

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO			
DNC GE	Cátedra: ESTRUCTURAS - NIVEL 3		
	Taller: VERTICAL III - DELALOYE - NICO - CLIVIO		
	Guía de Estudio : Tipología de las Estructuras Espaciales		
Curso 2009	Elaboró: JTP Ing. Angel Maydana	Revisión: Ing. Delaloye	Fecha: Abril 2009

TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS ESPACIALES

OBJETIVO DEL TRABAJO: Presentar las distintas tipologías de las estructuras espaciales, según el tipo de esfuerzo, según los materiales y según la geometría.

A MANERA DE PREFACIO: Muchos conceptos y figuras aquí presentadas, fueron tomadas del libro "Estructuras para arquitectos" de Mario Salvadori y Robert Heller, que recomendamos leer.

Dicen los autores: Es evidente que solo el estudio serio de la matemática y de la física permitirá a un proyectista analizar una estructura compleja con el grado de perfeccionamiento exigido por la tecnología moderna. El ingeniero estructuralista de nuestros días es un especialista entre especialistas. Se recurre a estos especialistas en busca de asesoramiento sobre un tipo determinado de estructuras, tal como se consulta a un especialista ante un tipo raro de enfermedad.

Pero es evidente también, que una vez establecidos los principios básicos del análisis estructural, no hace falta un especialista para comprenderlos sobre una base puramente física. Todos estamos en cierto grado, familiarizados con estructuras en nuestra vida cotidiana: sabemos a qué ángulo debemos colocar una escalera de mano para que soporte nuestro peso y sabemos si el tablón dispuesto sobre el cauce de un arroyo se romperá o no, si caminamos sobre él. Sabemos si la cuerda es suficientemente fuerte para izar un balde de agua desde el fondo de un pozo y si el viento hará volar la carpa levantada en el campamento. Es un paso relativamente fácil capitalizar estas experiencias, sistematizar ese conocimiento y llegar a comprender el cómo y el porqué del comportamiento de una estructura moderna.

DEFINICIÓN DE *ESTRUCTURA RESISTENTE*: Adoptamos la siguiente, propuesta por el ingeniero Atilio Daniel Gallo: "Consiste en un conjunto de elementos resistentes que accionan y reaccionan entre sí por efecto de aplicación de fuerzas exteriores, y cuya finalidad principal consiste en trasladar (en base a algún mecanismo resistente interno propio de cada tipo estructural) a dichas fuerzas desde su punto de aplicación hasta los puntos de apoyo de la estructura"



Reconstrucción Puente Peatonal
Exposición Sesquicentenario (MCBA)
Avda. F. Alcorta y Pueyrredón (1978)
Ing. Atilio Gallo

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS SEGÚN EL TIPO DE ESFUERZO

Los más usuales son las de solicitaciones axiales, flexionales y de corte:

a) Solicitaciones axiales

Fig. 1a

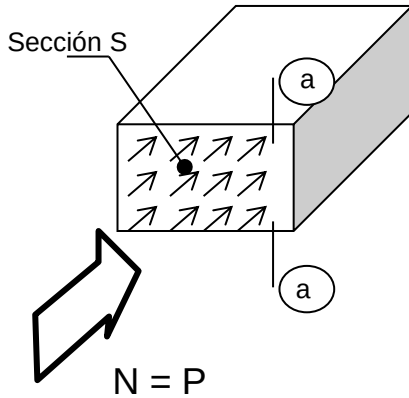


Fig. 1b

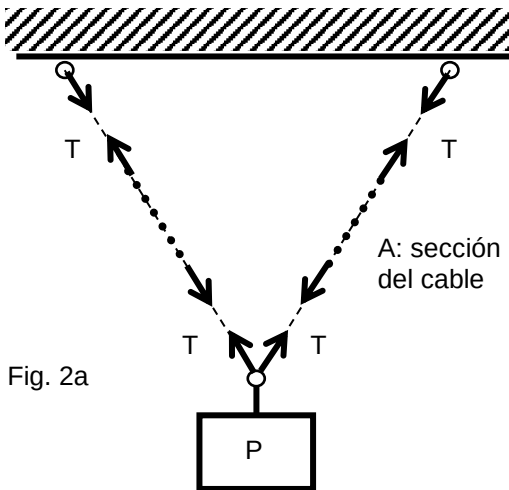
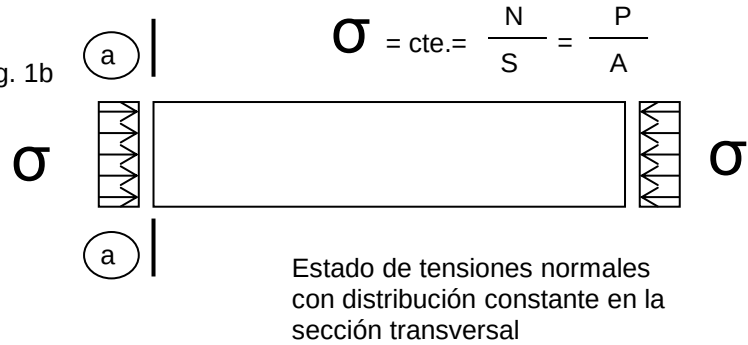


Fig. 2a

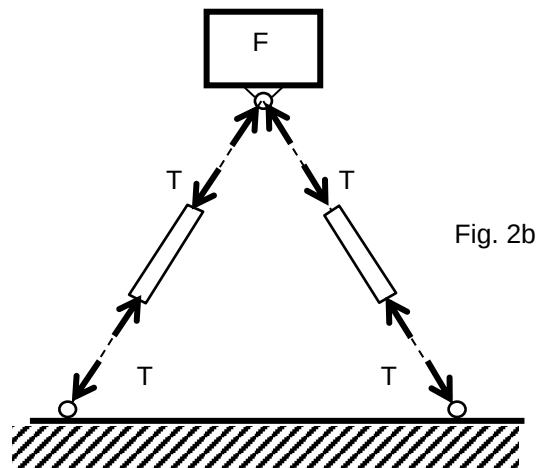


Fig. 2b

Dos cables flexibles o dos barras que sustentan una carga P (Fig. 2a) constituyen una estructura de tracción pura. En cambio para sustentar una carga superior F (Fig. 2b), necesariamente deben ser dos barras con resistencia a la compresión.

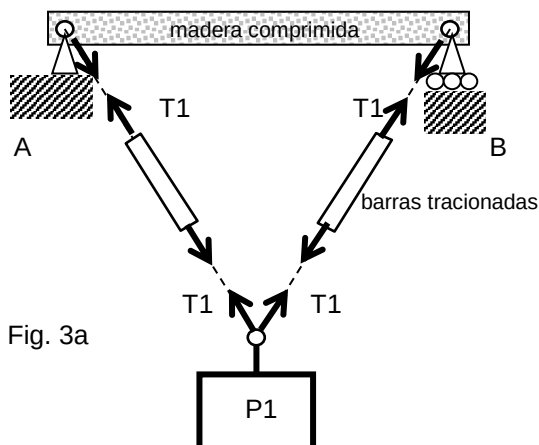
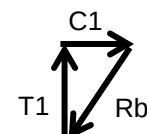
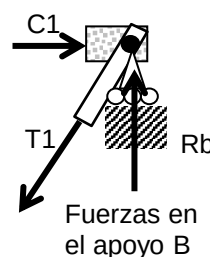


Fig. 3a

Otro tipo de estructura, en este caso triangular con barras traccionadas y elemento de madera comprimido Fig. 3a
Detalle de apoyo B Fig. 3b y polígono de fuerzas concurrentes cerrado (equilibrio) Fig. 3b



Polígono de fuerzas cerrado

Distintos tipos de estructuras con esfuerzos axiales

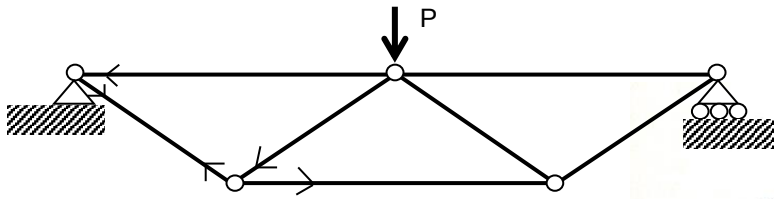


Fig.4 Estructura con diagonales traccionadas (las externas) y comprimidas (las internas)

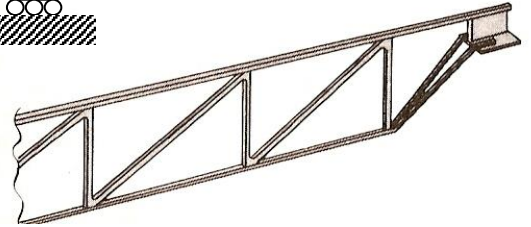


Fig. 5 Detalle constructivo

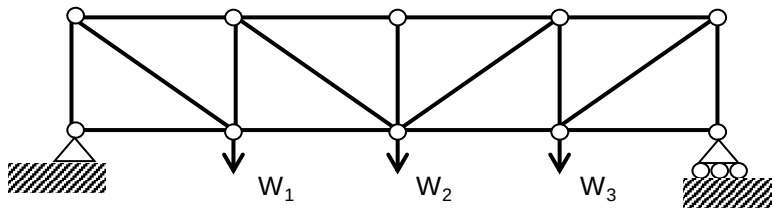


Fig. 6 Estructura con diagonales traccionadas

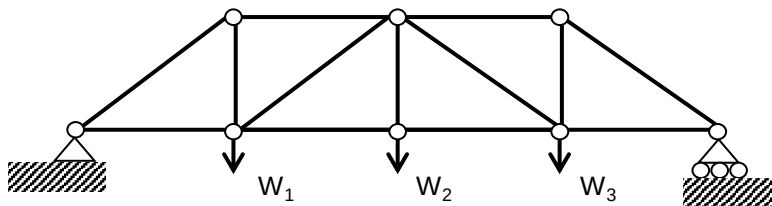


Fig. 7 Estructura con diagonales comprimidas

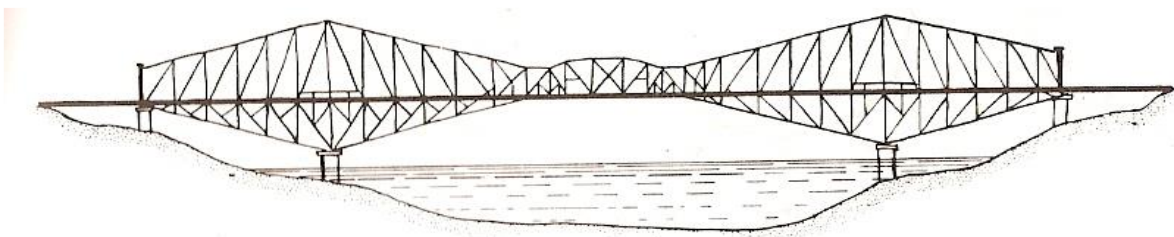


Fig 8 Armadura compuesta para un puente



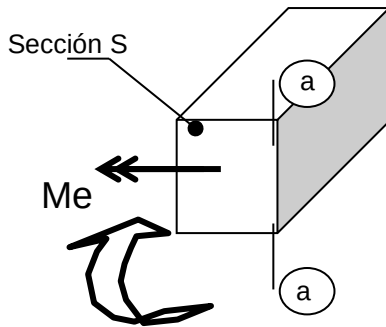
Fig. 9 Armadura con cordones paralelos. Se usan para cubrir grandes luces. Son estructuras livianas.

b) Solicitaciones de flexión

En secciones rectangulares:

$$\sigma_x = \frac{M_e}{J_x} y = \frac{M_e}{W_x}$$

Fig. 10a



Me: comprime las fibras superiores y tracciona las fibras inferiores

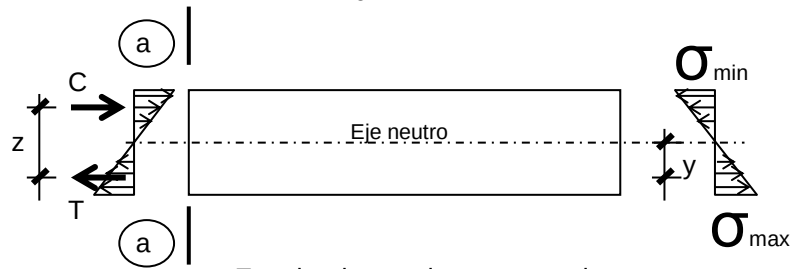


Fig. 10b

Estado de tensiones normales con distribución variable a lo alto de la sección transversal

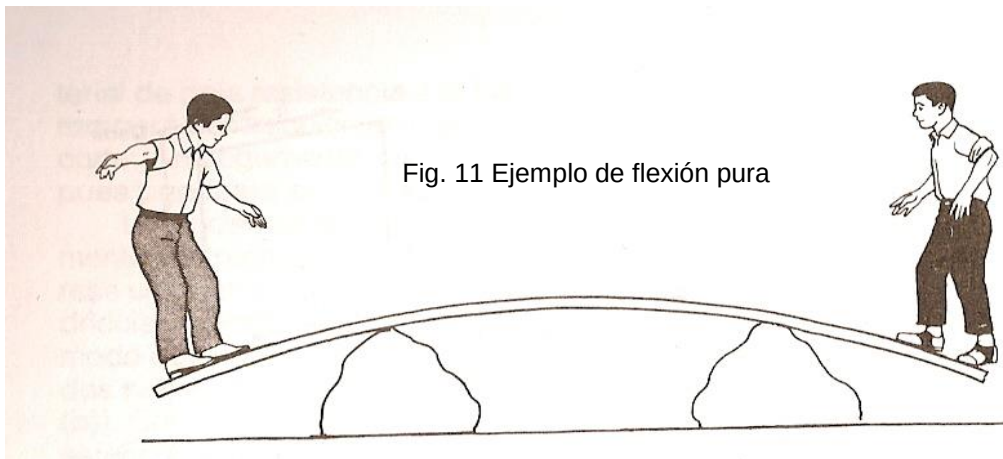


Fig. 11 Ejemplo de flexión pura

Si uno trazara líneas verticales espaciadas (a) sobre un lado del tablón, se observaría que estas líneas se abren en la parte superior y se agrupan en la parte inferior (b). La flexión induce tracción en las fibras superiores y compresión en las fibras inferiores.

La tracción y la compresión aumentan en la proporción directa a la distancia de las fibras a la fibra neutra o media. Principio de las secciones planas (antes y después de deformada). Navier

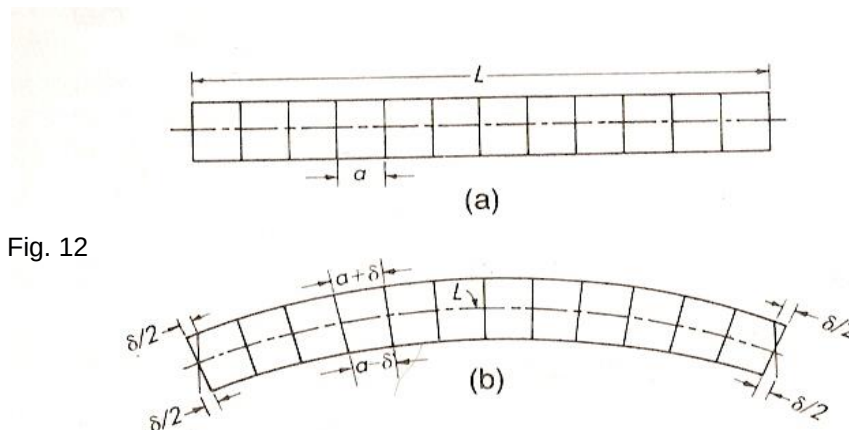
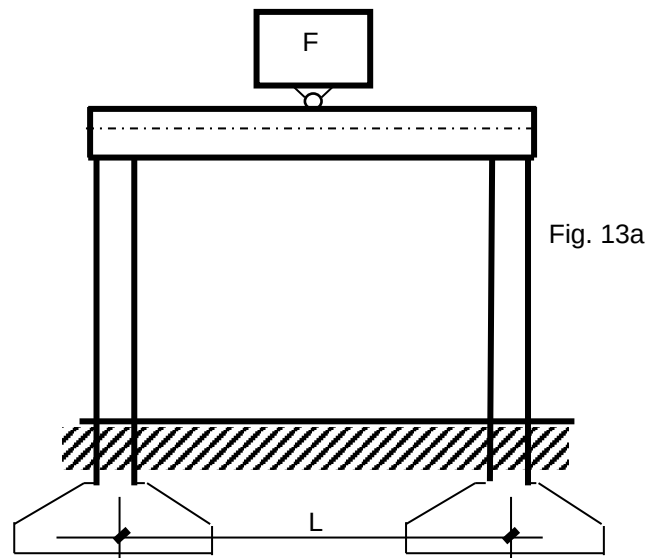
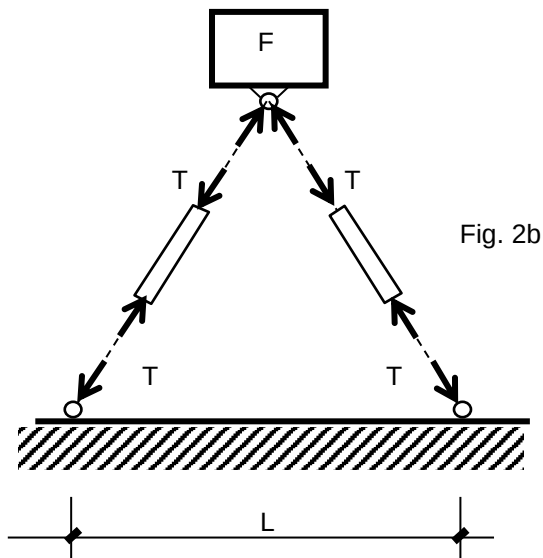


Fig. 12

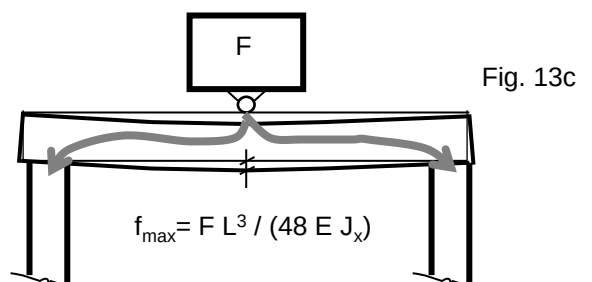
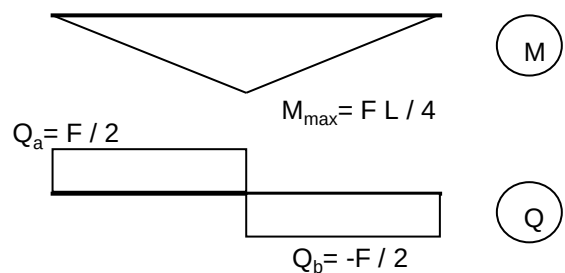
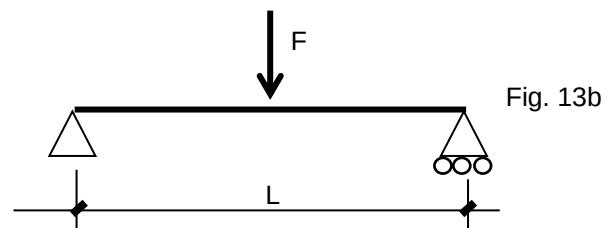
Si no podemos construir la estructura triangular de la Fig. 2b, tendremos que resolver el problema con otro tipo de estructura, por ejemplo una viga y columnas.



La viga simplemente apoyada transmite la carga F a las columnas y éstas a las bases, que constituyen los apoyos. Fig. 13a.

La transmisión de la carga desde el centro de la viga a los apoyos de la misma (columnas) se realiza a través de un mecanismo de flexión. Vimos que las tensiones normales son linealmente variables (cuando el mecanismo está lejos del colapso), que aparece una fuerza de compresión C , una fuerza de tracción T (Fig. 10b), ambas fuerzas iguales y contrarias (representativas del volumen de tensiones y ubicadas en sus baricentros) están separadas por una distancia z , que representa el brazo de palanca del momento interno.

A estas estructuras se las denomina flexionales. La viga ha sufrido una deformación (se ha flexionado), comprimiendo las fibras superiores y alargando las fibras inferiores para desarrollar el mecanismo reactivo que le permita resistir la carga. Fig. 13c.



Otra solución sería, por ejemplo con un pórtico (Fig. 15a). En este caso, por razones de diseño se reducen las secciones de los apoyos A y D, y convenientemente armadas se pueden considerar como articulaciones Fig 14 (momento nulo). De este modo generamos un pórtico de 1er. grado de hiperestaticidad. Aquí hay flexión en todas las barras y además está combinada con esfuerzo normal (flexocompresión) Fig. 15b.

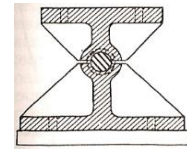
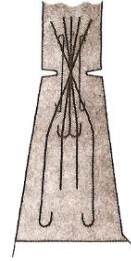
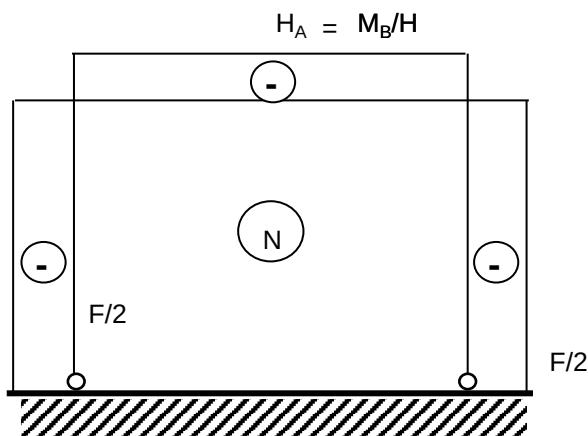
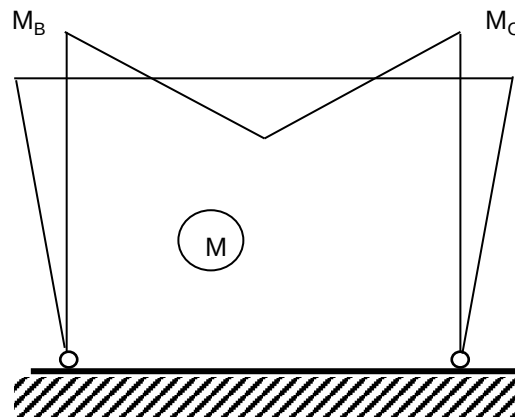
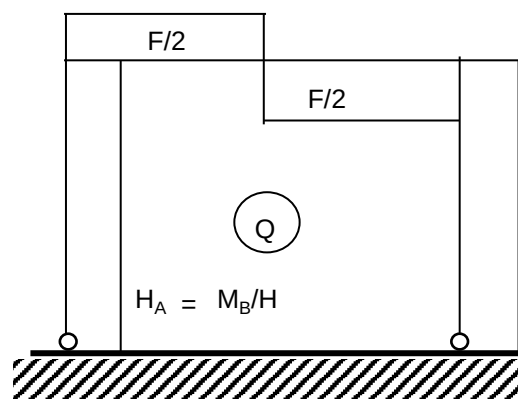
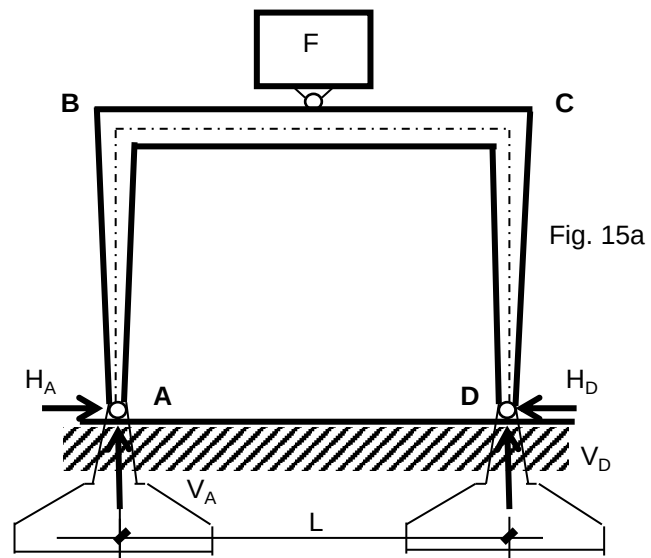
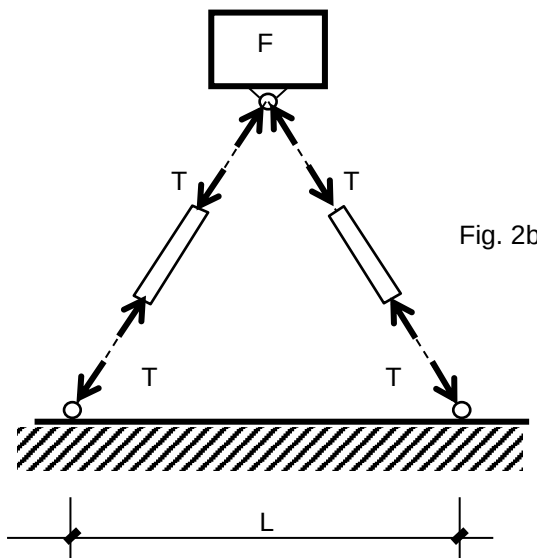
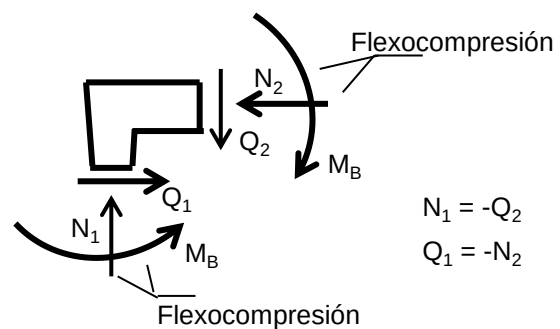


Fig. 14 Articulaciones de hormigón armado y de acero



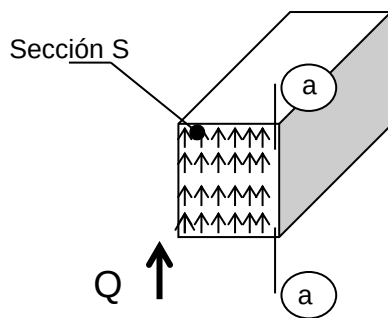
Equilibrio en el nudo B

Fig. 15b



c) Las solicitaciones de corte

Fig. 16a



En secciones rectangulares:

$$\tau = \frac{Q S_x}{b J_x}$$

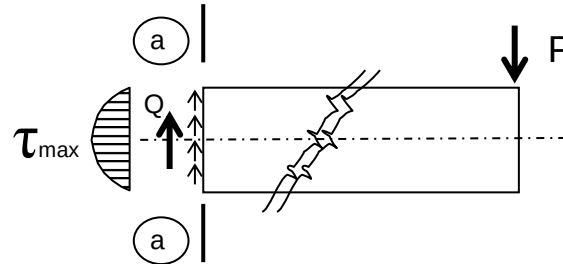


Fig. 16b

Estado de tensiones de corte
(derivadas de la flexión) con
distribución parabólica a lo alto
de la sección transversal

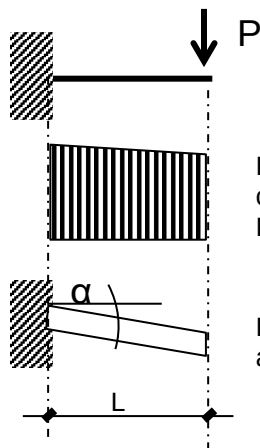


Fig. 17

Diagrama de corte
considerando peso propio.
Predomina la acción de P

Deformada exclusivamente
al corte

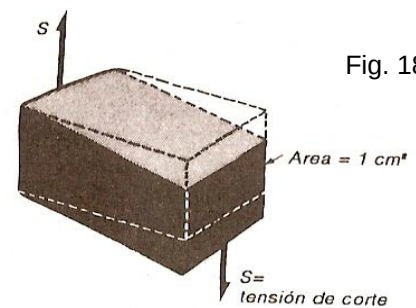
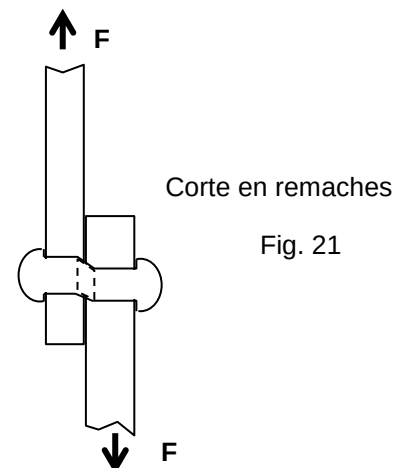
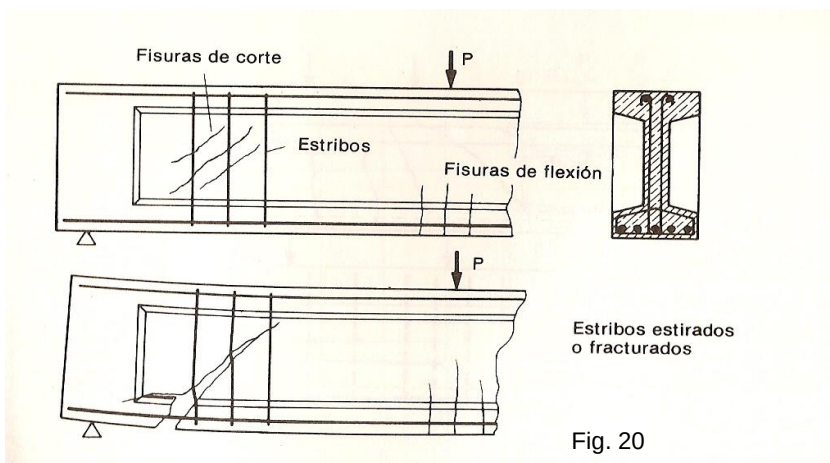
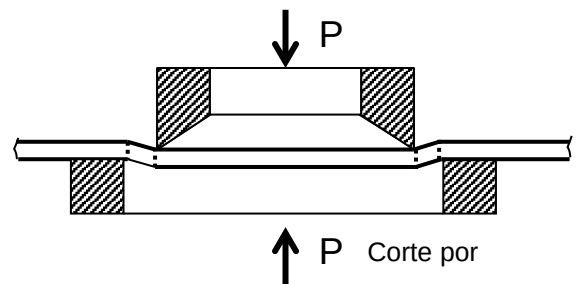
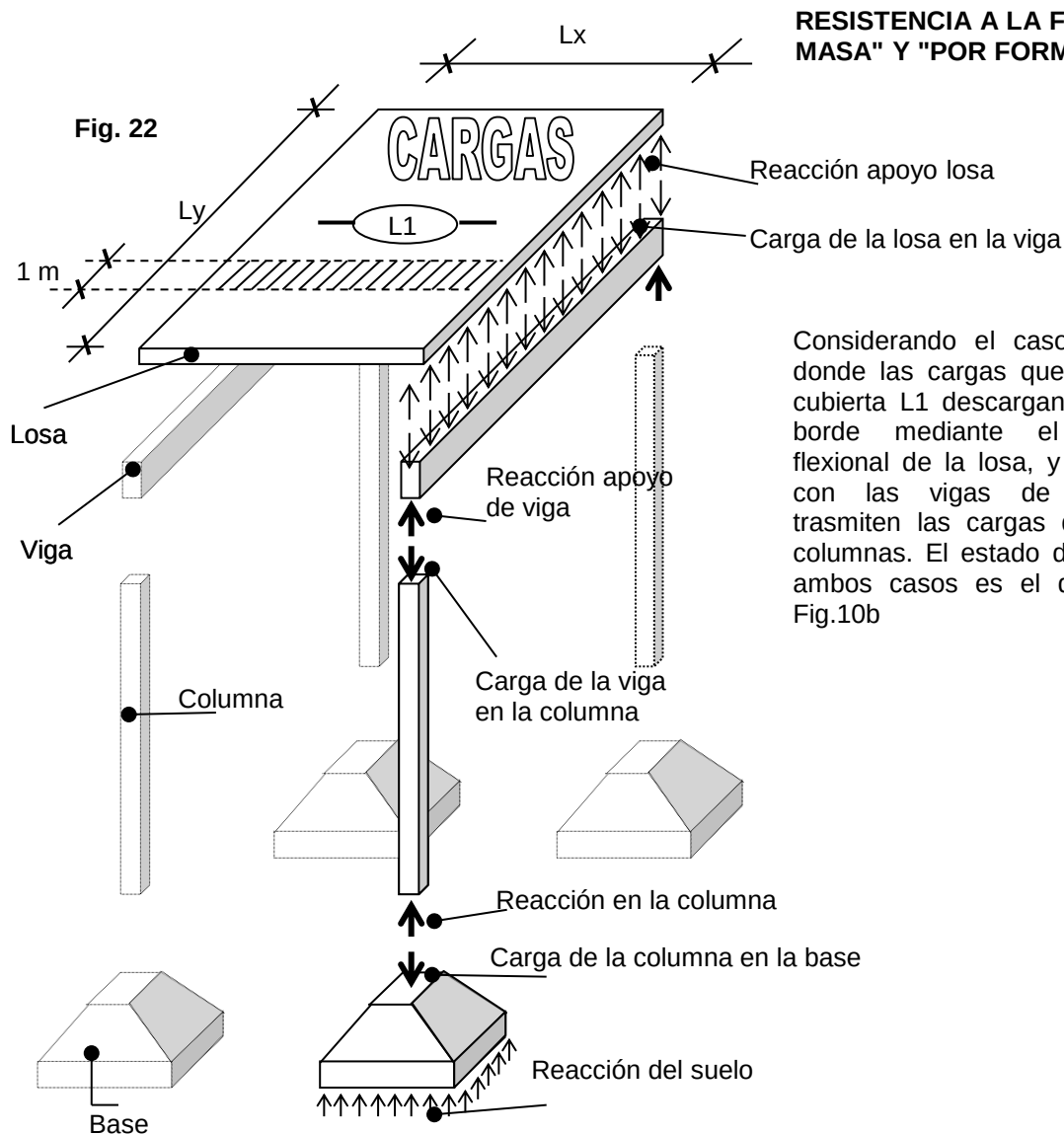


Fig. 18

Algunos casos de corte

En la Fig.20 se ve la rotura a tracción por corte,
en una viga con alma de poco espesor y débil
armadura de corte.



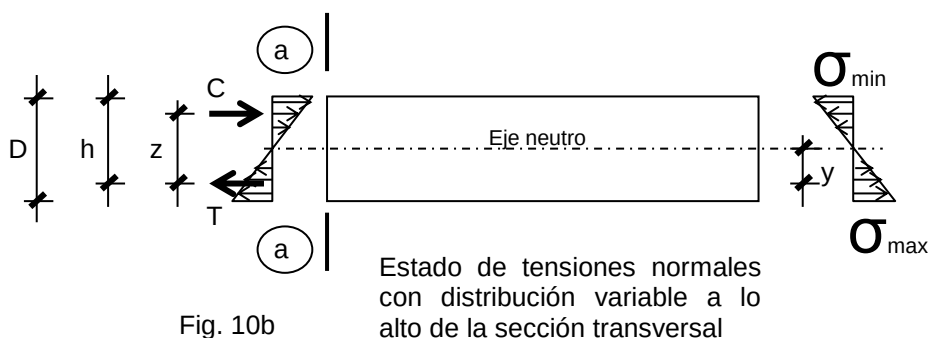


Considerando el caso de la Fig. 22, donde las cargas que actúan sobre la cubierta L1 descargan en las vigas de borde mediante el funcionamiento flexional de la losa, y lo mismo ocurre con las vigas de borde, cuando transmiten las cargas de la losa a las columnas. El estado de tensiones para ambos casos es el que vimos en la Fig.10b

En secciones rectangulares:

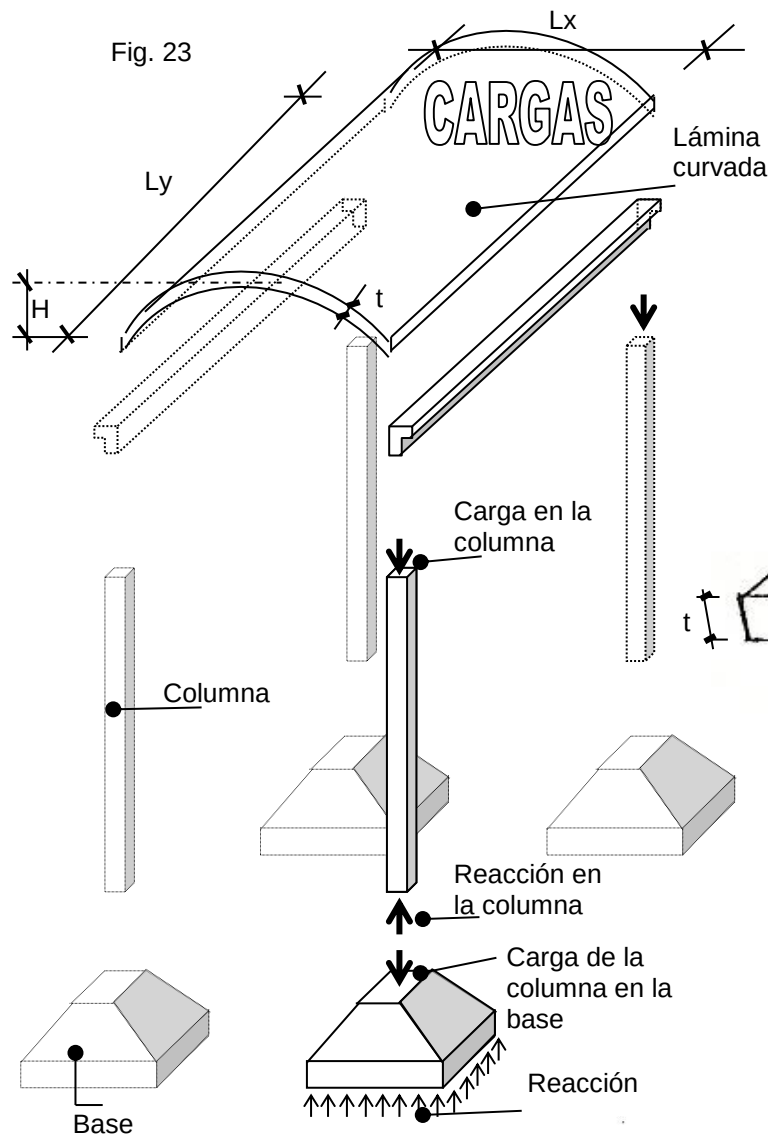
$$\sigma_x = \frac{M_e}{J_x} y = \frac{M_e}{W_x}$$

ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN



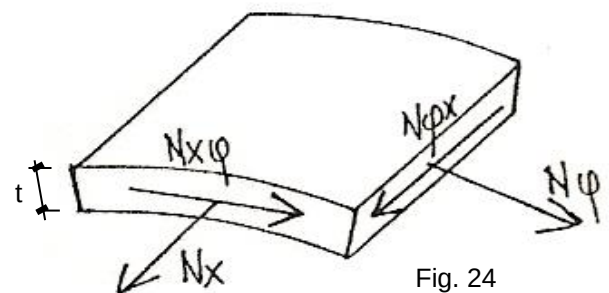
Los valores de σ_x son los valores de las tensiones normales debido a flexión. Son elementos flexionados, si bien también actúa el efecto de corte, pero en el centro de las luces, donde el momento flector es máximo, el corte es nulo.

ELEMENTOS QUE RESISTEN POR "MASA"



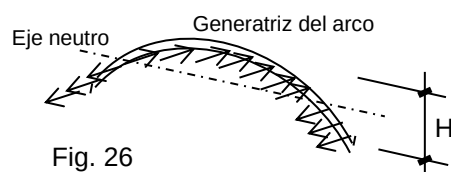
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN "POR MASA" Y "POR FORMA"

Si la estructura de la cubierta fuera una lámina curvada, tal como la de la Fig. 23, que se encuentra convenientemente fijada y rigidizada sobre las vigas de borde, veamos como son los esfuerzos internos.

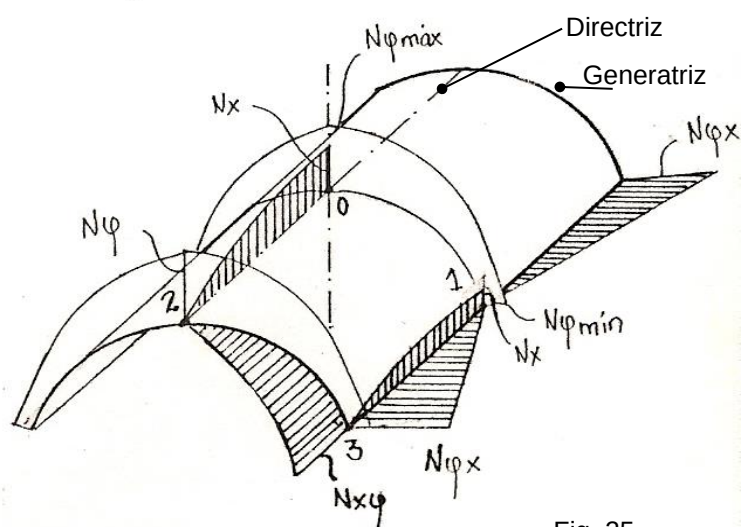


Los esfuerzos internos N_x , N_ϕ , $N_{\phi x}$, $N_{\phi x}$ se indican en la Fig. 24, y la variación de estos esfuerzos sobre la lámina curvada se ven en la Fig. 25

En particular, los esfuerzos generan tensiones normales σ de compresión en la porción central alta de la sección transversal y tensiones σ de tracción en las porciones inferiores. Fig. 26



$$N_x \text{ (kg/cm)} = \sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)} t \text{ (cm)}$$



N_x actúa sobre el eje medio de la sección transversal.

ELEMENTOS QUE RESISTEN POR "FORMA"

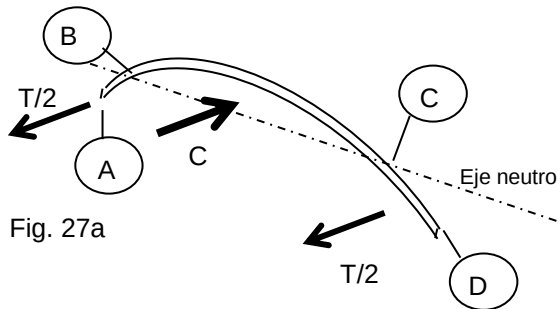


Fig. 27a

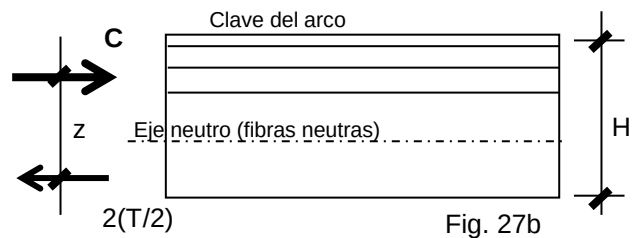


Fig. 27b

La fuerza de compresión **C** resulta la suma del esfuerzo N_x de compresión a lo largo del tramo B-C de generatriz

$$C = \int_B^C N_x ds$$

ubicada en un plano horizontal que pasa a alguna altura intermedia entre la clave y las fibras neutras (línea B-C)

Las fuerzas de tracción **T/2** resulta la suma del esfuerzo N_x de tracción a lo largo del tramo A-B y C-D de generatriz

$$T/2 = \int_A^B N_x ds = \int_C^D N_x ds$$

ubicada en un plano horizontal que pasa a alguna altura intermedia entre las fibras neutras (línea B-C) y los bordes (línea A-D)

Por equilibrio estático es **C = 2 (T/2)**

Los planos horizontales que contienen a dichas resultantes están separados verticalmente entre sí una distancia z (brazo elástico). Ambas fuerzas determinan un momento resistente interno de valor:

$$M_i = C \cdot z = 2 \cdot (T/2) \cdot z$$

que equilibra al momento flector generado por las cargas externas.

Vemos así que la lámina cilíndrica desarrolla un mecanismo resistente interno que coincide también con el concepto de funcionamiento flexional. En resumen, el funcionamiento de la lámina puede considerarse flexional, análogo al de una viga convencional.

La diferencia fundamental reside en el hecho de la constancia del valor de las tensiones normales σ a través del espesor. En cualquier sección, todas las fibras del espesor t están igualmente solicitadas, no habiendo fibras mal aprovechadas con tensiones inferiores a las máximas de la sección.

A las estructuras que satisfacen tal requerimiento se las considera como desarrollando un funcionamiento resistente determinante (en el ejemplo visto es un funcionamiento flexional) pero basado en la forma de la estructura y no en su masa. Los diagramas σ de ambas estructuras que responden al mismo concepto de funcionamiento flexional, se ve en la Fig.28

Otras estructuras de funcionamiento por forma son: (estructuras lineales) arco de compresión pura, vigas reticuladas, láminas plegadas; (estructuras superficiales) láminas de traslación sinclásticas, láminas de revolución rebajadas.

POR MASA

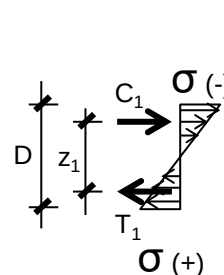


Fig. 28 a)

POR FORMA

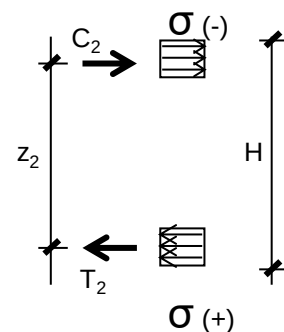


Fig. 28 b)

ESTRUCTURAS RESISTENTES POR FORMA

Es fácil advertir cómo la forma tiene que ver con la resistencia. En la Fig. 29, una hoja de papel que se sostiene en una mano se curva, incapaz de soportar su propio peso, pero la misma hoja de papel, doblada en un punto y con una ligera curvatura hacia arriba, soporta su propio peso y aún alguna carga adicional. La nueva capacidad portante no se obtiene aumentando la cantidad de material, sino dándole forma adecuada. La curvatura hacia arriba aumenta la rigidez y la capacidad portante de la hoja, pues dispone parte del material lejos del "eje neutro", con lo cual aumenta sustancialmente la rigidez a la flexión de la hoja.

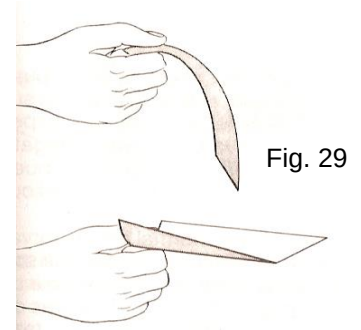


Fig. 29

Las cáscaras delgadas son estructuras curvas resistentes por la forma, suficientemente delgadas para no desarrollar tensiones apreciables de flexión, pero también suficientemente gruesas para resistir cargas por compresión y tracción. Las cáscaras delgadas permiten la construcción económica de cúpulas y otros techos curvos de formas diversas, de gran belleza y de excepcional resistencia mecánica.

Las superficies que constituyen las cáscaras pueden ser de simple curvatura o de doble curvatura. Las superficies cilíndricas, las conoidales, son superficies de simple curvatura, en cambio cuando ambas secciones principales son curvas, la superficie resulta de doble curvatura (Fig. 30)

La doble curvatura es positiva cuando los radios de curvatura de ambas secciones principales están del mismo lado (en el mismo hemisferio) y la estructura se llama sinclástica (del griego syn: con y klastos: corte); mientras que es negativa cuando los radios de curvatura están de diferentes lados (diferentes hemisferios), estructuras anticlásticas.

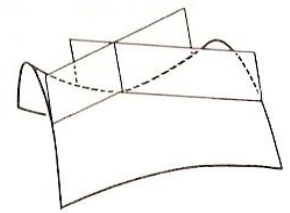


Fig. 30 Superficie en forma de silla de montar. Doble curvatura negativa. Estructura anticlástica

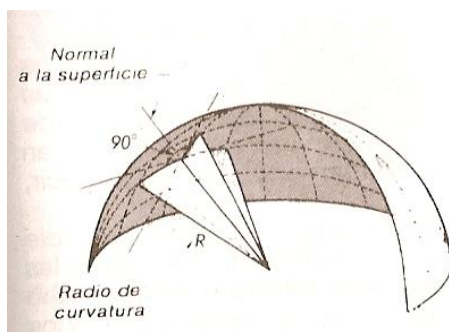
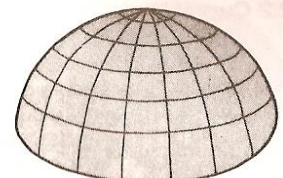


Fig. 31 Curvatura de una cúpula esférica

Cúpula: doble curvatura positiva. Estructura sinclástica



(a)

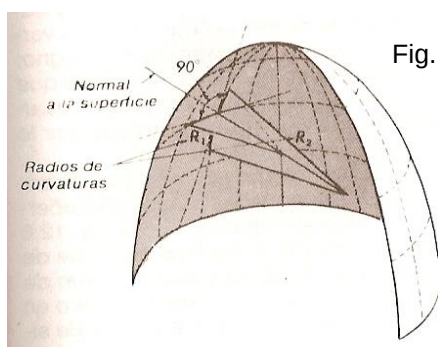
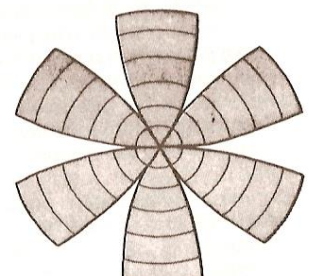


Fig. 32 Curvatura de una cúpula



(b)

Fig. 33 Desarrollo de una superficie sinclástica

Las estructuras superficiales delgadas se denominan membranas, que para todo fin práctico desarrollan solamente tracción. Buenos ejemplos de membranas lo constituyen un trozo de tela o de caucho. Las pompas de jabón se encuentran dentro de las membranas más delgadas que se puedan construir.

Aunque la membrana es una estructura resistente bidimensional no desarrolla tensiones apreciables de placa (flexión y corte), pues su espesor es muy pequeño comparado con la luz



Fig. 34 Membrana mínima



Fig. 35 Carpa de circo

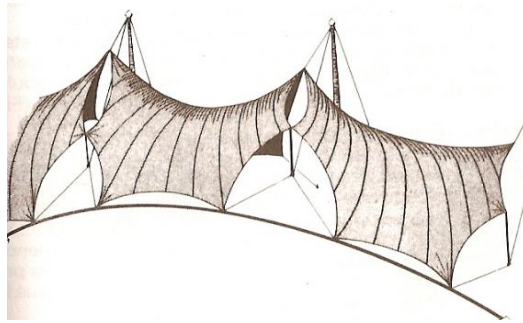


Fig. 36 Carpa sostenida por cables en el Estadio Olímpico de Munich, Alemania

No obstante la inconsistencia de las membranas respecto de la mayor parte de los estados de tensión, el ingenio humano ha hallado maneras y medios de utilizar membranas para fines estructurales, sobre todo debido a su bajo peso. La carpa de circo es una membrana capaz de cubrir decenas de metros, siempre que la tela cuente con adecuado sostén en parantes de compresión, estabilizados por riendas de tracción. Fig. 35

Frei Otto usó grandes carpas sostenidas por sistemas de cables sobre mástiles de compresión verticales o inclinados para construir pabellones, en el predio de los Juegos Olímpicos de Munich de 1972, en Alemania. Cubren 246.278 metros cuadrados, están sostenidos por nueve mástiles de hasta 79 metros de altura. Los cables sostienen losas translúcidas de Plesiglass, ligeramente coloreadas en color marrón grisáceo. Fig. 36

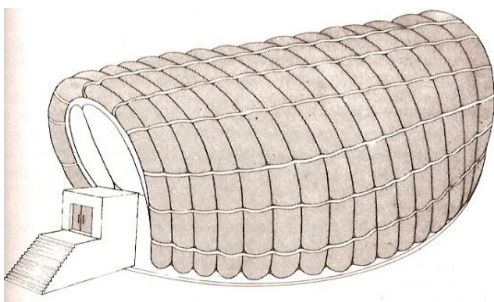


Fig. 37 Pabellón Fujii en la Feria Mundial de Osaka



Las membranas pueden pretensarse por presión interna (sólo cuando encierran completamente un volumen). Ellas constituyen estructuras neumáticas.

El Pabellón Fujii de la Feria Mundial de Osaka en 1970, diseñado por Murata, tenía un techo curvo de 49 metros obtenido por medio de tubos curvos inflados, de material plástico, en los que la presión interior podrá variarse para aumentar la estabilidad de la estructura con velocidades de viento crecientes. Fig. 37

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS SEGÚN LOS MATERIALES CONTITUYENTES

Responden a un enfoque histórico por sus aplicaciones y tecnológico en cuanto a sus características constructivas y campos de aplicación.

ESTRUCTURAS DE:		APLICACIONES MÁS USUALES
Madera	Natural	Tirantería en gral., cabriadas. Elem. de luces menores
	Laminada	Vigas, pórticos, arcos. Estruct. de luces significativas.
Mamposteía	de piedra	Muros, pilares
	de ladrillo cerámico	Muros, pilares, bóvedas, cúpulas
Acero Hormigón Simple Hormigón Armado Hormigón Precomprimido Mixtas		Estructuras resistentes de edificios, puentes, presas, tablestacados, pilotes.
Plásticos		Cubiertas colgantes, estructuras neumáticas.

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE SOLICITACIONES QUE GENERA EL MECANISMO RESISTENTE INTERNO

Responde principalmente a un enfoque del estado tensional interno, resultante del estudio analítico realizado en etapa de proyecto.

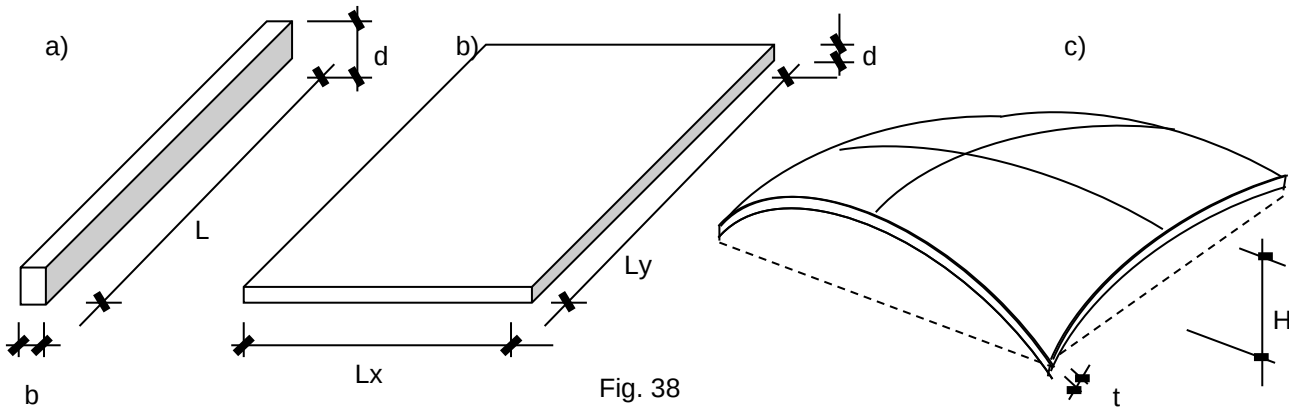
ESTRUCTURAS DE:	APLICACIONES MÁS USUALES
Tracción dominante	Tensores, péndolas, cuerdas colgantes parabólicas
Compresión dominante	Columnas, puntales, arcos, cúpulas rebajadas
Tracción y compresión	Estructuras laminares en general
Flexión dominante	Vigas, placas planas
Corte dominante	Mensulas cortas
Torsión dominante	Vigas balcón, vigas con aleros empotrados
Flexo-compresión	Elementos de estructuras aporticadas
Flexo-tracción	Paredes de tanques rectangulares altos

En general, los esfuerzos citados no existen en forma pura. Por ejemplo, el usual término "flexión pura", en la mayoría de los casos implica un estado en el que coexisten simultáneamente esfuerzos de flexión y corte (eventualmente también torsión y/o axiales), pero donde la flexión, por ser relativamente más importante que los otros esfuerzos, es la que determina las características del dimensionado de la estructura. Por tal motivo nos referimos en la clasificación anterior a "esfuerzos dominantes" (los que más influyen en el dimensionado) en vez de "puros" o "simples".

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FORMA GEOMÉTRICA GENERAL

Es ésta una clasificación de gran utilidad en cuanto a la comprensión del funcionamiento resistente de las estructuras, ya que en general, dicho funcionamiento está relacionado íntimamente con la forma. Otro parámetro que condiciona el funcionamiento resistente, es el tipo de vinculación.

Usualmente, distintas estructuras pertenecientes al mismo grupo de esta clasificación, desarrollan mecanismos resistentes basados en los mismos estados tensionales, y consecuentemente se pueden construir con los mismos materiales.



La dimensión altura (d) coincide con el espesor, sólo en las estructuras planas. Fig. 38 a) y b)

Estructuras lineales: Son aquellas en la que prevalece una dimensión frente a las otras dos, la longitud en este caso frente al ancho y al alto.

Dentro de estas estructuras podrían subdividirse en longilíneas, a aquellas en que el ancho y el espesor son despreciables (caso de hilos, alambres, cables, cadenas, flejes). La forma tiende a una línea pura y tienen rigidez exclusivamente a la tracción.

El otro grupo de estructuras lineales son las prismáticas, en las que el ancho y el espesor son pequeños pero no despreciables respecto a la longitud (caso típico de barras tales como columnas, vigas, arcos). Estas estructuras tienen rigidez a la tracción, compresión, flexión, corte, torsión.

Estructuras superficiales: Son aquellas en que el espesor es pequeño frente a las otras dos dimensiones, el ancho y la longitud. Estas últimas definen la superficie plana o curva llamado "plano medio". De acuerdo al grado de pequeñez se subdividen en membranas, donde el espesor es totalmente despreciable (caso típico de las telas, membranas plásticas, mallas de hilos o alambres). La forma tiende a una superficie pura y tiene rigidez exclusivamente a la tracción.

Otro grupo de estructuras superficiales son las láminas o cáscaras, donde el espesor es pequeño pero no totalmente despreciable. Estas estructuras tienen rigidez a la tracción y a la compresión pero no a la flexión, corte ni torsión.

Finalmente, el otro grupo de las estructuras superficiales son las placas, donde el espesor es pequeño, pero de un orden de magnitud relativamente importante a los fines estático-resistentes. Estas estructuras tienen rigidez a la tracción, compresión, flexión, corte, torsión.

De acuerdo al tipo de rigidez que pueda desarrollar la estructura será el tipo de esfuerzos internos que definen su mecanismo resistente.

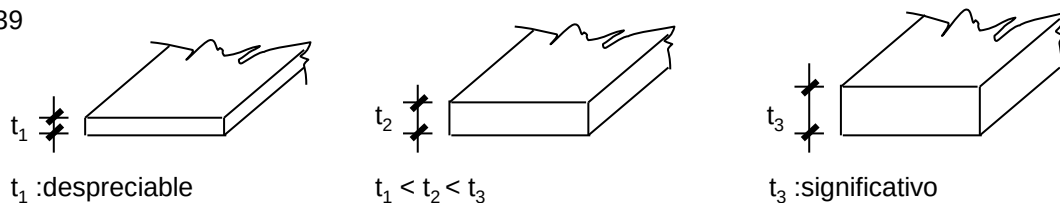
Así tenemos que:

Las estructuras longilíneas y las membranas sólo pueden resistir esfuerzos de tracción.

Las estructuras laminares (láminas o cáscaras) sólo pueden resistir esfuerzos de tracción y/o compresión.

Las estructuras prismáticas y las placas pueden resistir esfuerzos de tracción, compresión, flexión, corte y torsión.

Fig. 39



También hay que mencionar una subclasificación en función de la curvatura:

a) Las estructuras lineales (longilíneas o prismáticas) pueden ser de eje recto o de eje curvo.

b) Las estructuras superficiales (Membranas, láminas, placas) pueden ser de superficie media plana o curvas, y estas últimas de simple curvatura (cilíndricas, cónicas) o de doble curvatura (POSITIVA -estructuras sinclásticas- o NEGATIVA -estructuras anticlásticas-)

ELEMENTOS Y CONJUNTOS ESTRUCTURALES

Todas las estructuras descritas en las anteriores clasificaciones se refieren a elementos estructurales, entendiendo por tales a unidades resistentes individuales, las que eventualmente en combinación con otras unidades (similares o distintas) forman un conjunto estructural.

Así por ejemplo, las losas, vigas, columnas y bases son cada una de ellas elementos o unidades estructurales, cuya combinación forma el conjunto estructural (esqueleto resistente) de un edificio.

Veamos los siguientes ejemplos de análisis de los elementos individuales de algunos conjuntos estructurales, en función de las clasificaciones vistas.

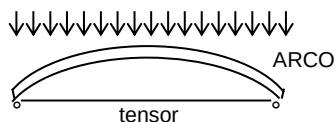


Fig. 40

1) Un arco atensorado cuya directriz coincide muy aproximadamente con el funicular de las cargas (Fig. 40) es un conjunto estructural compuesto por los siguientes elementos.

I_1) ARCO: estructura $\left\{ \begin{array}{l} I_{11}) \text{ de } H^\circ A^\circ \\ I_{12}) \text{ de compresión dominante} \\ I_{13}) \text{ lineal prismática curva} \end{array} \right.$

I_2) TENSOR: estructura $\left\{ \begin{array}{l} I_{21}) \text{ de } A^\circ \\ I_{22}) \text{ de tracción dominante} \\ I_{23}) \text{ lineal longilínea recta} \end{array} \right.$

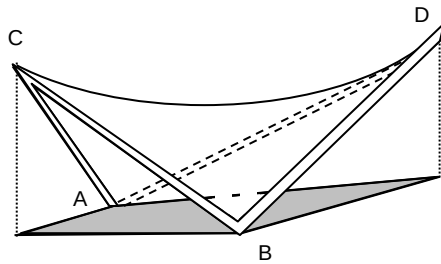


Fig. 41

II) Una cáscara en paraboloides hiperbólicos (Fig. 41) tiene barras rígidas rectas en los bordes AC, BC, AD y BD, estando apoyada en los puntos bajos A y B. Este conjunto estructural está compuesto por los siguientes

II ₁) LÁMINA EN SÍ: estructura	$\left\{ \begin{array}{l} II_{11}) \text{ de } H^0 A^0 \\ II_{12}) \text{ de tracción y compresión dominante} \\ II_{13}) \text{ superficial laminar curva anticlástica} \end{array} \right.$
II ₂) CADA BARRA DE BORDE: estructura	$\left\{ \begin{array}{l} II_{21}) \text{ de } H^0 A^0 \\ II_{22}) \text{ de compresión dominante} \\ II_{23}) \text{ lineal prismática recta} \end{array} \right.$

La inmensa mayoría de las estructuras son realmente conjuntos estructurales constituidos por la combinación de elementos estructurales. Todas las clasificaciones vistas valen en realidad para los elementos y no para los conjuntos, aunque es usual que el elemento más notable del conjunto por tamaño, funcionalidad, etc., (tal como el arco y la lámina en los ejemplos anteriores) haga que se clasifique al conjunto en función de sus propias características. Es importante recordar que todos los elementos de un conjunto son fundamentales para que se desarrolle el mecanismo resistente de éste. En particular para las estructuras superficiales laminares, los conjuntos están formados siempre por los siguientes elementos o unidades estructurales:

- lámina en sí
- barras de borde (rectas o curvas)
- apoyos (columnas, mástiles, tensores, fundaciones, etc.)

no pudiendo nunca analizarse el funcionamiento estructural de las láminas con prescindencia de sus elementos de borde, ni de éstos con prescindencia de sus elementos de apoyo.

LÁMINAS: Son aquellas en que la magnitud del espesor es intermedia entre las correspondientes a las membranas (despreciables, sólo admite esfuerzos de tracción) y a las placas (importante, admite esfuerzos normales de tracción y compresión, flexión, corte, torsión). A través del espesor de las láminas sólo pueden actuar esfuerzos normales de tracción y de compresión con valor constante, o sea distribución uniforme. (ver Fig. 28 b)

Caben algunos comentarios respecto de este grupo de tipos estructurales.

a) Se ha incluido en el mismo a las láminas plegadas, a pesar de que las diédricas presentan un funcionamiento estático-resistente de placas (basados en la flexión) en su dirección transversal, mientras que las poliédricas se superponen en las mismas direcciones un funcionamiento de placa con otro de láminas.

Aún cuando en rigor podrían ser éstos considerados como tipos híbridos entre placas y láminas, es usual que en ambos casos el trabajo como placa tenga menor importancia relativa que el trabajo como lámina, por lo que se las suele considerar como estructuras laminares.

b) Casi todas las láminas admiten variantes en cuanto a la continuidad de la superficie:

b1) Superficie continua: usualmente de $H^0 A^0$, eventualmente con utilización de la precompresión, en algunos casos cabe también el empleo de maderas, ladrillos cerámicos, chapas de acero, plásticos, etc.

b2) Superficies discontinuas: usualmente grillas de barras metálicas a una capa, o sea una sola superficie de barras.

c) Las láminas resisten fundamentalmente en base a su forma (trabajan "por forma"), por lo que es indispensable el mantenimiento de ésta.

c1) Las láminas de simple curvatura (cilíndricas, plegadas diédricas) son formas desarrollables, es decir que bajo cargas tienen tendencia al aplanamiento, por ejemplo una lámina cilíndrica como la de la Fig. 42 puede aplanarse totalmente llevando sus esquinas A-B-C-D a las posiciones A'-B'-C'-D'. En estos casos, para mantener la forma se debe recurrir siempre a la colocación de diafragmas rigidizadores llamados tímpanos. Fig. 43

Éstos tienen una segunda función, también fundamental, que es la de servir de apoyo a la lámina, descargando a su vez en las columnas o tabiques, es decir que la secuencia de descargas es: lámina, tímpano, columnas.

Fig. 42

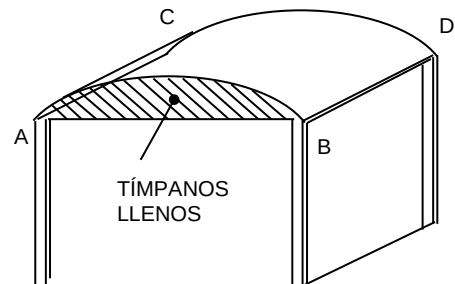
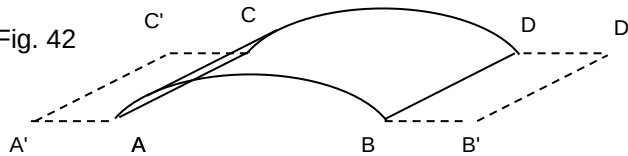


Fig. 43

c2) Las láminas de doble curvatura (positiva o negativa) no constituyen formas desarrollables. No obstante algunas presentan bordes que corresponden a intersecciones con planos verticales (los cuales delimitan la planta de la cubierta). Fig. 44 y 45

En estas estructuras se debe colocar imprescindiblemente rigidizadores de borde, también designados como tímpanos, cuya principal función es la de constituir los apoyos de las láminas descargando a su vez en las columnas.

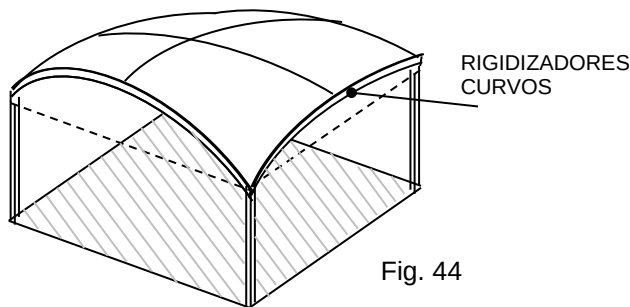


Fig. 44

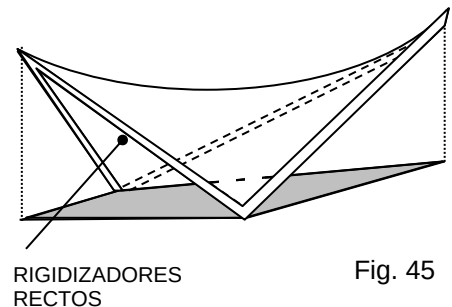


Fig. 45

c3) Los tímpanos de las láminas de $H^0 A^0$ también son del mismo material, pudiendo ser tabiques llenos o calados, vigas, arcos atensorados, pórticos de dintel recto o curvo, etc.

Los tímpanos de las láminas en grilla son usualmente cabriadas reticuladas también metálicas, cuyo cordón superior sigue la forma del borde a rigidizar. Fig. 46

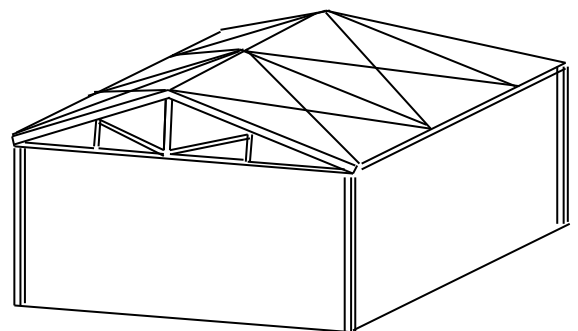


Fig. 46

d) Las láminas plegadas son estructuras constituidas como un conjunto de láminas o placas planas vinculadas monolíticamente entre sí a lo largo de aristas que se forman a lo largo de ángulos diedros. Frecuentemente, para asegurar el mantenimiento de la forma plegada, se agregan en determinados sectores de la misma, diafragmas planos (típanos)

Fig. 47

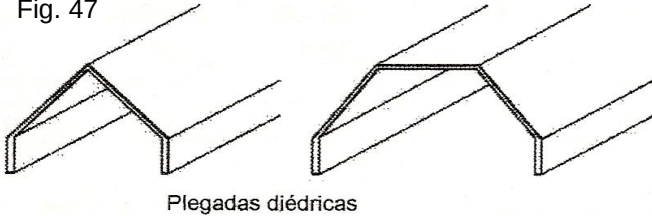


Fig. 48



Estas estructuras se destinan a proyectos de grandes luces, y que requieran superficies interiores parcial o totalmente libres de columnas, de acuerdo a las necesidades del programa o proyecto arquitectónico. El material que se utiliza para construirlas puede ser madera, acero, aluminio, u hormigón armado. Las de este último material son particularmente económicas, pues es posible preparar su encofrado con tabloncillos rectos, o bien preparar las losas de hormigón en el piso, izarlas hasta su posición y conectarlas soldando las barras transversales en el pliegue, con lo que se evita la mayor parte del encofrado.

La acción de la placa plegada es una combinación de viga transversal y longitudinal. Como la longitud es igual a muchas veces el ancho (Fig. 49a), las losas individuales desarrollan sólo acción de viga unidimensional, en la dirección de su ancho, es decir transversalmente.

Una franja ideal a través de la losa se comporta como una viga continua apoyada en los pliegues. Fig. 50a

Cuando la placa plegada apoya en pórticos extremos rígidos, los apoyos transversales que brindan los pliegues son perfectamente rígidos cerca de los extremos y flexibles hacia el centro. La franja transversal sobre apoyos rígidos o flexibles desarrolla reacciones en los pliegues; dichas reacciones pueden dividirse en componentes (tal como en una armadura de reticulado triangular) en los planos propios de las losas. Fig. 50b. Estas reacciones longitudinales se transfieren a los pórticos extremos por acción de las losas, que actúan como vigas rectangulares de gran altura. Así pues la carga se transfiere a los pliegues por medio de las losas actuando como vigas en dirección transversal y a los pórticos extremos por medio de las losas actuando como vigas en dirección longitudinal.

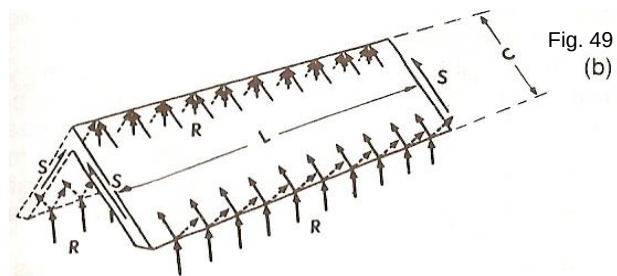
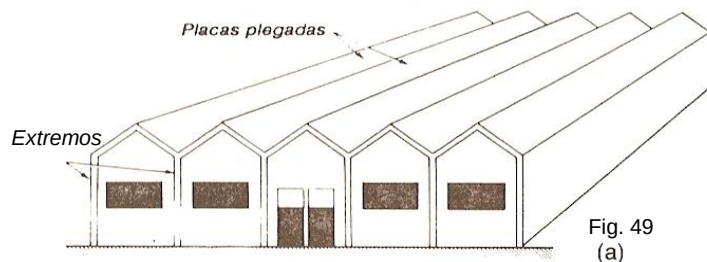
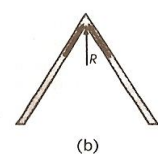
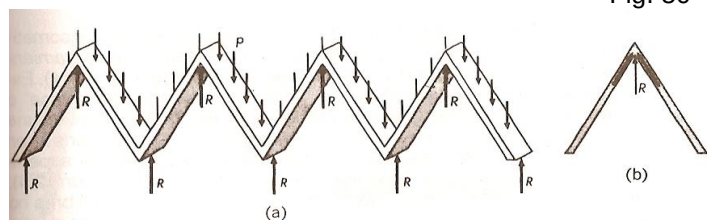


Fig. 50



CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS - CUADRO RESUMEN

