

# DISEÑO ESTRUCTURAL II

Carrera de **Arquitectura**

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo

UNIDAD 1

DISEÑO ESTRUCTURAL



Dr. Ing. Gonzalo S. Torrissi

2020

## 1- Resumen

La corrección en la propuesta estructural contribuye a la belleza de la arquitectura.

La diferencia entre una estructura y una escultura es que “la estructura” se construye para una finalidad definida, también identificada como la “función”.

La función primordial de “la estructura” destinada a edificios (estructura arquitectónica) es delimitar un espacio, es decir, definir volúmenes.

La utilidad de la estructura arquitectónica radica en delimitar el espacio para proteger de los agentes atmosféricos, aún cuando el cerramiento no sea completo. Por ejemplo: un techo en voladizo sobre una tribuna.

Se distinguen las siguientes cargas sobre la estructura: permanentes, útiles o de servicio, térmicas o de asentamiento y cargas dinámicas.

Las cargas más importantes en una estructura arquitectónica no tienen grandes variaciones en el tiempo y por ello se las denomina “estáticas”.

Los códigos y reglamentos establecen las cargas convencionales y más comunes. El proyectista debe determinar cuáles son las peores circunstancias que puedan presentarse durante su vida útil.

Es fundamental que el arquitecto conozca a fondo cuáles serán las cargas y la forma en cómo se combinan ya que sólo a él le cabe la responsabilidad de la resistencia del proyecto, aún cuando haya aplicado las cargas especificadas en los códigos.

Las cargas permanentes sobre la estructura arquitectónica están representadas por el peso propio de los elementos estructurales y las cargas que están constantemente aplicadas a ella.

Se debe conocer de antemano cuánto pesa el elemento estructural para saber cuál es la carga que se le debe aplicar para determinar sus dimensiones, lo cual constituye una paradoja. Para ello se utilizan algunas reglas simples o gráficos para poder predimensionar los diferentes componentes, aún antes de conocer las cargas.

El primer paso en el diseño estructural es el predimensionado que se obtiene a través de la experiencia de ejemplos anteriores, haciendo uso de la intuición y de reglas auxiliares.

La verificación de la resistencia y rigidez de una estructura es una operación enmarcada en el análisis estructural.

En muchos casos la carga permanente es la más importante de todas las cargas, sobre todo en estructuras de grandes luces.

La carga permanente se determina con facilidad una vez conocidas las dimensiones de los componentes y el material que lo constituye.

La determinación de los materiales (pesos, volúmenes), si bien es una tarea tediosa, es de fundamental importancia ya que el costo de la construcción está directamente ligado a la mano de obra y a la cantidad de material empleado.

Otra categoría de cargas son las denominadas cargas variables (en algunos textos se las indica como cargas útiles).

Las cargas variables incluyen las de uso y las atmosféricas.

Las llamadas cargas útiles o de servicio incluyen el peso de las personas, máquinas, accesorios, etc. Es la carga del destino de la construcción, y en particular, de cada local considerado.

Al ser tan variables y su determinación incierta, los códigos establecen valores promedios por metro cuadrado dependiendo del destino de cada local, por ejemplo dormitorios, baños, circulaciones horizontales, escaleras, depósitos, etc.

La carga de nieve depende de la zona de emplazamiento de la construcción y para ello existen mapas de zonificación para su determinación, (CIRSOC 104)

La determinación de la carga de viento sobre un edificio es algo más compleja que la de nieve. Depende de la velocidad del viento y de la ubicación geográfica por un lado, y de la forma y geometría del edificio por otro. Si bien la acción del viento es netamente dinámica, los códigos prescriben una acción estática equivalente expresada en presiones y succiones sobre las superficies expuestas del edificio.

Las acciones térmicas sobre las estructuras generan esfuerzos de dilatación o contracción debido al salto que pueda haber entre las temperaturas. Si la construcción tiene apoyos (vínculos) que el impiden el desplazamiento libre se generan esfuerzos en la estructura que son muy importantes.

Si la estructura cuenta con un apoyo móvil que permite el libre desplazamiento las acciones térmicas no tendrán efecto.

Los asentamientos de suelo uniformes (todos los apoyos descienden lo mismo) no ocasionan efectos adversos. Pero si un apoyo desciende (por deformación del suelo) más que otro, se generan esfuerzos en la estructura sin que hayan aparecido cargas adicionales.

Los asentamientos diferenciales introducen deformaciones y por ende esfuerzos adicionales en los elementos estructurales.

Las cargas que no tienen variación en el tiempo se las denomina "cargas estáticas".

Por el contrario a las cargas que tienen una rápida variación en el tiempo o se aplican en forma casi instantánea se las denomina dinámicas.

Las cargas dinámicas más importantes para las estructuras son: vehículos circulando, personas, sismo y viento.

Todas las estructuras se deforman bajo la aplicación de cargas y al desaparecer vuelven a su posición inicial. A esta propiedad se la conoce como elasticidad.

Las estructuras oscilan y el tiempo que tardan en una oscilación completa se conoce como período y se mide en segundos.

Una estructura rígida oscila con rapidez, mientras que una flexible lo hace más lentamente.

El período fundamental de una estructura es una mitad de la rigidez.

El tiempo de aplicación de una carga se mide por comparación con el período de la estructura.

Si el tiempo de aplicación de la carga es muy breve comparado con el período de la estructura, la carga provocará efectos dinámicos. (por ejemplo sismos)

En cambio si el tiempo de aplicación es prolongado, los efectos son estáticos (por ejemplo cargas permanentes).

El efecto de una carga dinámica puede ser el doble de una carga estática.

La torre Eiffel de Paris fue construida en 1889 con el objeto de atraer visitantes a una exposición con el objeto de celebrar el centésimo aniversario de la Revolución Francesa e iba a ser desmantelada al finalizar la exposición, pero se mantuvo y se convirtió en un símbolo de la ciudad.

La intuición es un proceso sintético que genera la comprensión repentina, directa, de ideas analizadas conscientemente durante un cierto lapso. Debe basarse en abundante experiencia previa y es necesaria su cuidadosa verificación.

Las experiencias prácticas de laboratorio son la mejor manera de la refinación de la intuición.

Como todas las acciones estructurales implican movimiento, los modelos conceptuales son los elementos más propicios para la presentación intuitiva de conceptos estructurales.

La matemática es la herramienta que nos permite describir el comportamiento físico de una estructura.

El arquitecto no debe ser un matemático, pero si desea expresarse a través de las formas estructurales, debe capacitarse en el uso de las herramientas para el análisis cuantitativo.

## 2- Introducción

Todo proyecto debe mantenerse en el tiempo, es por ello que necesita soportar cargas para poder realizar actividades de forma segura. El diseño estructural intenta dar respuesta a cuál es la estructura que se debe colocar para poder soportar las cargas y transmitir las de forma segura hacia el suelo de apoyo o fundación.

Existen distintos tipos de elementos estructurales para realizar el diseño estructural y cada uno de ellos es específico para una determinada función. Así por ejemplo, se encuentran los elementos que permiten que se desarrollen las actividades directamente sobre ellos, los encargados de recibir directamente las cargas como son las losas. Estas son las encargadas de transmitir las a otros elementos que generaran un camino, horizontal y/o vertical hacia el suelo. Es por eso que comienzan a aparecer vigas, columnas, tensores, muros, etc. Además, dado que hay una interacción con el medio ambiente, deben haber elementos específicos para soportar las cargas que producen los vientos y los sismos. Estos elementos por ejemplo son los muros, tabiques de hormigón armado, pórticos y triangulaciones.

### Ejemplos:

#### LOSAS



#### CUBIERTAS



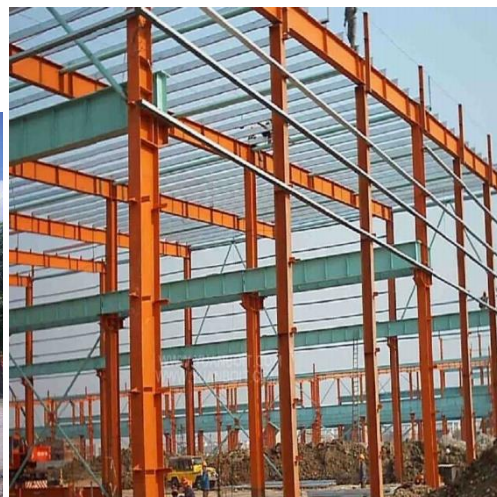




VIGAS



COLUMNAS



TABIQUES Y MUROS



PORTICOS



TRIANGULACIONES







A continuación se hará una breve descripción de los distintos elementos y la forma de darles una dimensión aproximada para que puedan cumplir en forma correcta su función. En principio, las dimensiones mínimas se consideran por cuestiones de resistencia y deformación.

### **3- Elementos estructurales para cargas verticales**

#### **2.1-Elementos planos horizontales**

El primer elemento que aparece en el diseño estructural es un elemento plano que, dependiendo donde se encuentre dentro de la estructura recibe distintos nombres. Es así que si este elemento separa el interior del exterior se denomina techo o cubierta y si solo divide espacios interiores se denomina entepiso o losa. Además, la cubierta o techo puede permitir el desarrollo de actividades, por ejemplo si es una azotea accesible.

Dado que son elementos que se extienden en superficie, las cargas que soportan son superficiales (fuerza/área). Estas cargas son debidas a su propio peso, a todo lo que se le coloca para desarrollar actividades (aislaciones, pisos, contrapisos, cielorrasos, etc) y a la carga de uso o viva (muebles, personas, etc)

Dependiendo de los materiales con los que se realicen pueden ser más pesadas o livianas. En edificios de mediana altura, las losas suelen ser de hormigón armado y dependiendo de sus dimensiones en planta (delimitadas por los elementos en que apoyan, ya sean vigas, muros, tabiques, etc) es el espesor que poseen. Por ejemplo:

L1=Longitud mayor

L2=Longitud menor

Apoyos continuos:

$L1/L2 \leq 2$   $h=L1/40$

$L1/L2 > 2$   $h=h2/30$

En voladizo:

$L1/L2 \leq 2$   $h=L1/20$

$L1/L2 > 2$   $h=h2/10$

En todos los casos  $h > 10\text{cm}$

Si las losas son prefabricadas las cargas las transmiten solo a dos elementos opuestos. Es por eso que siempre se apoyan respecto a su longitud menor y el espesor varía entre 18-25cm dependiendo del tipo de elementos que utiliza.

Si es una cubierta liviana, la misma suele ser un entablonado o chapa apoyada sobre elementos lineales colocados a una separación relativamente cercana llamados correas.

Correas de madera: apoyadas  $h=L/20$  en voladizo  $h=L/10$

Correas de acero: apoyadas  $h=L/20$  en voladizo  $h=L/10$

En general, estos elementos planos se apoyan en elementos lineales que se denominan vigas.

## 2.2-Elementos lineales horizontales

Estos elementos, denominados "vigas" son los encargados de recibir las cargas que se generan en las losas o cubiertas y transmitirlos a otros elementos, ya sean otras vigas o elementos verticales como columnas o muros.

Las vigas pueden ser de distintos materiales y se colocan por distintos motivos:

- Acortar las dimensiones de las losas
- Soportar cargas lineales superiores como muros divisorios (dinteles por ejemplo)
- Generar o enmarcar las aberturas en las losas
- Vincular elementos

Existen distintos tipos de vigas dependiendo de sus materiales, formas, vínculos y cargas que reciben. Entre ellas podemos distinguir las vigas principales que son aquellas que siempre apoyan sobre dos columnas o muros o tabiques, vigas secundarias, las que apoyan en un extremo en vigas y en el otro en columnas o muros o en vigas en ambos extremos, vigas terciarias, aquellas que reciben cargas menores. Además, esas vigas pueden ser de acero, madera u hormigón armado.



En general, las vigas principales reciben cargas mayores y tienen luces mayores a las secundarias y terciarias ya que son las encargadas de transmitir todas las cargas a los elementos verticales.

La elección de las dimensiones de las vigas depende del tipo de material.

**Hormigón armado:** apoyadas  $h=L/10$  en voladizo:  $h=L/5$   $b=h/3$   $b>20\text{cm}$

**Acero:** apoyadas  $h=L/15$  en voladizo:  $h=L/7$

**Madera:** apoyadas  $h=L/15$  en voladizo:  $h=L/7$

Siendo en todos los casos  $h$  la altura de la viga.

El ancho de las vigas en general se puede tomar entre  $h/2-h/4$  para hormigón armado y madera, y no menor a 20 cm para hormigón armado. Las vigas de acero en general son perfiles laminados con dimensiones fijas.

Tanto las losas como las vigas son los elementos principales para transferir cargas verticales.

### 2.3-Elementos lineales verticales

Estos elementos son llamados o denominados Columnas y su función principal es la transmitir las cargas verticales generadas por las losas y vigas al terreno.

Las dimensiones de estos elementos dependen fundamentalmente del comportamiento esperado ya que las columnas no solo pueden transmitir cargas verticales sino también pueden transmitir o resistir cargas horizontales producto del viento o acciones sísmicas. Es debido a esto que se distinguen elementos aislados o elementos que forman estructuras tipo "pórticos", junto a vigas vinculadas rígidamente.

Los materiales son al igual que en las vigas, hormigón armado, acero y madera.

Al momento de predimensionarlos, hay que considerar que los elementos de madera y acero sufren un fenómeno por el cual pierden su verticalidad llamado pandeo.

Hormigón armado:

- Solo compresión  $A = P_u / 1000$   
 $P_u = A_{\text{influencia}} \times n^{\circ} \text{pisos}$   
 $A = \text{área de la sección en m}^2 (b \times d)$   $A > 400\text{cm}^2 (0.04\text{m}^2)$   
 Dimensión mínima  $b > 20\text{cm}$   $d > 20\text{cm}$
- Formando pórticos  $b = L_{\text{viga}} \times h_{\text{piso}} / 40$   $b$  (m),  
 $L_{\text{viga}} = \text{Longitud de la viga en la dirección considerada (m)}$ ,  $h_{\text{piso}} = \text{Altura de piso (m)}$

Acero: Perfil  $> 200$

Madera:  $A = P_{\text{serv}} / 20$   $A = \text{área de la sección (cm}^2)$ ,  $P_{\text{serv}} = \text{Carga de servicio en kg}$ ,  $b > 20\text{cm}$

### 2.4-Elementos planos verticales

Si al momento de colocar columnas las dimensiones se incrementan es porque se debe cambiar el tipo de elemento. Además, si hay elementos “ciegos” planos verticales es lógico, cuando se puede, utilizarlos como elementos para soportar cargas. Es ahí cuando aparecen los muros y tabiques.

Estos elementos son láminas verticales que, al igual que las columnas, soportan cargas provenientes de losas, vigas, columnas u otros elementos.

Si los elementos son de hormigón armado, el espesor mínimo son 20 cm y su longitud mínima igual a 5 veces el espesor (para 20cm la longitud mínima es 100cm). Sin embargo, si son de mampostería encadenada, el espesor mínimo es de 18cm y la longitud mayor a 1.50m

Quedan excluidos acá los elementos de cerramientos livianos tipo durlock.

#### 4- Elementos estructurales para cargas horizontales

Como se mencionó antes, las estructuras no solamente deben soportar cargas verticales sino también cargas horizontales. Estas cargas son producto de vientos y sismos y lo que generan es una inestabilidad en la estructura. Debido a esto, es que se necesitan colocar elementos horizontales que mantengan a la estructura indeformable ante estas acciones.

Imaginemos por ejemplo una estructura con cuatro columnas formando un rectángulo, cuatro vigas superiores y una losa. Ante cualquier acción vertical, la losa le transmite las cargas a las vigas y estas se deforman y le transmiten las cargas a las columnas y finalmente estas al suelo. Sin embargo, ante una acción lateral, las columnas perderían verticalidad y caerían. Es por ello que se deben colocar elementos que brinden estabilidad para evitar esto. Los elementos que generan esto son los tabiques, muros y triangulaciones.

Además, se debe contar un área mínima de estructura para que las fuerzas generadas por las acciones laterales sean resistidas correctamente por los elementos dispuestos a tal fin.

A los efectos de predimensionar estas estructuras se dan las siguientes pautas:

##### a) AREA MINIMA DE ESTRUCTURA (Requerimientos reglamentarios mínimos)

*Si se utilizan pórticos de hormigón armado limpios y tabiques de hormigón armado*

$$A_{\min}=0.005 \times (A_p + A_s)$$

*Si se utiliza mampostería*

$$A_{\min}=0.025 \times (A_p + A_s)$$

$A_{\min}$ =área mínima de estructura en cada dirección.

$A_p$ =Área de la planta considerada

$A_s$ =Suma de todas las áreas de las plantas de los pisos por encima del considerado.

Ejemplo: Planta baja 100m<sup>2</sup> y planta alta 100m<sup>2</sup>: total=200m<sup>2</sup>

Estructura con tabiques de hormigón armado en X y mampostería en Y:

$A_{minX}=0.005 \times 200=1.0 \text{ m}^2$  (Si se consideran tabiques de 20 cm de espesor, se necesitan 5m de tabique en dirección X, por ejemplo, 2 tabiques de 2.5m)

$A_{minY}=0.025 \times 200=5.0 \text{ m}^2$  (si se consideran muros de 18cm de espesor, se necesitan 27.8 m de muros, por ejemplo 5 muros de 5.60 m)

**b) CONDICIONES A CUMPLIR**

- El área mínima se debe distribuir en al menos 2 elementos en cada dirección, queda prohibido colocar solamente un solo elemento con el área total.
- La estructura mínima debe ser continua desde la fundación hasta el último nivel.
- Un elemento nunca debe apoyar sobre uno de menor rango

Ejemplos:

1. un tabique (o muro) no puede tener un pórtico debajo, pero sí al revés.
  2. Un tabique no puede apoyar sobre uno de menor longitud pero sí al revés.
- La estructura debe estar preferentemente en la periferia de la planta y distribuida en forma simétrica respecto al baricentro de la figura que define la losa.
  - Los bloques de estructura deben tener una relación de lados (Longitud mayor de la planta / longitud menor de la planta) menor o igual a 4. Si excede este valor se deben separar utilizando juntas con separación 2.5cm por piso.
  - Coincidencia entre el CM (Centro de masas – similar al baricentro de la planta) con el CR (baricentro de las rigideces de los elementos).

5- Ejemplo de planteo estructural

**LOSAS MACIZAS**  
LE 10x10 con  $\phi=8@10$  en repartidor  $\phi=10$  en cm

**CORREAS MADERA**  
Cort: 3" x 8" Pino Parana  
separación 0.50 m  
módulo de 34"

**ESPECIFICACIONES**

Acero A60-420  
Hormigón H10.  
Resistencia, Compact. al Compresión 170 kg/cm<sup>2</sup>  
Comportamiento al Tracción 200 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia en Tracción y Compresión 2.4 en Tracción (habilit.)  
Resistencia en Tracción 1.5 cm  
Resistencia en compresión habilit. para Com (habilit. habilit.)  
Vigas y columnas a ser pintadas y protegidas de la oxidación.  
El 10% de los bordes de las vigas y columnas.  
Cada 10 días de obra se debe aplicar el tipo de fluido.  
Cada 10 días de obra se debe aplicar el tipo de fluido.  
Cada 10 días de obra se debe aplicar el tipo de fluido.  
Cada 10 días de obra se debe aplicar el tipo de fluido.

**OBRA: EJEMPLO VIVIENDA**  
**PROYECTAR: INC**  
**PROPIETARIO: HORMIGON 2**  
**DOMICILIO: FACULTAD DE INGENIERIA - UNIC**

**PLANILLA DE LOSAS PREFABRICADAS**

Ord.	L	Módulo	Tipos	Señal	Habit.	cc	p.p.	Módulo
Dist.	m	kg/m <sup>2</sup>	cm	cm	cm	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
L1	600	3.10	721	400/40	12.5	5	250	803
L2	600	1.95	270	400/40	0	12.5	5	250

En capa de compresión, cc, máx. 04.2@20cm

**PLANILLA BASES**

Base	Lx	Ly	H	Asx	Asy	sep	$\phi$
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
B1	3.0	1.5	0.8	8	8	12.5	10
B2	3.0	1.0	0.8	8	8	12.5	6
B3	3.3	1.0	0.8	8	8	12.5	6
B4	3.5	1.0	0.8	8	8	12.5	6
B5	0.7	0.7	0.8	8	8	12.5	6

**NOTAS:**  
EL MURO MAY SE ARMARA CON MORTERO TIPO 3 (1:CEMENTO:2:ARENA)

**VIGAS**

**COLUMNAS**

**PLANTA FUNDACIONES**

**PLANTA BAJA**

**PLANTA ALTA**

**ESTRUCTURA**  
CROQUIS DE UBICACION

ESCALA: 1:200

PROYECTAR: INC

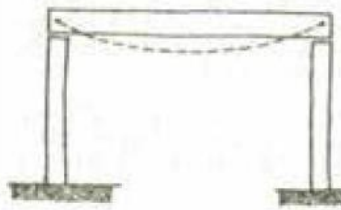
PROPIETARIO: HORMIGON 2

DOMICILIO: FACULTAD DE INGENIERIA - UNIC

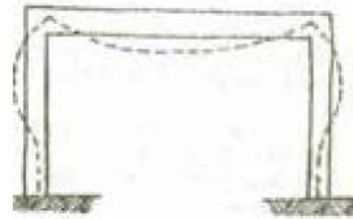


6- Continuidad

Las estructuras pueden ser continuas o discontinuas. Una estructura es continua cuando está formada por una sola pieza y discontinua cuando se arma con piezas separadas



Viga simplemente apoyada sobre columnas



Viga aporticada empotrada en columnas

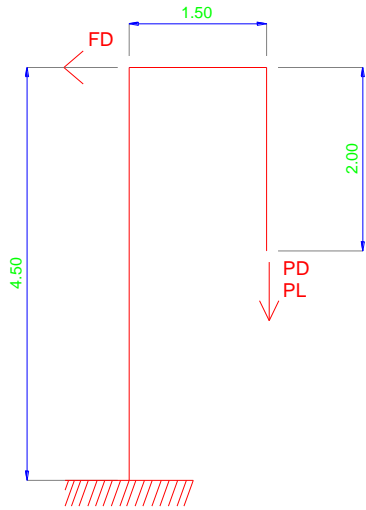
En el primer caso las deformaciones de la viga no son tomadas por las columnas. Es decir, las columnas no participan de los sucesos de la viga. Son elementos independientes. Lo único que se transmiten son cargas.

En el segundo caso la unión entre viga y columnas es rígida y las deformaciones entre ambas se transmiten en su totalidad. Existe participación permanente entre ambos elementos tanto con las solicitaciones como con las deformaciones.

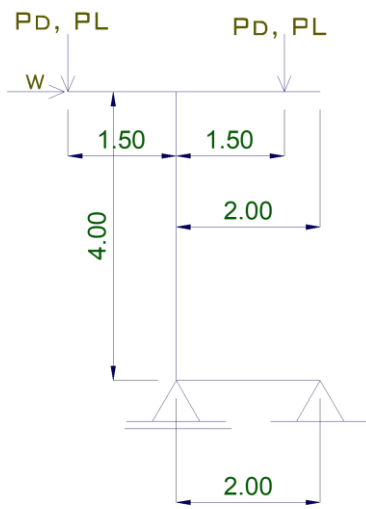
SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ISOSTÁTICO	FACILIDAD EN LA DETERMINACIÓN DE SOLICITACIONES	MAYOR DEFORMABILIDAD Y POR LO TANTO:
	FACILIDAD EN EL CÁLCULO	
ISOSTÁTICO	FACILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	MAYOR CANTIDAD DE MATERIALES PARA ADECUARLOS A LAS DEFORMACIONES Y SOLICITACIONES ACTUANTES
	ES ACONSEJABLE CUANDO LOS SUELOS SON ALTAMENTE DEFORMABLES, O NO EXISTE SEGURIDAD TOTAL DE SU ESTABILIDAD Y FIRMEZA, YA QUE AL POSEER ARTICULACIONES, SON MÁS DEFORMABLES QUE LOS RÍGIDOS O HIPERESTÁTICOS.	
	<p>situación teórica      situación real</p>	
HIPERESTÁTICO	MENOR DEFORMABILIDAD.	DIFICULTAD EN LA DETERMINACIÓN DE SOLICITACIONES
	MEJOR DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS INTERNOS. POR EJEMPLO EN UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO, CON LA MISMA SECCIÓN DE VIGA SE TOMAN ESFUERZOS DE TRACCIÓN EN LOS TRAMOS Y TAMBIÉN EN EL APOYO. EL RESULTADO ES UNA MAYOR ECONOMÍA EN LAS ESTRUCTURAS SOPORTES.	DIFICULTAD EN EL CÁLCULO
		DIFICULTAD EN LA CONSTRUCCIÓN
		NO SE RECOMIENDA CUANDO LOS SUELOS SON ALTAMENTE DEFORMABLES, O NO EXISTE SEGURIDAD TOTAL DE SU ESTABILIDAD Y FIRMEZA
	<p>situación teórica      situación real</p>	

A continuación, se deja una serie estructuras para que el alumno resuelva.

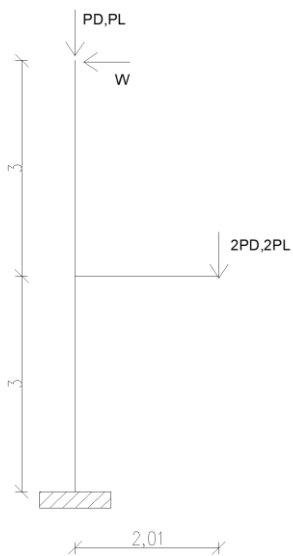
PD=55 kN PL=5 kN FD=5 kN

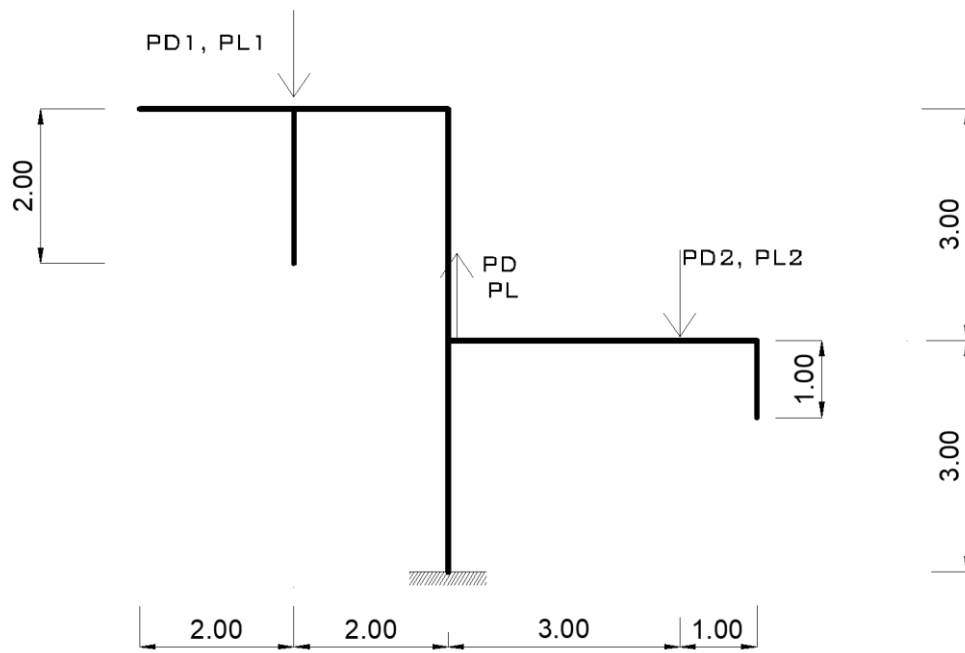


PD=55 kN PL=55 kN W=80 kN



PD=60 kN PL=30 kN W=120 kN





PD1=85 kN    PL1=5 kN    PD2= 5.5 t    PL2=0.5 t    PD=PD1+PD2    PL=PL1+PL2