la llamamos p

AOB, AOC, BOC son respectivamente proyecciones sobre su plano de ABC $= ~~\dots~~ = d\omega$

$$\left.\begin{aligned} AOB &= d\omega \cdot \cos Zn \\ AOC &= d\omega \cos Yn \\ BOC &= d\omega \cos Xn \end{aligned}\right\}$$ siendo $\underline{n}$ la normal a ABC

p es un vector: queda conocido por sus 3 componentes y el punto de aplicación que es aquí $\underline{O}$

$$p \begin{cases} p_x \\ p_y \\ p_z \end{cases} \qquad \bar{\bar{p}} = \bar{\bar{p}}_x + \bar{\bar{p}}_y + \bar{\bar{p}}_z$$

El tetraedro elemental está en equilibrio por las fuerzas que actúan ~~exteriores~~ y las elásticas.

Basta hallar la suma de proyecciones sobre ~~...~~ X

Las fuerzas elásticas son infinitamente pequeñas de 2º orden

Las exteriores son F x volumen del tetraedro que es infinitamente pequeño de 3er orden. Luego se desprecian estas: quedan:

X..... $p_x d\omega = n_x \times \text{área}\ OBC + t_{zx} \cdot AOB + t_{yx} \cdot AOC = n_x d\omega \cos nx + t_{zx} d\omega \cos nz + t_{yx} d\omega \cos ny$:

$$\left.\begin{aligned} p_x &= n_x \cos(nx) + t_{zx} \cos(nz) + t_{yx} \cos(ny) \\ p_y &= n_y \cos(ny) + t_{yz} \cos(nz) + t_{yx} \cos(nx) \\ p_z &= n_z \cos(nz) + t_{zx} \cos(nx) + t_{zy} \cos(ny) \end{aligned}\right\} \text{III}$$

de igual modo:

ETSAM

Conocemos los cosenos directores: quedan por conocer las fuerzas elásticas tangenciales

~~Sabiendo~~ $\bar{p} = \bar{p}_x + \bar{p}_y + \bar{p}_z$ se proyecta p sobre n'

$$p\cos(nn') = K = p_x \cos xn' + p_y \cos n'y + p_z \cos n'z$$

Y luego de p_x, p_y, p_z se sustituyen los valores dados por III

$$K = n_x \cos(nx)\cos(n'x) + n_y \cos(ny)\cos(n'y) + n_z \cos(nz)\cos(n'z) +$$
$$+ t_{xz}\left(\cos(nz)\cos(n'x) + \cos(nx)\cos(n'z)\right) + t_{xy}\left(\cos(nx)\cos(n'y) + \cos(ny)\cos(n'x)\right) +$$
$$+ t_{yz}\left(\cos(nz)\cos(n'y) + \cos(ny)\cos(n'z)\right)$$

Es la proyección de la fuerza elástica unitaria sobre otra dirección cualquiera. Se puede cambiar n con n' porque hay una reciprocidad, luego da lo mismo proyectarla sobre n que sobre n'

Ahora vamos a proyectarla sobre la normal n a la cara

$$K = n_x \cos^2 nx + n_y \cos^2 ny + n_z \cos^2 nz + 2t_{xy} \cos nx \cos ny +$$
$$+ 2t_{xz} \cos nx \cos nz + 2t_{yz} \cos ny \cos nz.$$

Luego es la fuerza elástica unitaria, normal a la cara en función de nx, ny ......

Se supone (ABC) trasladada a O

Si variamos la orientación:  : Los extremos de l estas K forman lo siguiente: tomemos los segmentos: $OM = \frac{1}{\sqrt{K}}$

Proyectando sobre los 3 ejes $\begin{cases} x = OM \cos nx \\ y = OM \cos ny \\ z = OM \cos nz \end{cases}$ $\quad \cos nx = \frac{x}{OM} = x\sqrt{K}$

$\cos ny = \frac{y}{OM} = y\sqrt{K}$

$\cos nz = \frac{z}{OM} = z\sqrt{K}$

$K = n_x K x^2 + n_y K y^2 + n_z K z^2 + 2t_{xy} K xy + 2t_{xz} K xz + 2t_{yz} K yz$ (6)

$n_x x^2 + n_y y^2 + n_z z^2 + 2t_{xy} xy + 2t_{xz} xz + 2t_{yz} yz = 1$ es una cuádrica que es un elipsoide; porque las fuerzas elásticas unitarias no pueden ser infinitas luego es un elipsoide.

Luego basta conocer las fuerzas elásticas en planos coordenados perpendiculares.

Hay 3 ejes del elipsoide: referidos a ellos no hay términos rectangulares. Luego las direcciones principales nos dan 3 planos coordenados: luego entonces para estos planos: $t_{xy} = 0$ . . . . . .

luego las tensiones tangenciales son nulas

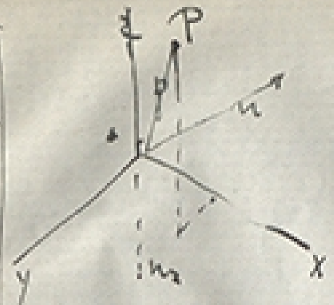
luego por todo punto del cuerpo hay 3 ejes principales para los que no hay más que fuerzas normales

---

Si en vez de tomar sobre OM el segmento $\frac{1}{\sqrt{K}}$ lo tomamos sobre p, las coordenadas de los extremos serán x y z

$x = p_x \quad y = p_y \quad z = p_z$

$p_x = p\cos px \quad p_y = p\cos py \quad p_z = p\cos pz$

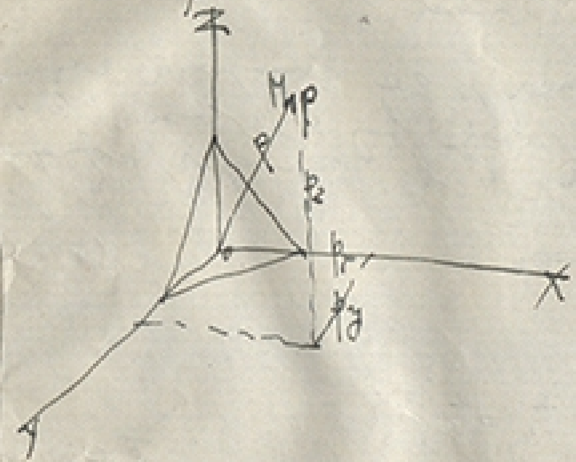


$\cos px = \frac{x}{\rho}$;; $\cos py = \frac{y}{\rho}$;; $\cos pz = \frac{z}{\rho}$

$\cos^2 px + \cos^2 py + \cos^2 pz = 1$

$\frac{x^2}{\rho^2} + \frac{y^2}{\rho^2} + \frac{z^2}{\rho^2} = 1$ es un elipsoide

Elipsoide de elasticidad (directriz) en vector normal a cada sección y sobre él el segmento $\frac{1}{\sqrt{R}}$ dá el elipsoide. Si se proyecta sobre la misma p dá el de elasticidad. Al variar el plano, varía p



$$\left.\begin{aligned} p_x &= n_x \cos(nx) + t_{xy}\cos(ny) + t_{xz}\cos(nz) \\ p_y &= n_y \cos(ny) + t_{yx}\cos(nx) + t_{yz}\cos(nz) \\ p_z &= n_z \cos(nz) + t_{zx}\cos(nx) + t_{zy}\cos(ny) \end{aligned}\right\}$$

Si los ejes fueran las direcciones principales, según estas orientaciones, no hay más que componentes normales, y queda:

$$\left.\begin{aligned} p_x &= n_x \cos(nx) \\ p_y &= n_y \cos(ny) \\ p_z &= n_z \cos(nz) \end{aligned}\right\} \quad \left.\begin{aligned} \cos(nx) &= \frac{p_x}{n_x} \\ \cos(ny) &= \frac{p_y}{n_y} \\ \cos(nz) &= \frac{p_z}{n_z} \end{aligned}\right\}$$

M(xyz) $\quad p_x = x \quad p_y = y \quad p_z = z$

$$\cos^2(nx) + \cos^2(ny) + \cos^2(nz) = 1$$

$$\frac{p_x^2}{n_x^2} + \frac{p_y^2}{n_y^2} + \frac{p_z^2}{n_z^2} = 1 \quad \frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

Luego es un elipsoide cuyos semiejes son las cargas principales (normales).
Si existen los 3: n_x n_y n_z es un elipsoide.
Si son $n_x = n_y = n_z$ régimen elástico triple
Si uno cero $n_z = 0$, queda una elipse en el plano x, y y es régimen elástico doble

Si $n_x = 0$, $n_y = 0$, queda régimen elástico simple; sólo hay fuerza en el eje OZ

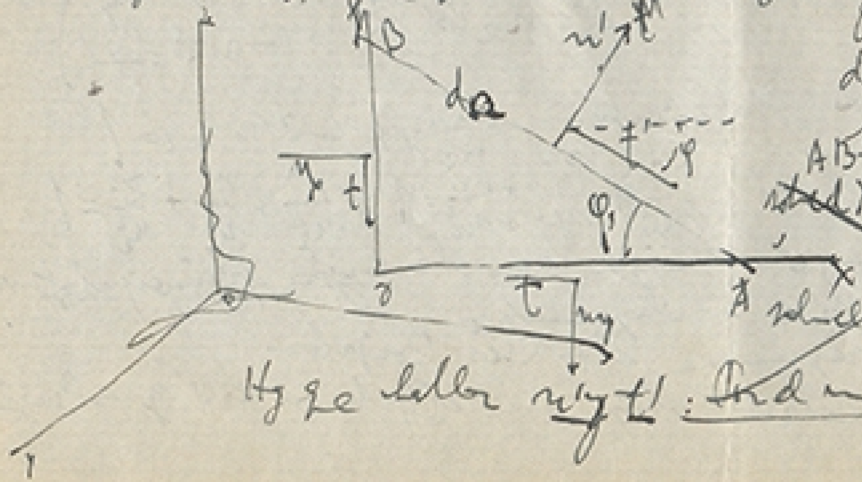
Como siempre hay 1 ó 2 muy pequeñas quedamos en régimen elástico doble o plano, y el simple o lineal.

Si aumentan las fuerzas, hasta la rotura, se romperá según el plano de máximo esfuerzo elástico; luego hay que buscar la sección por la cual la resistencia elástica sea la mayor, porque entonces será el plano de rotura

$n_z = 0$ todo está en X e Y, luego $t_{zx} = t_{zy} = 0$.

$$\left.\begin{array}{l} t_{xy} = t_{yx} \\ t_{xz} = t_{zx} \\ t_{yz} = t_{zy} \end{array}\right\} \text{ luego: } \left|\begin{array}{l} t_{xz} = 0 \\ t_{yz} = 0 \end{array}\right.$$

Así que quedan: n_x, n_y, $t_{xy} = t$; ¿cuál será la orientación del plano AB para que n' y t' sean máximos?



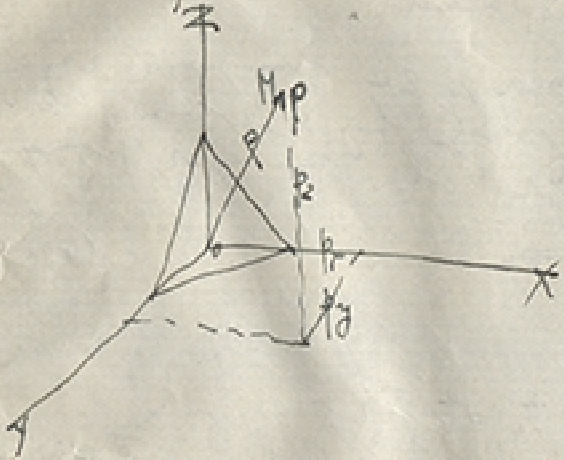
AB = dω: OB = OA·dz = dω sen φ

~~según X: n' sen φ ... t' cos φ ... n_x ...~~

~~Ídem eje Y: n' cos φ − t' sen φ − t − n_y = 0~~

Hay que hallar n' y t': por el método de reducción

Elipsoide de elasticidad (directriz) en vector normal a cada sección y sobre él el segmento que dá el elipsoide. Si se proyecta sobre la misma $\underline{p}$ dá el de $\sqrt{R}$ elasticidad. Al variar el plano, varía $\underline{p}$



$$
\left.\begin{aligned}
p_x &= n_x \cos(nx) + t_{xy}\cos(ny) + t_{xz}\cos(nz)\\
p_y &= n_y \cos(ny) + t_{yx}\cos(nx) + t_{yz}\cos(nz)\\
p_z &= n_z \cos(nz) + t_{zx}\cos(nx) + t_{zy}\cos(ny)
\end{aligned}\right\}
$$

Si los ejes fueran las direcciones principales, según estos orientaciones, no hay más que componentes normales. y queda:

$$
\left.\begin{aligned}
p_x &= n_x \cos(nx)\\
p_y &= n_y \cos(ny)\\
p_z &= n_z \cos(nz)
\end{aligned}\right\}
\quad
\left.\begin{aligned}
\cos(nx) &= \frac{p_x}{n_x}\\
\cos(ny) &= \frac{p_y}{n_y}\\
\cos(nz) &= \frac{p_z}{n_z}
\end{aligned}\right\}
$$

M(xyz) $\quad p_x = x$, $p_y = y$, $p_z = z$

$$\cos^2(nx) + \cos^2(ny) + \cos^2(nz) = 1$$

$$\frac{p_x^2}{n_x^2} + \frac{p_y^2}{n_y^2} + \frac{p_z^2}{n_z^2} = 1 \quad ; \quad \frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

Luego es un elipsoide cuyos semiejes son los esfuerzos principales (normales).

Si existen las 3: n_x n_y n_z es un elipsoide:

Si son $n_x = n_y = n_z$ régimen elástico triple

Si uno cero, $n_z = 0$, queda un elipse en el plano $x\,0\,y$ y es un régimen elástico doble

Si $n_x=0$ $n_y=0$, queda régimen elástico simple; sólo hay fuerza en el eje OZ

Como siempre hay 1 ó 2 muy pequeños quedamos en régimen elástico doble o plano, y el simple o lineal.

Si aumentamos las fuerzas, hasta la rotura, se romperá según el plano de máximo esfuerzo elástico; luego hay que buscar la sección para el cual la fuerza elástica sea la mayor, porque entonces será el plano de rotura

$n_z=0$ todo está en X e Y, luego $t_{zx}=t_{zy}=0$,

$$\left.\begin{array}{l} t_{xy}=t_{yx} \\ t_{xz}=t_{zx} \\ t_{yz}=t_{zy} \end{array}\right\} \text{luego: } \left\{\begin{array}{l} t_{xz}=0 \\ t_{yz}=0 \end{array}\right.$$

Lo que quedan: n_x, n_y, $t_{xy}=t$

¿Cuál será la orientación del plano AB para que n' y t' sean máximos?

AB = dω: OB = OB·dz = dω sen φ

según X: n' sen φ ...

según Y: n' cos φ − t' sen φ − t − n_y = 0

Hay que hallar n' y t': Por el método de reducción

$$\left.\begin{array}{l} \cancel{n'\operatorname{sen}^2\varphi + t'\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi - n_x\operatorname{sen}\varphi - t\operatorname{sen}\varphi = 0} \\ \cancel{n'\cos^2\varphi - t'\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi - (t+n_y)\cos\varphi} = 0 \end{array}\right\}$$ Sumando:

$$\cancel{n' - (n_x+t)\operatorname{sen}\varphi - (n_y+t)\cos\varphi = 0}, \quad n' = (n_x+t)\operatorname{sen}\varphi + (n_y+t)\cos\varphi$$

Sobre el eje OX: $n'\,d\Omega\operatorname{sen}\varphi + t'\cos\varphi\,d\Omega - n_x\operatorname{sen}\varphi\,d\omega - t\cos\varphi\,d\Omega = 0$

Sobre el OY: $n'\cos\varphi\,d\Omega - t'\,d\Omega\operatorname{sen}\varphi - t\,d\Omega\operatorname{sen}\varphi - n_y\,d\Omega\cos\varphi = 0$

~~Por el método de reducción:~~ dividiendo por $d\Omega$:

$$\left.\begin{array}{l} n'\operatorname{sen}\varphi + t'\cos\varphi - n_x\operatorname{sen}\varphi - t\cos\varphi = 0 \\ n'\cos\varphi - t'\operatorname{sen}\varphi - t\operatorname{sen}\varphi - n_y\cos\varphi = 0 \end{array}\right|$$

Por el método de reducción: se multiplica la 1ª por sen y la 2ª por cos y se suman:

1) $n' - n_x\operatorname{sen}^2\varphi - t\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi - t\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi - n_y\cos^2\varphi = 0$

al contrario: la 1ª por cos y la 2ª por sen y restando:

2) $t' - n_x\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi - t\cos^2\varphi + t\operatorname{sen}^2\varphi + n_y\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi = 0$

$$\left\{\begin{array}{l} n' = n_x\operatorname{sen}^2\varphi + n_y\cos^2\varphi + 2t\operatorname{sen}\varphi\cos\varphi \\ t' = t(-\operatorname{sen}^2\varphi + \cos^2\varphi) + \operatorname{sen}\varphi\cos\varphi\,(n_x - n_y) \end{array}\right.$$ Componentes elásticos unitarios de la sección plana

Hay que poner estos sen y cos en función del mitad

$\operatorname{sen}^2\varphi = \dfrac{1-\cos 2\varphi}{2}$,, $\cos^2\varphi = \dfrac{1+\cos 2\varphi}{2}$.

$n' = n_x\dfrac{1-\cos 2\varphi}{2} + n_y\dfrac{1+\cos 2\varphi}{2} + t\operatorname{sen}2\varphi$,, $t' = t\cos 2\varphi + (n_x - n_y)\dfrac{\operatorname{sen}2\varphi}{2}$

ETSAM

$$n' = \frac{n_x + n_y}{2} + \frac{n_y - n_x}{2}\cos 2\varphi + t \operatorname{sen} 2\varphi$$
$$t' = t \cos 2\varphi + \frac{n_x - n_y}{2} \operatorname{sen} 2\varphi$$

Hay que hallar el máximo de n' y t'

Se derivan respecto de φ,

$$0 = \frac{dn'}{d\varphi} = \frac{-n_y + n_x}{2} \operatorname{sen} 2\varphi \, \frac{d(2\varphi)}{d\varphi} + 2t \cos 2\varphi, \quad \text{porque} : \frac{d(2\varphi)}{d\varphi} = 2$$

$$(n_x - n_y) \operatorname{tg} 2\varphi + 2t = 0, \quad \operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2t}{n_y - n_x}$$

$$\operatorname{arc tg} \frac{2t}{n_y - n_x} + 2k\pi = 2\varphi, \quad \varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arc tg} \frac{2t}{n_y - n_x} + k\pi$$

Luego hay para φ dos valores, que difieren en π.

$$\cancel{\operatorname{sen}^2\varphi \cos^2\varphi = \frac{1 - \cos^2 2\varphi + \cos^2 2\varphi - \cos^2 2\varphi}{4}} \quad \frac{1 - \cos^2 \varphi}{4} = \frac{\operatorname{sen}^2 \varphi}{4}$$

$$\frac{dt'}{d\varphi} = 0 = -2t \operatorname{sen} 2\varphi + \frac{n_x - n_y}{2} \cos 2\varphi \cdot 2, \quad -2t \operatorname{sen} 2\varphi + (n_x - n_y)\cos 2\varphi = 0$$

$$-2t \operatorname{tg} 2\varphi + n_x - n_y = 0,$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{n_x - n_y}{2t}$$

La ley de Hooke: las deformaciones son proporcionales a las fuerzas que las originan, entre ciertos límites: las fuerzas elásticas también son proporcionales.
Esto no es muy exacto, pero se acepta entre ciertos límites; cuando las deformaciones no quedan permanentes sino que desaparecen al quitar las fuerzas. El es el periodo elástico, el del de deformaciones permanentes.

$u\ v\ w$ son las deformaciones a lo largo de las aristas

$$\left.\begin{aligned} u &= a_1 n_x + b_1 n_y + c_1 n_z + d_1 t_{xy} + e_1 t_{xz} + f_1 t_{yz} \\ v &= a_2 n_x + b_2 n_y + c_2 n_z + d_2 t_{xy} + e_2 t_{xz} + f_2 t_{yz} \\ w &= a_3 n_x + b_3 n_y + c_3 n_z + d_3 t_{xy} + e_3 t_{xz} + f_3 t_{yz} \end{aligned}\right\} \text{I} \left.\begin{matrix}\text{Alargamiento} \\ \text{acortamiento}\end{matrix}\right\} \text{de las aristas}$$

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= m_1 n_x + n_1 n_y + p_1 n_z + q_1 t_{xy} + r_1 t_{xz} + s_1 t_{yz} \\ \beta &= m_2 n_x + n_2 n_y + p_2 n_z + q_2 t_{xy} + r_2 t_{xz} + s_2 t_{yz} \\ \gamma &= m_3 n_x + n_3 n_y + p_3 n_z + q_3 t_{xy} + r_3 t_{xz} + s_3 t_{yz} \end{aligned}\right\} \text{II Deformaciones de los ángulos}$$

Para cada material los coeficientes
Los coeficientes se llaman coeficientes de deformabilidad
coeficiente de deformabilidad directa es en la de

u	a_1
" " " v,	b_2
" " " w,	c_3
" " " α,	s_1
" " " β	r_2
" " " γ	q_3

Son funciones lineales con las deformaciones ...

de las 6 fuerzas distintas, pero se podrían poner estas en función de las deformaciones. Los coeficientes serán de ~~1er~~ 2º grado
Coeficientes de elasticidad serán los de $u, v, w, \alpha, \beta, \gamma$.
Supongamos cuerpos homogeneos, isótropos (que en cada punto tienen igual fuerza molecular)
Los coeficientes ~~todos~~ ~~iguales~~ directos serán iguales: los transversales tamb.

$$3\begin{cases} u = a n_x + b(n_y + n_z) \\ v = a_1 n_y + b(n_x + n_z) \\ w = a_1 n_z + b(n_x + n_y) \end{cases}$$

~~Las deformaciones~~

$$4\begin{cases} \alpha = g\, t_{yz} \\ \beta = g\, t_{xz} \\ \gamma = g\, t_{xy} \end{cases}$$

Se podrían despejar $n_x, n_y, n_z, t_{xy}, t_{xz}, t_{yz}$: $t_{yz} = \frac{\alpha}{g} = \frac{1}{g}\alpha = G\alpha$

$t_{xz} = \frac{\beta}{g} = \frac{1}{g}\beta = G\beta$

$t_{xy} = \frac{\gamma}{g} = \frac{1}{g}\gamma = G\gamma$

Los coeficientes de $\alpha\ \beta\ \gamma$ son los mismos (de elasticidad transversal $= G$)

$$\left.\begin{aligned} a n_x + b n_y + b n_z &= u \\ b n_x + a n_y + b n_z &= v \\ b n_x + b n_y + a n_z &= w \end{aligned}\right\} n_x = \frac{\begin{vmatrix} u & b & b \\ v & a & b \\ w & b & a \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b & b \\ b & a & b \\ b & b & a \end{vmatrix}} = \frac{\begin{vmatrix} a & b \\ b & a \end{vmatrix}}{D} u - \frac{\begin{vmatrix} b & b \\ b & a \end{vmatrix}}{D} v + \frac{\begin{vmatrix} b & b \\ a & b \end{vmatrix}}{D} w$$

Los coeficientes de v y w son iguales

El coeficiente de elasticidad directo es E:

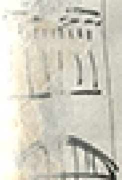
$n_x = Eu + L(v+w)$; $n_y = Ev + L(u+w)$; $n_z = Ew + L(u+v)$

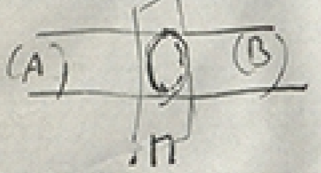
$G = \frac{2}{5} E$ en la práctica

L coeficiente de elasticidad lateral

Si un material está sometido a fuerzas exteriores, y se producen fuerzas interiores, trabajo. Los coeficientes de resistencia son permanente y de la rotura

Si ~~se~~ se desarrollan fuerzas elásticas, al aumentar las exteriores aumentan las elásticas, llegando al límite de elasticidad no desaparecen las deformaciones. Coeficiente de resistencia permanente es el esfuerzo por unidad de superficie





Si cortamos los esfuerzos por un plano M.
y nos quedamos con (B) hay que aplicar la fuerza elástica en la sección; si pasamos ~~de~~ del coeficiente de resistencia permanente

10 y las deformaciones aumentan más deprisa

es la razón de la fuerza que produce deformación permanente por la superficie

En la práctica, las construcciones deben trabajar por debajo del límite elástico. Si están en el período de deformaciones permanentes, hay peligro de rotura.

Hay que tener un coeficiente de seguridad o práctico. La carga práctica < que la de elasticidad

El coeficiente de elasticidad es fácil para los esfuerzos de tracción de compresión, y de cortante (tangencial). En práctica, solo a notarse se puede determinar.

R = coef^te práctico de elasticidad por tracción $\bar{R}$

R' — — — — compresión $\bar{R}'$

R'' — — — — cortante o tangencial $\bar{R}''$

Los prácticos son: $R.\ R'\ R''$

El práctico sería $\frac{R}{S}$ $S > 1$ coef^te de seguridad

Los hierros por tracción: 50 Kg por mm^2, se deben hacer trabajar a 10 ó 11 Kg por mm^2

A piezas trabajan con esfuerzos combinados

Si varios esfuerzos actúan sobre un punto, el esfuerzo de cada uno es independiente.

Cada esfuerzo produce su deformación, como si fueran aislados y la deformación total es la suma. El trabajo total se obtendrá sumando siempre, aunque sean de signos contrarios.

Coeficiente de seguridad > 1

No debe llegar el trabajo al límite de elasticidad

El valor límite de la fuerza elástica ; se ha hallado para 3 esfuerzos: tensión compresión cortante

El de Rotura que puede hallarse en todos los cuerpos, pero no es fácil en piedra y ladrillo. Sino, se ve en construcciones ya hechas con cemento material. Carga práctica ó coeficiente de trabajo

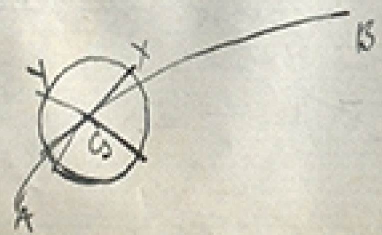
Se admite la independencia de efectos dentro del periodo elástico.

Conjunto de cuerpos enlazados con otros convenientemente, sujetos a esfuerzos y en equilibrio, son estructuras. Hay 3 clases: 1º) Predomina una dimensión sobre las otras 2: piezas prismáticas

2º) 2 dimensiones predominan sobre la 3ª. Se consideran como filas de piezas prismáticas

3º) Las 3 dimensiones predominan. Se consideran descompuestas en prismáticas.

__Pieza prismática__: Toma una línea cualquiera plana ó alabeada ~~y ...~~



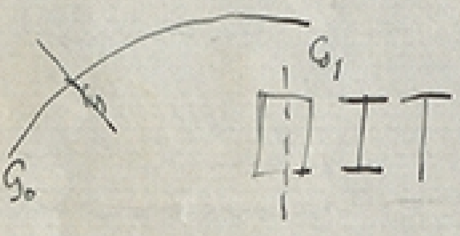
y hacemos que la sección G recorra AB de modo el centro de gravedad siga AB, y el plano sea normal a la línea. Y ... de inercia esté en el plano osc...

Luego será la normal principal.

AB es lugar geométrico de los centros de gravedad de sus secciones
Éstas pueden ser constantes o variar
Si la curva es plana, el plano osculador es el de la curva (el eje principal
de inercia será la intersección del plano normal con el de la curva.

Puede ser de sección constante o variable
Sección de una pieza prismática es la sección plana normal a la línea.

Si la sección la consideramos dividida en elementos infinitesimales cada uno engendrará una fibra. Fibra media es la engendrada por un elemento en torno a G
Se clasifican en: de directriz plana o alabeada.
Pieza recta si la directriz es recta. Si la superficie generatriz tiene eje de simetría, es eje principal de inercia (eje de la elipse central de inercia). Éste se coloca en el plano osculador, y si es plano, tendrá plano de simetría y será pieza simétrica.
Piezas de directriz plana y cuyo eje de simetría está en el plano de la directriz.



Hipótesis de Bernoulli

Una pieza prismática, por la acción de fuerzas exteriores, se deforma hasta que las interiores establecen el equilibrio

6.

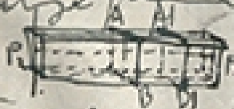
Estas deformaciones se consideran muy pequeñas

1º/ Se deforman todas las fibras: una parte de fibras, entre dos secciones, se acortarán o alargarán, variarán su curvatura, las secciones planas dejarán de serlo; pero las secciones planas y normales se admite que siguen siendo planas y normales.

2º/ Se admite que si habrá variado algo la dimensión y la forma de la sección, se considera igual a antes de la deformación

Luego las dimensiones se reducen a alargamientos o acortamientos de las partes de fibras, y variación de curvaturas, y giro de las secciones planas. Ósea alargamiento ó acortamiento y cambios de curvatura de la fibra media y giros de las secciones planas

Pieza de plana curva ó directriz recta. Tendrán plano de simetría



Piezas prismáticas rectas: de directriz plana recta.

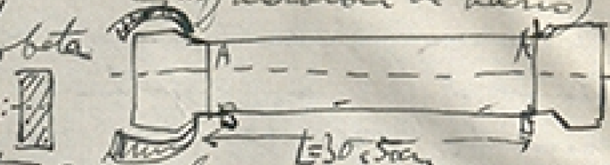
1º/ Con esfuerzos de extensión simple, 2º/ compresión simple, 3º/ cortante

Luego flexión simple o compuesta

Sometida a fuerzas exteriores en equilibrio, está sometida a extensión simple cuando la sección plana cualquiera G, no hace más que desplazarse, sufriendo una traslación, AB en A'B'; todos los elementos de fibra se han trasladado.

Ensayo de metales por tracción simple: en 2 grupos: elásticos (hierro, acero) y no elásticos! piedra, ladrillo... fundición de hierro)
Un hierro o un acero, se prepara la probeta

De sección Ω:



Para que se rompa en la parte entre señales y para que agarren las garras de la máquina

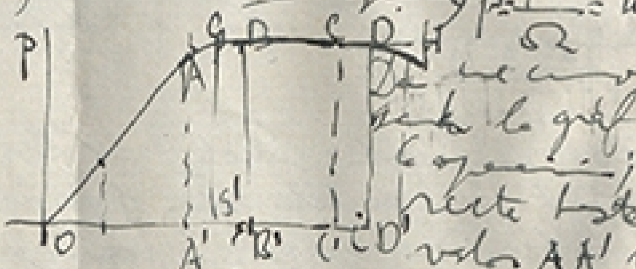
Se miden L y Ω: en cada instante se conoce el esfuerzo unitario que es el cociente del esfuerzo por Ω.

Si se somete a tracción simple, se disminuye algo la sección; pero el alargamiento es lo que va aumentando con la carga.

En cada instante se mide P (esfuerzo de la máquina) $p = \frac{P}{\Omega}$ = unitario

$i = \frac{l}{L}$ = es el alargamiento unitario

<u>Abscisas i</u> : ordenadas p



Se ve una curva que es la gráfica de la operación; da una recta hasta cierto valor AA' luego la relación constante $\frac{p}{i}$

Luego una curva AB, y otra más recta BC

En el período C aumentan los alargamientos y en DH aumentando sigue el alargamiento hasta la rotura H.

1er período OA de la proporcionalidad $\frac{p}{i}$ = constante = E: coeficiente de elasticidad

$p = Ei$ (Ley de Hooke Hog...)

A

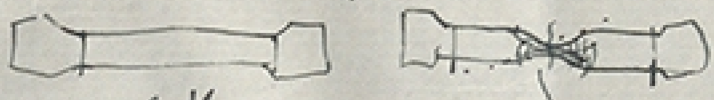
~~se pierde~~ quitando la fuerza recobra la longitud primitiva

AB ~~la fuerza elástica~~ recobra todavía la longitud primitiva

donde llega a un punto G G' que es el límite del período elástico

el período BC es de las deformaciones permanentes

en CD sin variar P aumenta la deformación, ~~~~ ; cuesta f



es el período de rotura

la fuerza que se considera es

(Período del paso)

CC' es ley de H:

$$\frac{P_r}{S} = R$$

5045 Pranzine

ETSAM

A

El coeficiente de elasticidad: $E = \frac{\frac{P}{s}}{\frac{l}{L}} = \frac{P}{i}$ Es el cociente de la fuerza por unidad de superficie por el número abstracto, luego es una fuerza unitaria; es un nº bastante grande.

Si se va alargando, las secciones transversales se van reduciendo.

Los alargamientos, dentro del período elástico son proporcionales a p y por tanto a i, o sea a los alargamientos

$\frac{l}{l} = n_i$ el cual está $\begin{cases} 0'25 \\ 0'30 \end{cases}$

Si se trata de hallar las deformaciones, se usa E

E es constante dentro del período elástico

Sin embargo, puede a veces excederse del límite de elasticidad

Hay unas fórmulas: hierro; $\begin{cases} \text{hasta 18 Kg por mm}^2\text{, dentro del período elástico:} \\ E = 19.500 \text{ Kg x mm}^2 \\ \text{de 18 a 28 Kg mm}^2 \quad E = 19.500 - 1500(t-16) = \\ = 43.500 - 1500t \end{cases}$

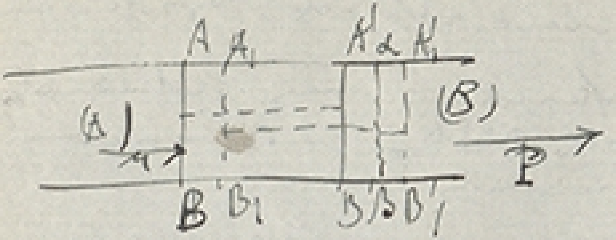
$\boxed{t = \text{es la fuerza por unidad de superficie}}$

acero. $\begin{cases} \text{hasta 18 Kg por mm}^2 \quad E = 22.000 \text{ Kg x mm}^2 \\ \text{hasta 28 Kg} \quad " \quad E = 22000 - 2000(t-18) = \\ = 58.000 - 2000t \end{cases}$

Si la extensión es permanente, dentro del período elástico resiste indefinidamente, pero si está fuera, hay rotura

Los esfuerzos repetidos lo mismo

Esfuerzos de resistencia: sean dos secciones AB y A'B'. Se desplazan a lo largo de la dirección. AB y A'B' van a A_1B_1 y $A'_1B'_1$. $A'_1A_1 - A'A$ es alargamiento



Si hacemos que A_1B_1 coincide con $A'_1B'_1$ va a Δ, luego $A'\Delta$ es el alargamiento

Las fuerzas en la misma sección son todas iguales y normales, su resultante será única, aplicada al centro de gravedad de la sección si suponemos A/, para restablecer el equilibrio, lo que aplican fuerzas a la sección. Las fuerzas exteriores deben reducirse, a una sola en el eje, (para que equilibren a las elásticas?)

Si n es una fuerza, $n\Omega$ es la resultante de las elásticas

$P = n\Omega$ siendo P las exteriores

n es la fuerza elástica unitaria que puede resistir el material

$E = \frac{P}{\Omega}$ } n es la fuerza por unidad de superficie en cada punto de la sección, que no debe llegar al límite de elasticidad R

$P = n\Omega$

$n \leq R$, a lo más $n = R$, $P = R\Omega$

Con esto se pueden determinar las tensiones simples

En $P = R\Omega$ se saben 3 problemas, dadas cada una de las 2 funciones de las otras 2,,

$\Omega = \frac{P}{R}$ de la sección para sostener un esfuerzo P.

Si es de hierro, para sostener 5000, $\Omega = \frac{5000}{10} = 500$ mm²

porque hacemos trabajar al hierro a 10 ó 11 kg por mm²

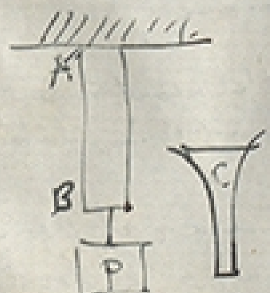
Dada la pieza, conocer el esfuerzo que resistirá: $P = R\,\Omega$

Problema de reconocimiento: una pieza colocada en obra, conocer su coeficiente de trabajo. Se calcula Ω y P con lo que se saca R; si $R > 10$ hay peligro

Calcular la $E = \frac{P}{i}$ ó $E = \frac{R}{i}$ porque el [illegible] de P es R.

Donde se sacan E, R, ó i conocidas las otras dos.

$\frac{R}{E} = i = \frac{l}{L}$,, luego $l = L\frac{R}{E}$



Pieza de sección constante o variable.

El tercer sección el peso del cable. Luego A es la sección que más resiste $R\Omega = P + p'$ siendo p' el peso del cable.

En B habrá menos peso, pero se le da igual sección que A. Pero si se quiere que todos resistan igual se le da la forma C

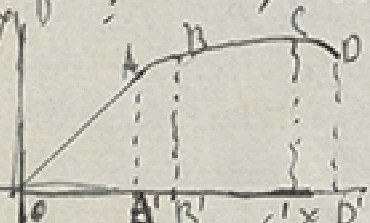
Piezas prismáticas rectas, sometidas a compresión simple

,, cuando la sección al deformarse, sufre una traslación a lo largo d

directa; no posición, entre 2 secciones se acorta.
Se hace un ensayo análogo al de compresión; hay máquinas que hacen los dos esfuerzos. Las probetas de ensayo, son diferentes. Luego tienen que ser cortas porque no sufran encorvatura. La longitud es el doble de la ~~anchura~~ sección transversal o 1½ vez.

[Las piedras y cementos, por extensión sólo hay rotura]

Los conos sean normales a la directa, y los platillos trabajen por toda la superficie (a veces se pone plomo) y estén bien centrados
La deformación es parecida a la de extensión, pero sin estricción



OA proporcionalidad.
AB donde está el valor límite
Los coeficientes de extensión para hierro y acero son iguales a los de compresión
La fundición no

Las secciones transversales se agrandan, en función del acortamiento
Pasado el período elástico hay el plegado; que las superficies laterales forman parte de la base.
En los no elásticos no se puede determinar el período elástico, sólo el de fractura. En la fundición hay algo de elasticidad

fundición { hasta 10 a 15 Kg por mm² coeficiente de elasticidad ($E = 9000$ Kg)
de 15 a 25 Kg " " $E = 9500 - 70t$
25 a rotura $E = 1275 - 200t$

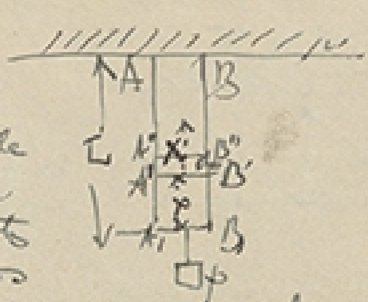
Cuando pieza está sometida a esfuerzos alternados, hay que estar dentro

ETSAM

$E = \dfrac{\frac{P}{\Omega}}{\frac{l}{L}} = \dfrac{R}{i}$,, $p = R\Omega$,, R = esfuerzo unitario
Ω = sección

Hemos de tener buen ... Si es el del ..., para ... no limitado,.. para cargas ... no se tenga en cuenta el peso Kg por m². ... piezas ..., ... de la pieza.

Teniendo en cuenta del peso de la pieza



$\Sigma A_1 B_1$ no hay más esfuerzo que el peso p
Pero en una sección A'B', sostiene además del peso de la parte x. Si cortamos por A'B', para restablecer el equilibrio, habrá que aplicar fuerzas equivalentes a las suprimidas, que tendrán por resultante X. Las dos fuerzas se equilibran $X = p + \Omega x \cdot \Pi$ siendo Π el peso por unidad de volumen
Si se supone la ... unitaria $r_x = \dfrac{X}{\Omega} = \dfrac{p + \Pi\Omega x}{\Omega} = \dfrac{p}{\Omega} + \Pi x$ Luego el coeficiente de trabajo es función: $\dfrac{p}{\Omega}$ y Π constantes, y solo depende de x

$r_L = \dfrac{p}{\Omega} + \Pi L$ La más peligrosa es AB ,, $r_x \leqq R$,,

$R = \dfrac{p}{\Omega} + \Pi L$,,

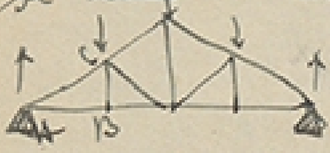
$i = \dfrac{R}{E}$, R es el mayor valor de r_x ,, $i = \dfrac{r_x}{E}$

Si tomamos dx,, el alargamiento de este será i dx,, poniendo en vez de i su valor $i\,dx = \dfrac{r_x}{E}\,dx = \left(\dfrac{p}{\Omega} + \Pi x\right)\dfrac{dx}{E}$
de 0 a L será una integral definida $l = \displaystyle\int_0^L \left(\frac{p}{\Omega} + \Pi x\right)\frac{dx}{E} = \int_0^L \frac{p}{\Omega}\frac{dx}{E} + \int_0^L \Pi x\frac{dx}{E}$
$= \dfrac{p}{\Omega E}\displaystyle\int_0^L dx + \frac{\Pi}{E}\int_0^L x\,dx$,, $l = \dfrac{pL}{\Omega E} + \dfrac{\Pi}{E}\cdot\dfrac{L^2}{2}$,, Es el total: Por unidad

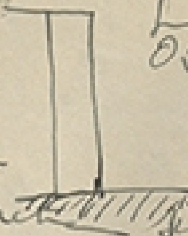
Longitud unit. : $l = \frac{l}{L} = \frac{P}{\Omega E k} + \frac{\Pi L}{2E}$ } Esto si el alargamiento es uniforme; si no se refiere a la sección más peligrosa

$R = \frac{P}{\Omega} + \Pi L$

Para la compresión se puede hacer lo mismo. Cuando sea muy alto, y se tenga en cuenta el peso del pilar. Ordinariamente no se tiene en cuenta el peso de la pieza.



Se puede determinar la materia relativa de la sección que está sobre las barras AB a extensión; se saca por $P = R\,\Omega$

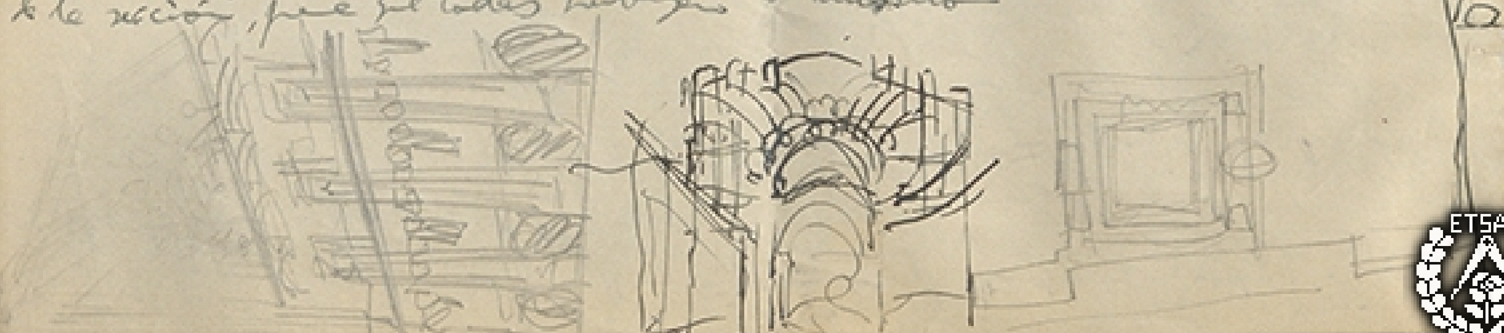


Si AC es pequeño con relación a la sección, que no hubiera pandeo, se puede también aplicar la fórmula.

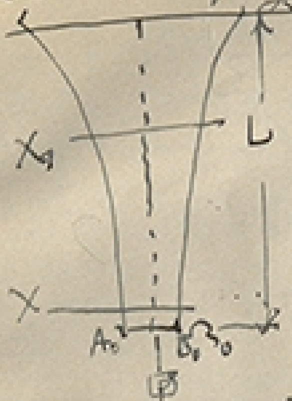
Siendo $R = \frac{P}{\Omega} + \Pi L$ si ΠL nos diera el coeficiente de trabajo, P sería 0. Si ΠL nos diese menos del coeficiente, se rompería por su peso.

~~Extensión~~ ó compresión de piezas de sección variable

Para evitar el exceso de material y que AB trabaje a 10 kg por mm² otra a 8 kg siendo de sección constante, hay que buscar la variación de la sección, para que todas trabajen lo mismo.



Calcular un pilar de modo que todas las secciones trabajen igual



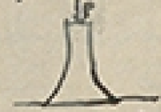
Ω_0 solo recibe la carga P ,, $P = R\Omega_0$,, $\Omega_0 = \frac{P}{R}$

Una sección infinitamente próxima, X, $P + \Omega_x dy \Pi$

Una sección X_1 cualquiera; $P + \int_0^{X_1} \Omega_x dy \Pi$

Se reparte uniformemente, luego la unitaria será:

$$n_{x_1} = \frac{P}{\Omega_{x_1}} + \frac{1}{\Omega_{x_1}} \int_0^{X} \Omega_x dy \Pi$$



También vive por la compresión

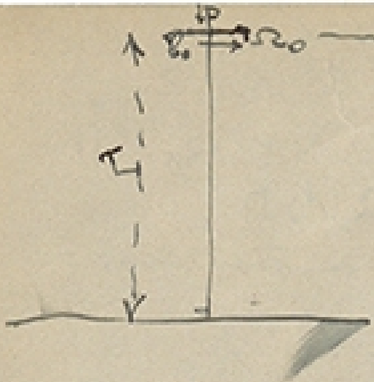
Esta fatiga unitaria no debe ser mayor que R ,, $R = \frac{P}{\Omega_1} + \frac{\Pi}{\Omega_1} \int_0^{x} \Omega_x dx$

$P + \int_0^{X_1} \Omega_x \Pi dx = R\Omega_1$,, Ω_1 es la sección de X_1 ,, es función de X_1 ,,

La integral es también función de X_1 por ser definida: P es constante y R también; todo es función de X_1

Diferenciando $\Pi \Omega_1 dx_1 = R d\Omega_1$,, $\frac{\Pi}{R} dx_1 = \frac{d\Omega_1}{\Omega_1}$,, $\frac{\Pi}{R}$ integrando

$\frac{\Pi}{R} x_1 = l\Omega_1 - l\Omega_0 = l\frac{\Omega_1}{\Omega_0}$,, $\frac{\Omega_1}{\Omega_0} = e^{\frac{\Pi}{R} x_1}$,, $\Omega = \Omega_0 e^{\frac{\Pi x}{R}}$,, es la función de x ,,



$P = R\Omega_0$;; $\Omega_0 = \frac{P}{R}$;; Queremos que sea de igual espesor a luego solo varía el perfil.

$\Omega_0 = a b_0$; $b_0 = \frac{\Omega_0}{a} = \frac{P}{Ra}$.

A una distancia x_1 cualquiera, $ab_1 = ab_0 e^{\frac{\Pi}{R}x_1}$

Sale de la ecuación $\Omega = \Omega_0 e^{\frac{\Pi}{R}x}$;;

Para la base: $ab_L = ab_0 e^{\frac{\Pi}{R}L}$

Si fuera circular: $\Omega_0 = \pi r_0^2$ ///

A una cualquiera $\pi r^2 = \pi r_0^2 e^{\frac{\Pi}{R}x_1}$;;

Se dice la práctica forma escalonada

Esfuerzo cortante simple: las fuerzas están situadas en el plano de la sección, y la resultante pasa por el centro de gravedad. Para pasar y está en el plano.

Tomemos suficientemente próximas, que f ... ab se vea ab_1 y suponemos que a no varía.

bb_1 es el deslizamiento: $i_1 = \frac{bb_1}{ab}$ es el unitario ;;

$i_1 = tg\,\alpha_1$; es el módulo elástico: $G = \frac{\frac{T}{\Omega}}{tg\,\alpha}$

Si $\frac{T}{\Omega} = R'$ siendo el coeficiente y en el límite $tg\,\alpha = \alpha$;;

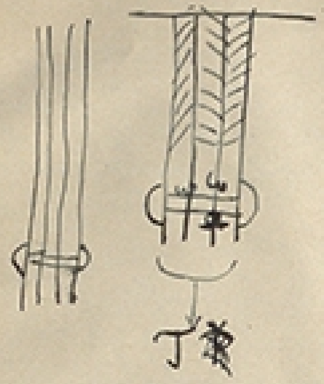
$G = \frac{R'}{\alpha}$;; $R' = G\alpha$

Es difícil determinar G ;; Se compara G con E. $G = \frac{2}{5}E$ en la práctica.

Los coeficientes de trabajo de tracción R y el de esfuerzo cortante R'

$R' = \frac{4}{5}R$

El coeficiente de trabajo tan. de la molécula $t = \frac{4}{5} n$ siendo $\left\{\begin{array}{l} t \gtrless R'' \\ n \gtrless R \end{array}\right.$
El esfuerzo cortante se reparte en varias secciones, cada una de varias clavijas.



Si ω es la sección, con dos será 2ω
En general $n\omega = \Omega$,
$T = R''\Omega = R''n\omega$, $\frac{T}{n} = R''\omega$

Para 2 ó 3 secciones se puede admitir

Hay esfuerzos combinados de tracción ó compresión con el cortante. Por el principio de superposición de efectos, si es extensión y cortante, se estudian separadamente y se suman R y R''. Si para extensión 4 kg mm^2 y para cortante 5 kg sería $4+5 = 9$ kg/mm^2. Es el coeficiente de trabajo total:

$$F = \frac{3}{8} n + \frac{5}{8}\sqrt{n^2 - 4t^2}$$

Russell: $F = \frac{1}{2} n + \frac{1}{2}\sqrt{n^2 - 4t^2}$ $\left\{\begin{array}{l} n \text{ coeficiente para extensión ó compresión} \\ t \quad " \quad " \text{ esfuerzo cortante} \end{array}\right.$

Puede estar sometido a extensión ó compresión por la acción de la tempe- 13
ratura. Los metálicos se dilatan ó contraen por la temperatura
Si está sujeto por sus extremos y disminuye la temperatura, tenderá
a contraerse, y como no puede, se desarrollan acciones moleculares
muy enérgicas. Si aumenta la temperatura, no puede prolongarse
por la sujeción de los extremos
Estas acciones moleculares, dan un trabajo que es un esfuerzo de 4
por mm². Si está en el interior de edificios, recubierto de
fábrica, no se tiene en cuenta. Pero si está al exterior, y en
climas de $-10°$ a $30°$ ó $40°$. Puede ejercer un trabajo hasta de 10 Kg
por mm². Coeficiente de dilatación lineal, es el alargamiento ó acorta-
miento, unitario, al variar la temperatura 1°. $= \delta$

Para τ grados: $\delta\tau$. De la longitud L es $l_1 = l\delta\tau$

$$\frac{0'00001\,\frac{12}{2}}{0'0000\,12'4\;\frac{3}{12}}$$

El hierro es: $\delta = 0'000012$
Los materiales pétreos también tienen su coeficiente: el cemento es casi
igual al del hierro.

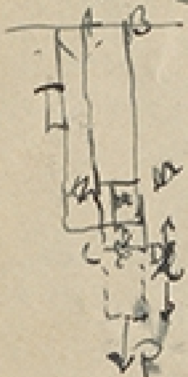
1:1000 Si R es el coeficiente de Trabajo y E el de elasticidad: $E = \frac{R}{i} = \frac{R}{\frac{l}{L}}$

$$\frac{l}{L} = \delta\tau \;,,\; l = \delta\tau L \;,,\; E = \frac{R}{\delta\tau} \;,,\; R = E\delta\tau$$

Una variación de $30° = \tau$ $\quad E = 20000$ Kg por mm².

$R = 20000 \times 0'000012 \times 30 = \cancel{\ldots}\,12 \times 2 \times 30 = \cancel{\ldots}\,7'2$,, Que las cargas sol-
hasta 10.

Resistencia viva por extensión o compresión. Las estructuras están compuestas por piezas prismáticas alargadas. Al aplicar sobre las piezas prismáticas fuerzas, las deformaciones en su punto sobre las fuerzas y se produce un desplazamiento, luego hay un trabajo = fuerza x camino. Las fuerzas son paralelas al eje y los desplazamientos indicados F.



La fuerza se aplica gradualmente.

Si P vale P_x, el alargamiento es x.

Al aumentar este, el camino es dx. El trabajo es: $P_x\, dx$

El trabajo para producir l: $\int_0^l P_x\, dx$.

Esto es la resistencia viva.

Aquí intervienen el esfuerzo estático y el dinámico, P y dx.

Si Ω es la sección y lo dividimos por Ω y por l se tiene el trabajo por unidad de longitud y superficie; cuanto mayor sea, mayor es el hierro

Si el esfuerzo de 0 a P está dentro del periodo elástico es resistencia viva elástica; si está en el de estricción, es la resistencia viva práctica.

Dentro del periodo elástico, la integral se puede hacer analítica y gráficamente. Fuera, solo gráficamente.

$P_x dx$ es el área. La integral vale: $\frac{Pl}{2}$ (a) proporcional al trabajo

Dentro del periodo elástico: $E = \frac{\frac{P}{\Omega}}{\frac{l}{L}} = \frac{\frac{P_x}{\Omega}}{\frac{x}{L}}$; $P_x = \frac{E x \Omega}{L}$

Para el alargamiento total: $P = \frac{E\Omega l}{L}$

$$\int_0^l P_x dx = \int_0^l \frac{E\Omega}{L} x\, dx = \frac{E\Omega}{L}\int_0^l x\, dx = \frac{E\Omega}{L}\frac{l^2}{2} = \frac{E\Omega l^2}{2L} = \frac{E\Omega l}{L}\frac{l}{2} = \frac{Pl}{2} = P\frac{l}{2}$$

; que es el área valor obtenido gráficamente (a)

Si queremos el trabajo para un alargamiento a. P_a $\int_0^a P_x dx = P_a \frac{a}{2}$

Es complejo: la fuerza y deformación. Se puede dividir por ΩL para obtener el unitario pues ΩL es el volumen; luego más la resistencia viva específica: es el coeficiente de calidad. $C = \frac{\int_0^l P_x dx}{\Omega L}$

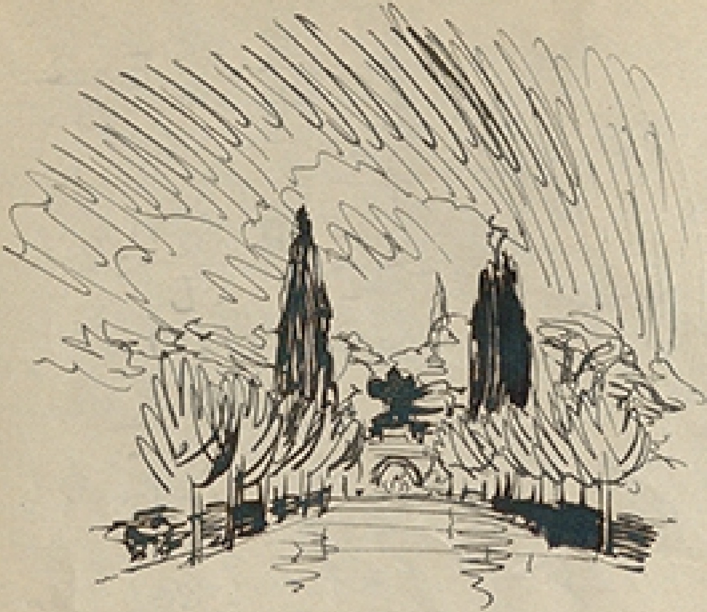
$$C = \frac{Pl}{2\Omega L} = \frac{1}{2}\frac{P}{\Omega}\frac{l}{L} = \frac{1}{2}Ri$$

En vez de R se puede poner $\bar{R}$ carga de fractura: $R = \frac{1}{n}\bar{R}$; $C = K\bar{R}i$

Se comporta bien en el taller y en obra, si C es grande.

El hierro es de buena calidad: $\bar{R} = 32$ á 36 Kg mm² ; $C = 4'5$

Fundición $\bar{R} = 36$ a 45 Kg mm² ; $C = 9$



ETSAM

Tracción simple aplicada a cuerdas y cables:

Cuerdas de cáñamo. 3, ó 6 cordones enrollados a un alma, o sin él.
Es aproximadamente circular. Tomamos por ~~área~~ área de la sección la circunferencia circunscrita
Hay que tener en cuenta si la carga es permanente o accidental

Si es ~~permanente~~ permanente : $R = 1$ Kg mm²
accidental : ~~$R = 3$ K~~ $R = 2$ á 3 Kg mm²

$E = 200$ Kg mm²;

$\bar{R} = 8$ a 16 Kg mm².

Cuerdas ~~mojadas~~ húmedas, resisten menos: la resistencia $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{3}$
Si es embreada, $\frac{2}{3}$ á $\frac{3}{4}$ de la cuerda seca
Si siendo seca se humedece ~~no~~ esteriormente, aumenta la resistencia
Alargamiento de la cuerda nueva: Para carga de rotura: $l = \frac{1}{6} L$
En periodo elástico : $l = \frac{1}{16} L$

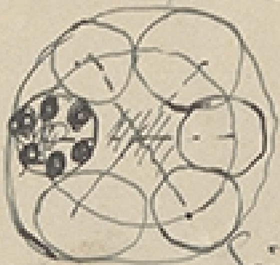
Peso por un metro de cuerda en función del diámetro: $p = 0'0007 d^2$
Si es embreada $p = 0'0008 d^2$

Carga de Rotura ... $P_r = 5d^2$
Carga práctica .... $P = d^2$

~~Cuerdas~~ $P = R\Omega = \frac{\pi d^2}{4} R$ · siendo $R = 1$ Kg mm², $P = \Omega$,
Si es carga accidental $P = 2\Omega$.

Para grandes cargas, se usan cables de alambre: un cable viene a ser una unidad formada de alambres: se forman los cordones con algunos alambres arrollados a un alma de cáñamo

El cable se forma por varios cordones arrollados a un alma de cáñamo



El cáñamo es para evitar la oxidación y da flexibilidad.

Si d es un alambre y hay n, son $n\omega$

A veces se hacen los cables planos.

El diámetro exterior es D

Si n es número de alambres: $n=36$ .. 6 cordones con 6 alambres: $\frac{D}{d}$

$n=36$ .. $n=48$ $n=54$ $n=60$ $n=66$ $n=72$

$\frac{D}{d}=8$ $\frac{D}{d}=10'25$ $\frac{D}{d}=11'33$ $\frac{D}{d}=12'40$ $\frac{D}{d}=13'25$ $\frac{D}{d}=14'20$

La fatiga práctica para alambres de hierro y acero

Hierro: $R = 8$ a 10 kg mm²,

Acero: $R = 12$ a 14 Kg mm²

A veces se puede tomar hasta 25 Kg mm²

Entre el peso p por metro lineal y el diámetro hay relación:

$p = 0'0061\, n d^2$; Si $n=36$ $\frac{D}{d}=8$ .. para $d=\frac{D}{8}$ .. $p=0'00306\, D^2$

$p = 0'0035\, D^2$ ..

Los belgas por la carga en función del diámetro D
la carga total de fractura se llama P_0 y de práctica P

(3) $P_0 = 15 D^2$ Hierro; $P_0 = 35 D^2$ acero } La carga práctica el $\frac{1}{10}$;; $\left\{ \begin{array}{l} P = 1'5 D^2 \text{ Hierro} \\ P = 3'5 D^2 \text{ Acero} \end{array} \right.$

a veces se pone la carga práctica mediante el diámetro del alambre..

Hierro : $P = 7'07\, n d^2$ R se puede tener R = 9

acero : $P = 9'43\, n d^2$ R " " " R = 12

Entre la carga total y el peso por m lineal. Se puede establecer la relación:

$$\frac{P}{p} = \frac{7'07}{0'0061} = 1159 \text{ Hierro} \;;\; \frac{P}{p} = \frac{9'43}{0'0061} = 1546$$

$P = 1159\, p$, p es el peso por metro lineal. $P = 1546\, p$

Si el cable fuese de 1159 metros, no soportaría peso alguno y si fuera ~~...~~ mayor se rompería por su peso.

Si no tengo la que tener en cuenta su peso, el peso útil será el peso que podría resistir menos el peso del cable.

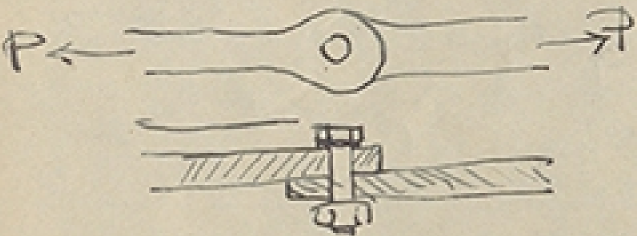
$$P_u = P_{\text{útil}} \;;\; P_u = P - Lp \;;\; = P - \frac{P}{1159} L = P\left(1 - \frac{L}{1159}\right)$$

Si n = 36 y se trata de alambre n° P dado.. $P = R\frac{\pi D^2}{4}$

o por las fórmulas $P = 7107 \pi d^2$; $d = \frac{P}{36 \times 7107}$ siendo d el diámetro del cable: Por $\frac{P}{d} = 8$,, $d = \frac{P}{8}$,, $\frac{P}{8} = \frac{P}{36 \times 7107}$

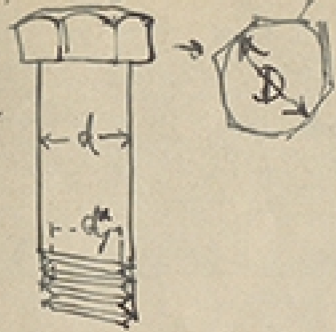
Resistencia por esfuerzo cortante: pernos y pasadores, y roblones.

Dos barras, con un pasador, que permite el juego, trabaja por el pasador por esfuerzo cortante,, Los remaches, hay una compresión, que se opone a la extensión, que tiende a separar los extremos del perno.



Es perno si no permite juego
Es pasador si permite.

Los pernos se componen de 3 partes: el cuerpo, cilíndrico o cuadrado, la parte ~~[illegible]~~ aterrajada y la cabeza:

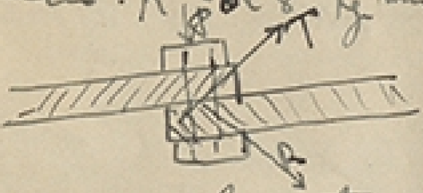


Los pernos de enlace, son de estrangulación; si dejan juego:

$d_1 = \frac{4}{5} d = 0'80\, d$

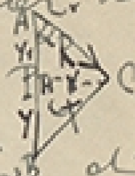
hierro: $R = 2$ a 4 Kg/mm^2

acero: $R = 6$ a 8 Kg/mm^2



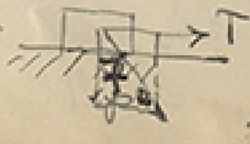
Si se ajusta de modo que no puedan girar las dos piezas. Hay una compresión, a la que se opone una extensión del cuerpo del perno. La parte anular ejerce una reacción: tiende a ser cortada la prolongación del cuerpo del perno y separarla del anillo que queda de la cabeza:

La ejerce la presión P, para que no puede resbalar. Además un esfuerzo de tracción, T. Resultante de estos 2:



Si queda T ~~constante~~ constante, y aumenta P, el ángulo α irá disminuyendo, hasta que se haga menor que el ángulo de rozamiento.

La [illegible]



Si no hay rozamiento habría una reacción igual y contraria; sólo haría falta una T pequeña, para hacerlo resbalar, pero ...

ocurre así por el rozamiento. Tiene que verificarse que T vaya aumentando hasta cierto valor de $\frac{f}{\ }$, que hace que se vuelva
Si ha de haber estabilidad, ha de ser $\frac{f}{\ }$ menor. $T = P \operatorname{tg} \varphi$

φ es el ángulo de rozamiento.

α ha de ser $\operatorname{tg}\alpha < \operatorname{tg}\varphi$,, siendo f = coeficiente de rozamiento :

$f' < f$.

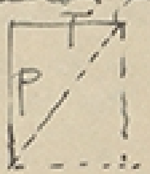
Hacemos $f = 0'18$ a $0'20$; Coeficiente de seguridad : $m = 2$ á 3

$f' = \frac{f}{m}$

Presión para que esto se verifique : $P = Y + Y_1$,, $Y_1 = X \operatorname{tg}\alpha = X f'$,, $P = Y + X f'$

$P = Y + X \frac{m}{f}$,, Y se considera por su componente de T.

La tracción [illegible] de grietas, a lo largo de la pieza.



La componente $Y = 0$,, $P = \frac{X m}{f} = \frac{m T}{f}$

El [illegible] sujeto a atracción : $P = R\Omega$

Ω es la sección constante : $P = R \Pi \frac{d_1^2}{4} = R \frac{16 d^2}{4 \times 25} = R \frac{4 d^2}{25}$,,

$P = 0'50 R d^2 = \frac{1}{2} R d^2$

Calcular la cabeza :

La zona será : $\frac{\Pi (D^2 - d^2)}{4} = \Omega$

$P = R \frac{\Pi}{4} (D^2 - d^2)$,, la tomaremos de

R diferente de antes : R_1 ,, $P = R_1 \frac{\Pi}{4} (D^2 - d^2)$,, $R_1 = 2$ Kg mm

$\frac{1}{2} R d^2 = R_1 \frac{\Pi}{4} (D^2 - d^2)$,, $\frac{1}{2} R_1 d^2 = \frac{1}{2} \Pi (D^2 - d^2)$,, $R d^2 = \Pi (D^2 - d^2)$,,

2) ~~$Rd^2 = \Pi D^2 - \Pi d^2$~~ ,, $d^2 = \frac{\Pi}{R}(D^2 - d^2)$,, Se toma $\frac{\Pi}{R} = \frac{1}{2}$,, $d^2 = \frac{1}{2}(D^2 - d^2)$

$2d^2 = D^2 - d^2$, $D^2 = 3d^2$

$D = \sqrt{3} \cdot d$,, D resulta uy y $\frac{1}{2}$ d. y se toma hasta el doble en la práctica.

Altura de la cabeza ~~...~~ trabaja por esfuerzo cortante la superficie cilíndrica: que es la circunferencia de la base por la altura.

$\Pi d a = \Omega$,, $P = R''\Omega$ siendo R'' coeficiente de esfuerzo cortante

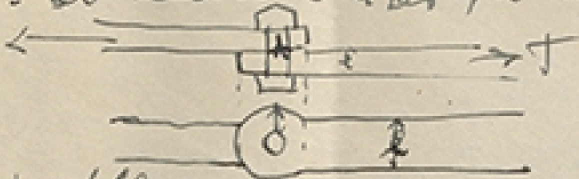
$P = R''\Pi da$,, $\frac{1}{2} R d^2 = \Pi R'' d a$ $\quad \frac{1}{2} R d = \Pi R'' a$,, Se da un coeficiente de traba-

jo muy pequeño: $R'' = 1$ $\quad \frac{1}{2} R d = \Pi a$,, $a = \frac{1}{2}\frac{Rd}{\Pi} = \frac{Rd}{2\Pi}$

$2\Pi = 6'28$; si $R = 5'6$,, Se puede tomar $R = 2\Pi$,, $a = d$,,

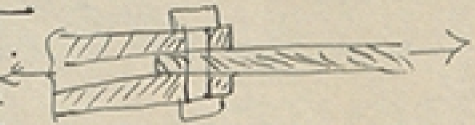
Si es un pasador: lo tiende a cortar por la sección: $T = R''\Omega$:

$T = R'' \frac{\Pi d^2}{4}$



a una trabaja por doble esfuerzo cortante.

$T = R'' 2\Omega = R'' 2 \frac{\Pi d^2}{4} = R'' \frac{\Pi d^2}{2}$

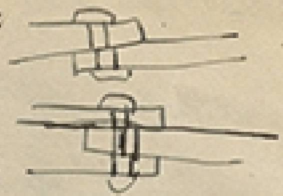


$T = R\Omega = R l e$ en la punta de la barra recta; pero en la cabeza de la barra se da más de la mitad de la ...

$R'' = \frac{T}{\frac{\Pi d^2}{4}}$,, Si son dos secciones: $R'' = \frac{T}{2\frac{\Pi d^2}{4}}$,, Esto si viene ...

ETSAM

los pernos el diámetro. Pero si hay holguras:



Además si  a si tiende a romper en una o a quebrarse por bb

Por eso las fórmulas son: $R'' = \dfrac{T}{\frac{3}{16}\pi d^2}$; $R'' = \dfrac{T}{2\frac{3}{16}\pi d^2}$

Roblones: son como pernos sin tuerca sino remachado.

El conjunto es Robladura. Cuando se colocan en caliente, trabajan por tensión simple, pero al cabo de algún tiempo se aflojan, y trabajan por esfuerzo cortante, pero el coeficiente de trabajo es el mismo, por lo que se calculan para esfuerzo cortante

Rendimiento de cantidad es el cociente entre la cantidad suministrada y la recogida: suele ser de 95%

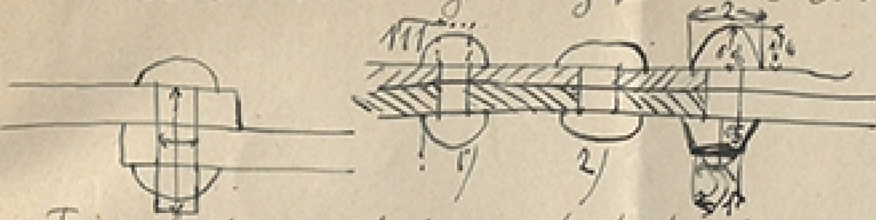
Rendimiento en energía: es el cociente entre la energía entregada y la energía dada:

A: amperios horas recogidos en la descarga: AE, siendo E = 2 voltios

$\dfrac{AE}{A'E'}$ = Rendimiento

~~Rendimiento interior~~: Es del orden de $\frac{1}{1000}$ Ohmio

~~Régimen, Capacidad~~, diferencia de potencial entre los bornes, Roblones: son pasadores porque dejan libre el juego. No tiene tuerca, sino un remache de la cabeza. Hay que hallar el diámetro y el largo del cuerpo



Tomando por unidad el diámetro d = 1

1/ esférico: ancho de la cabeza: 1'67 d

Exceso del largo = 1'11.

Flecha de la cabeza: 0'66

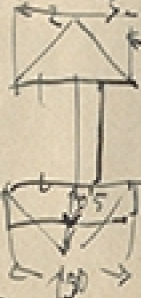
2/ Gota de Sebo: ancho 1'80 } de la cabeza.

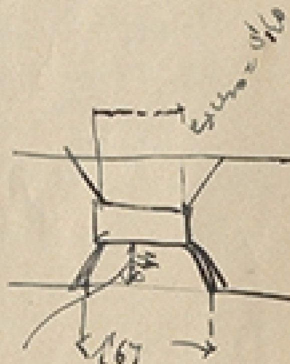
Flecha 0'50

Exceso 1'00

3/ Toroide: ancho 1'67

4/ Cónico. exceso 0'40, 5/ Aplastado: fresado:

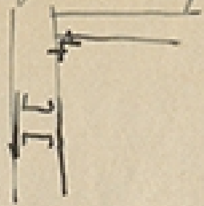


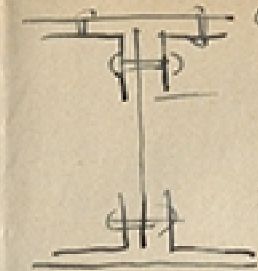


Para remachar en agujeros ya ensanchados, se usan roblones con algo de refuerzo

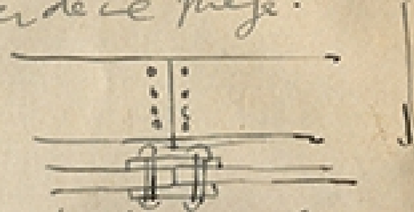
Los roblones en bajo. Chapas:

~~[illegible]~~ Pié derecho:





Si el alma no puede ser de una pieza:



Carga práctica de resistencia a tracción $R=6$ Kg/mm

Por esfuerzo cortante. Se remachan en frío ó caliente: en frío si es < 1cm y en caliente si > 1cm de espesor.
Si la roblonadura está bien hecha, no pueden girar las piezas; pues obra por compresión entre las ~~[illegible]~~. El cuerpo obra por extensión.
Si deja algún juego, al cabo de cierto tiempo, trabaja por esfuerzo cortante
Los taladros son iguales para los 2 trabajos

$R=6$ Kg/mm^2 .. $R''=\frac{4}{5}R$.

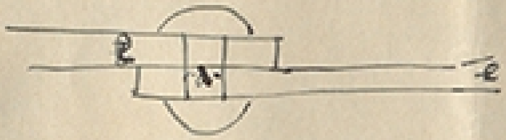
La resistencia varía según el remachado. Se hace el taladro: o a punzón (sacabocados) ó a broca (barrena). El 1º, modifica los bordes y altera el hierro. El 2º, no. y se puede hacer que se enfrenten mejor los taladros. Se hacen de diámetros determinados.

El $d=8$ mm es el límite de roblonado en frío o caliente

Se lleva a una temperatura ó para roblonar: el rojo cereza 900° á 1000°

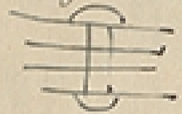
Serie par: d = 8 12 14 16 18 20 22 23 25
serie impar: d = 12'5 15 17 19 20 24

Hay una relación entre los espesores de los palastros y el d del roblón.



$\frac{d}{e} \leqq 2'38$ hierro
Si son de distinto espesor, se toma el mayor.

~~$\frac{d}{e} \leqq$~~ Si son 2 xcciones



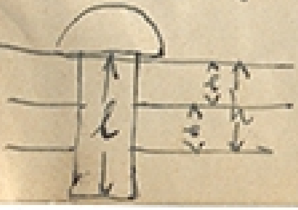
$\left.\begin{array}{l} \frac{d}{e} \leqq 2'38 \text{ Hierro} \\ \frac{d}{e} \leqq 3'46 \text{ Acero} \end{array}\right\}$ 1 xcción

$\left.\begin{array}{l} \frac{d}{e} \leqq 1'19 \text{ Hierro} \\ \frac{d}{e} \leqq 2'73 \text{ Acero} \end{array}\right\}$ 2 xcciones

Remachearemos con martillo, ó con aire comprimido a mano si d < 2'5 cm.

Hay una relación entre el espesor del palastro y el d del roblón.

l = espesor del palastro = 8 10 12 15 20 25 en mm
d = diámetro del roblón = 16 19 20 20 21 22 24 30

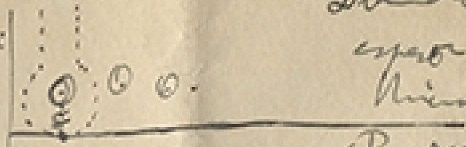


$l = h + 0'1 h + 1'50 d$ (¿ó es la centésima de h?)

El taladro se hace 1 mm más grande que el d.

Fajo que ha de envolver a cada roblón: Ha de resistir igual que el roblón

Coser dos roblones:



Diámetro del roblón = 1'80 del espesor del palastro.

Número de piezas roblonadas

Solape:

La proyección del chaflán $= \frac{1}{3} e$

Por solape
doble cubrejunta
simple cubrejunta

Trabajo a simple sección. $T = R'' \Omega = \frac{4}{5} R \pi \frac{d^2}{4}$ .. $R = 6$ kg/mm²

Es hélice la [illegible]
[illegible] cilindro [illegible]
[illegible] recta