



TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá – Contruc. 2007 a 2012



Diseño arquitectónico
PINZÓN LOZANO & ASOCIADOS

Diseño estructural
LUIS GARCÍA DUTARI Ing. civil

Ubicación: Calle 50 Bellavista, Panamá

Uso: Torre corporativa de oficinas

Área: 50.500 m² construidos

Altura: 230 m

Número de pisos: 52 + 4 sótanos

TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá

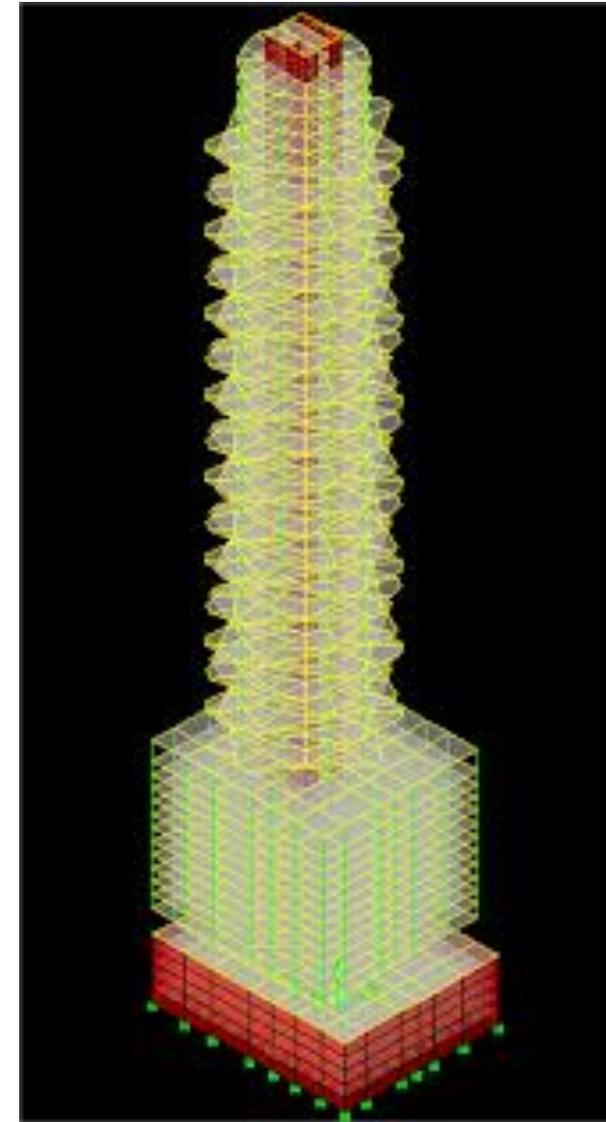
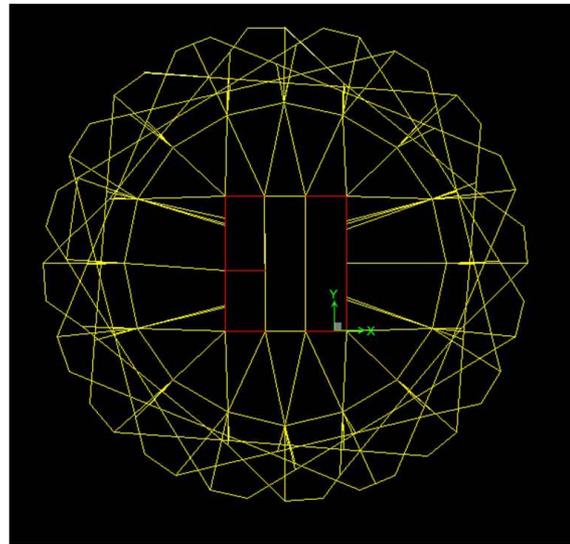
Sistemas Estructurales Pretensados

Generalidades estructurales:

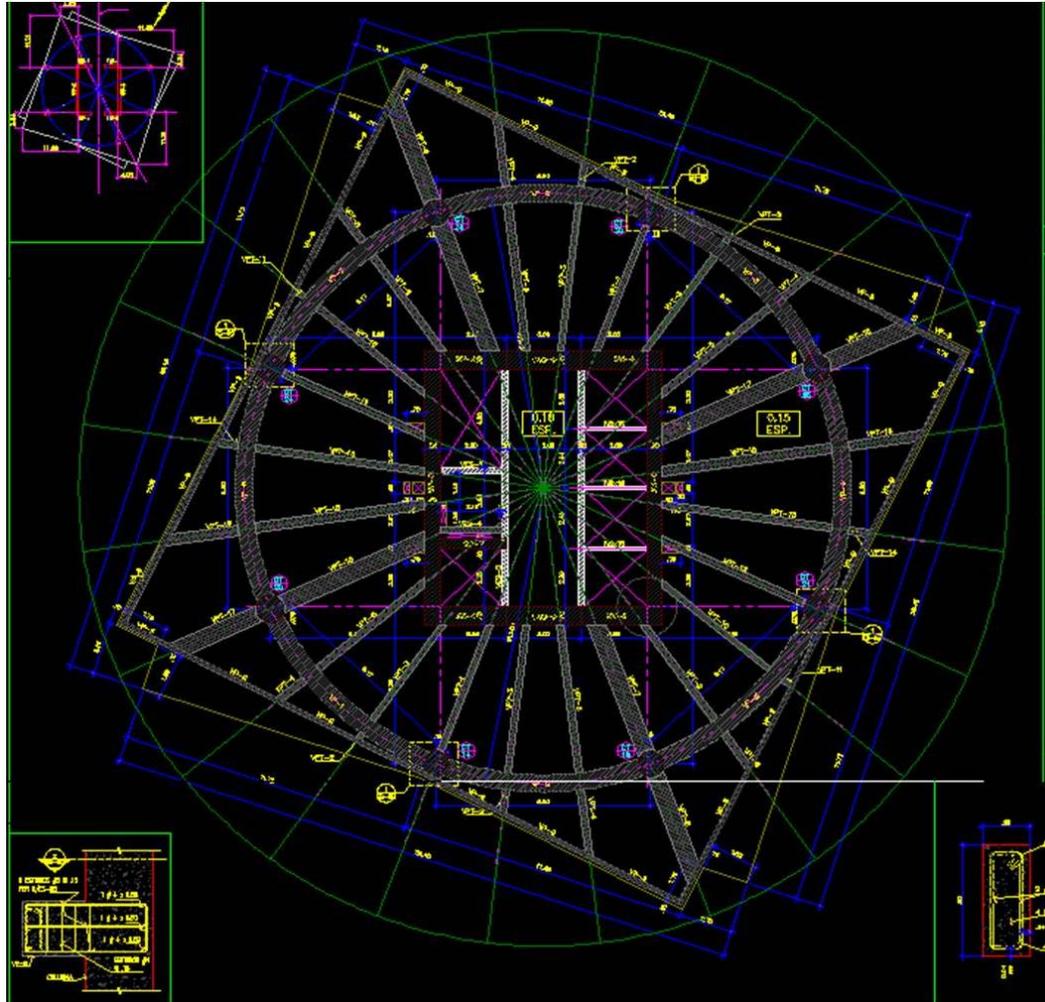
La característica principal es que treinta y dos pisos rotan sobre el eje central de la torre.

Núcleo central de muros portantes en hormigón armado, y ocho columnas circulares unidas por vigas de hormigón parcialmente postesado que forman una circunferencia centrada con respecto al eje del edificio.

Los pisos del sótano son de hormigón armado. Los pisos de estacionamientos superiores y los primeros 4 de oficinas, son de losas postesadas apoyadas en columnas.



TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá



La parte que rota del edificio está compuesta por viguetas de hormigón postesado que soportan una losa de hormigón armado. Estas viguetas son radiales, con respecto a la circunferencia de la viga circular del piso, y siempre están en la misma posición, cambiando de longitud para formar el efecto de torsión del borde de la losa de la fachada. Finalmente la punta es de acero estructural.

TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá

Sistemas Estructurales Pretensados



TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá



TORRE F&F (REVOLUTION TOWER - EL TORNILLO) Ciudad de Panamá

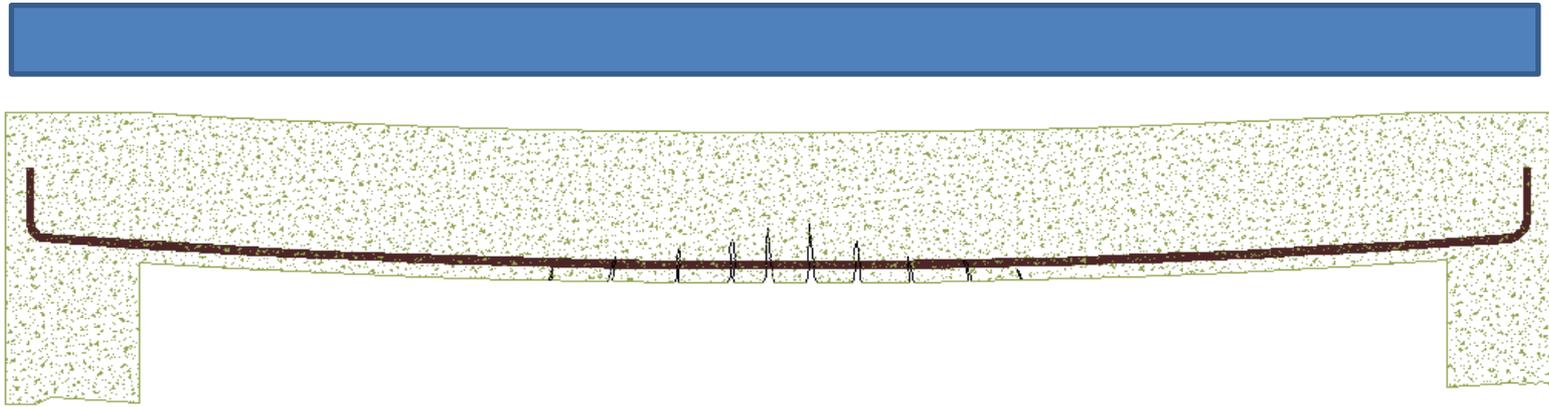
Concepto general de pretensado

Pretensar = Otorgar tensión previa



fundamentos de su funcionamiento estructural

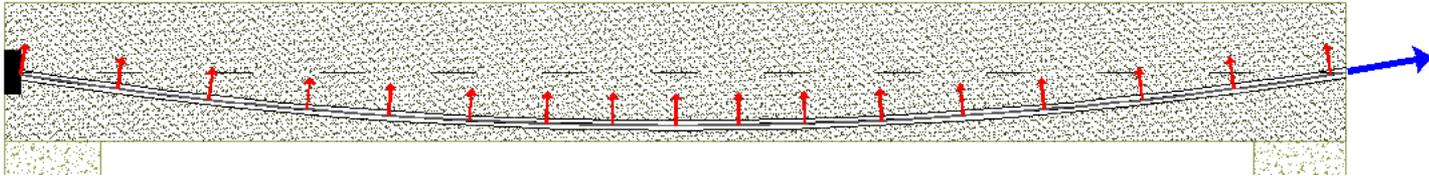
En una viga de Hormigón armado con carga uniforme



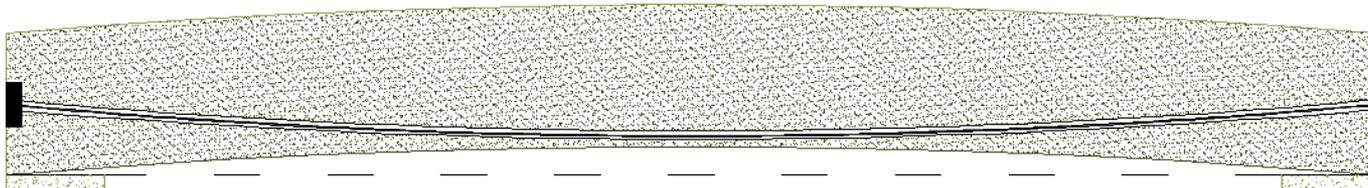
Las armaduras principales absorben la tracción por flexión, formando con el hormigón una pieza única. Debido a la adherencia entre ambos materiales, no hay deslizamiento relativo entre ellos, estando el hormigón que recubre las barras también sometido a tracción. Como no puede acompañar a éstas en su alargamiento, aparecen entonces las fisuras, que aparecen “cosidas” por el acero.

Hormigón Pretensado = Hormigón Precomprimido

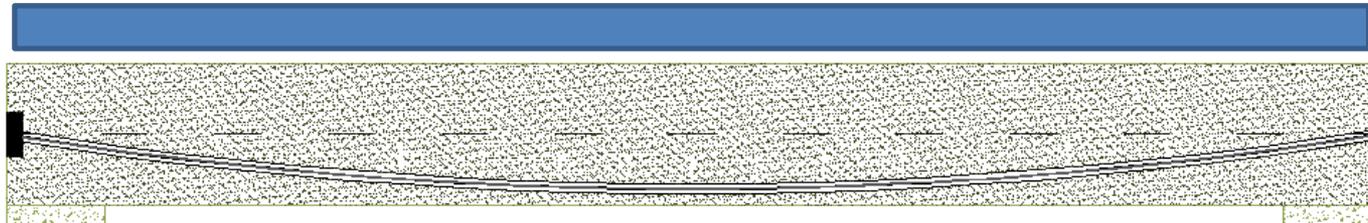
Se introducen fuerzas en el elemento estructural que provocan un estado tensional opuesto al de trabajo (tensando un cable de acero se logran compresiones en la masa de hormigón donde luego existirán tracciones).



Así, previo a su entrada en servicio, la viga sufre una curvatura opuesta a la que recibirá por acción de las cargas



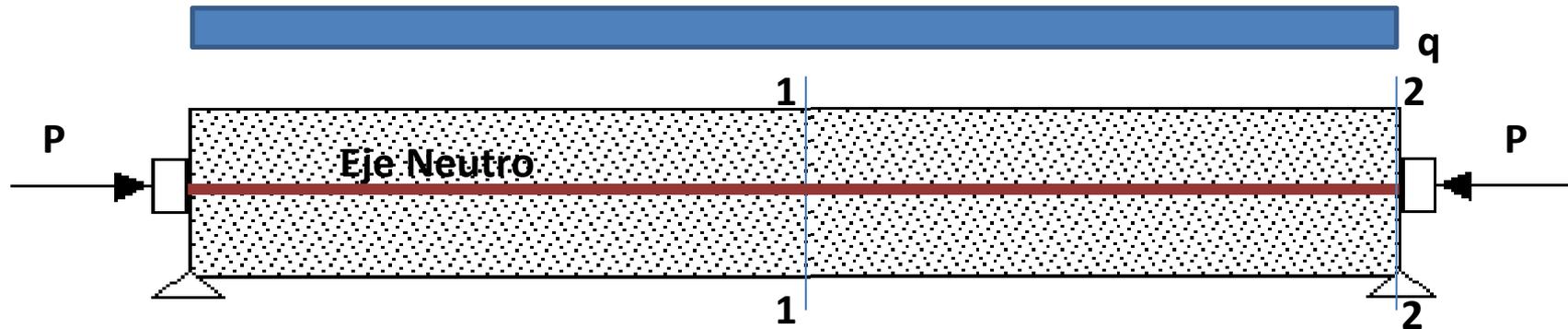
Al recibir éstas, en la zona donde habría tracciones la viga deberá “descomprimirse” primero, evitando así la formación de fisuras bajo acciones de trabajo



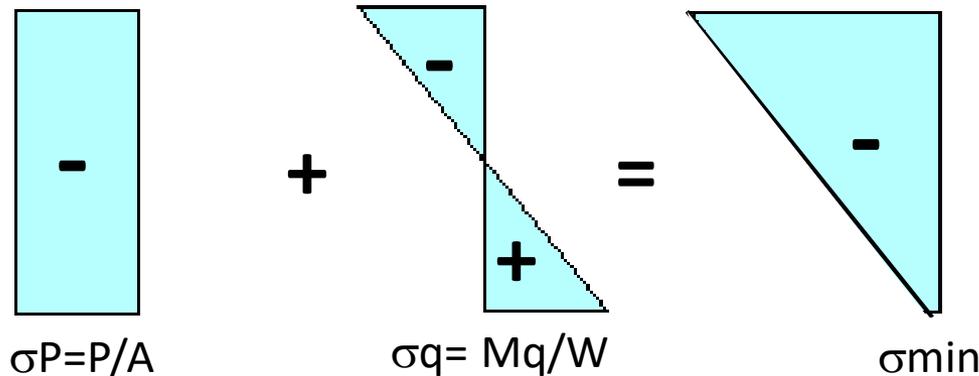
Estados Tensionales

Según la ubicación de las fuerzas de pretensado respecto del eje neutro de la pieza podemos distinguir los siguientes estados tensionales:

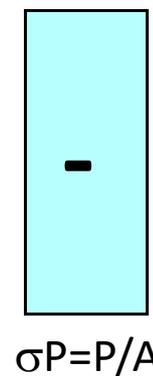
I – Precompresión Recta en el Eje Neutro



Sección 1-1

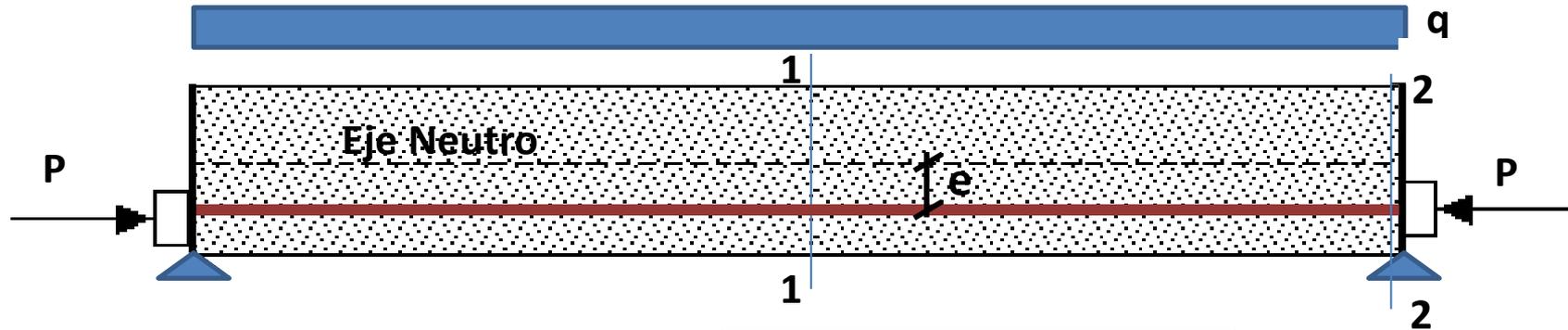


Sección 2-2



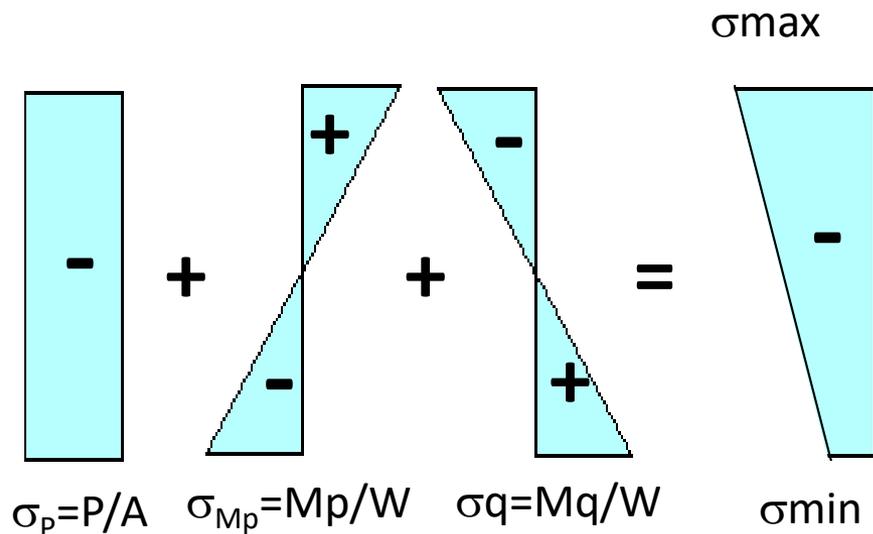
Sistemas Estructurales Pretensados

II – Precompresión Recta por debajo del Eje Neutro

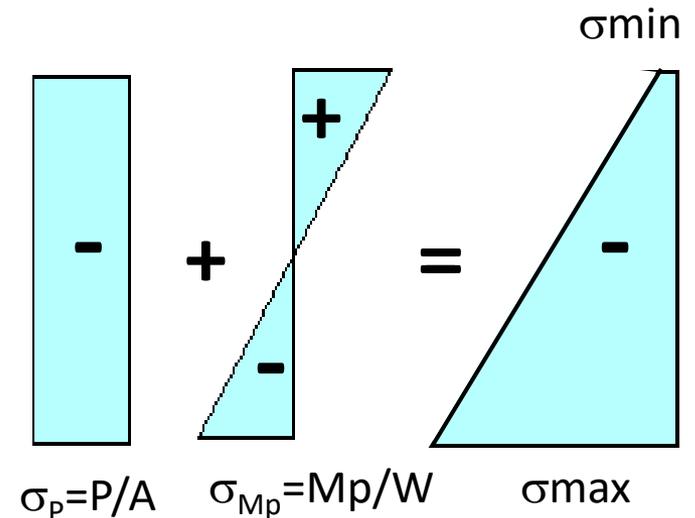


Flexión Negativa por Pretensado: $M_p = -P \cdot e = \text{constante}$

Sección 1-1

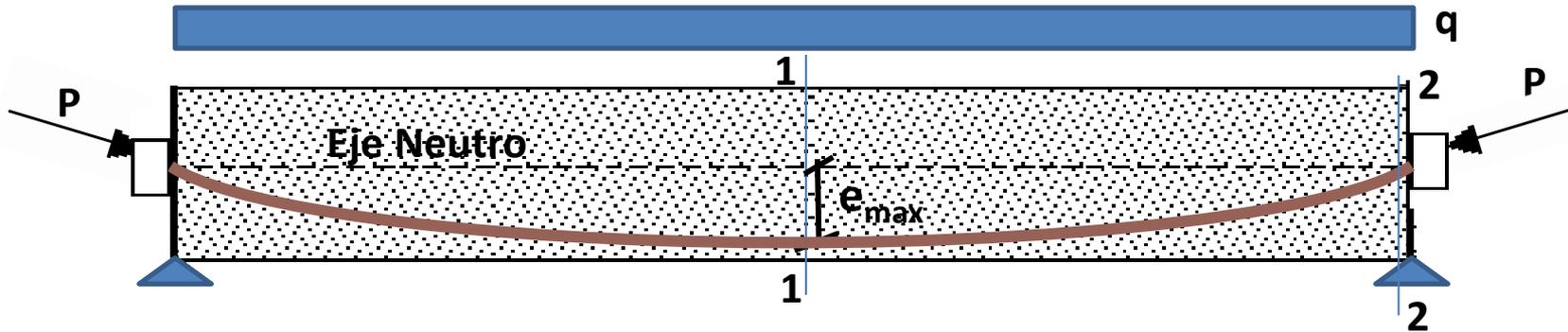


Sección 2-2

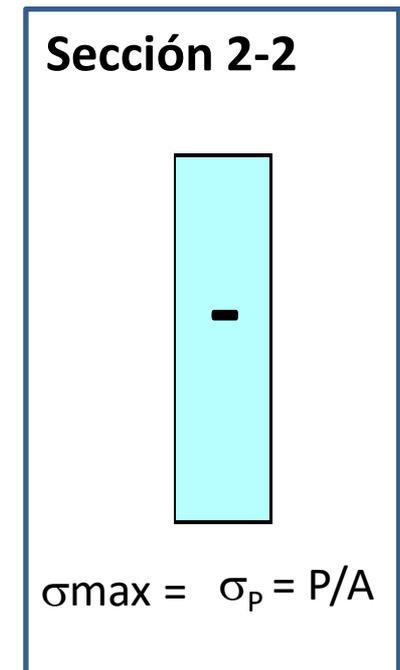
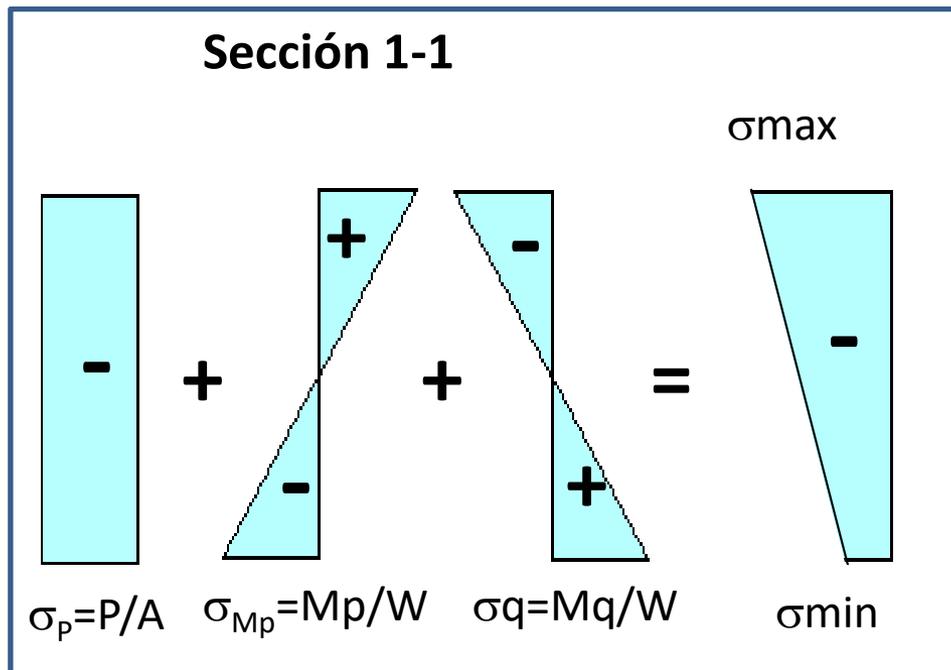


Sistemas Estructurales Pretensados

III – Precompresión parabólica con excentricidad variable



Flexión Negativa por Pretensado: $M_p = -P \cdot e = \text{constante}$



Técnicas de Precompresión

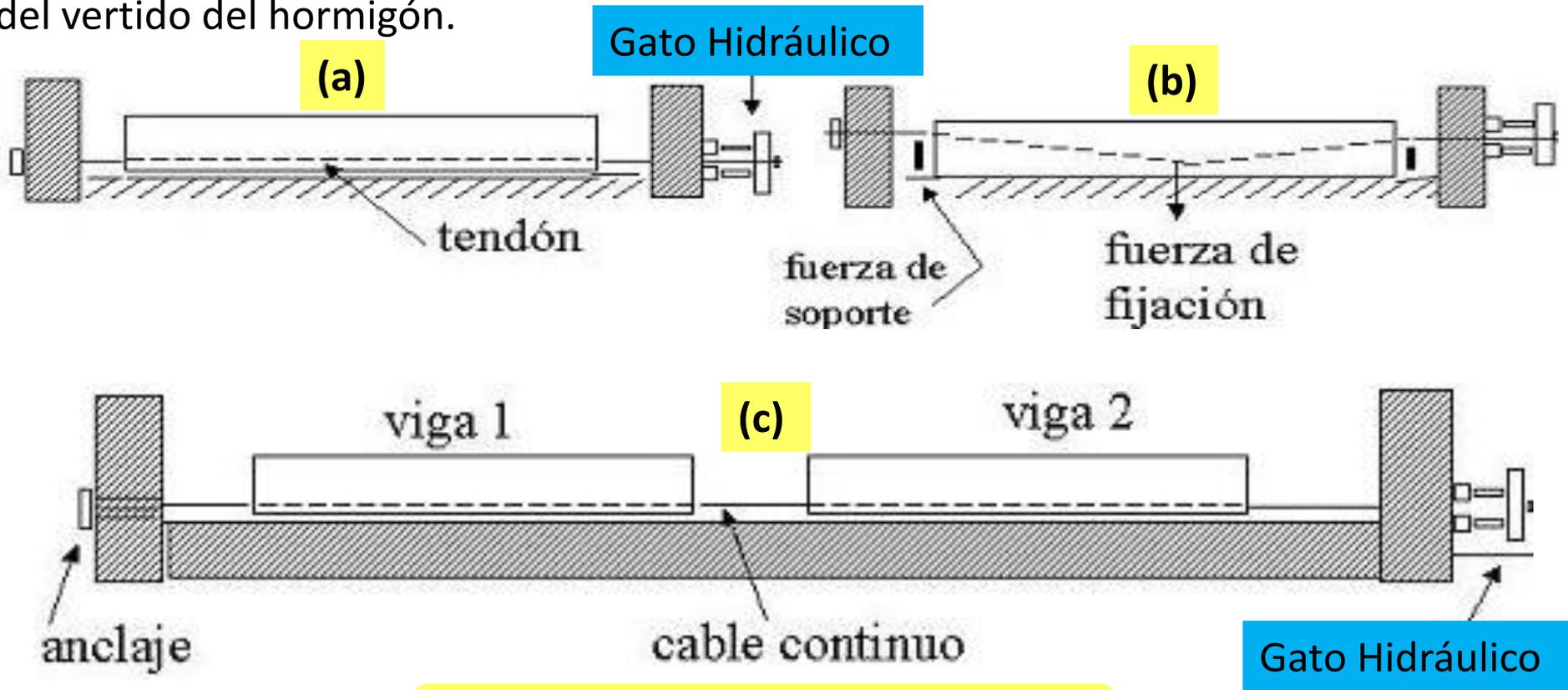
Para introducir las tensiones de compresión en el hormigón se utiliza acero de pretensado, el cual se produce en forma de cordones, barras o alambres. Las resistencias de éstos pueden llegar a cuadruplicar o quintuplicar los valores de los aceros convencionales para hormigón armado. Resulta común la utilización de aceros cuya resistencia alcanza los 18.000 o 19.000 Kg/cm²



Existen básicamente dos métodos para el estiramiento de estas armaduras llamadas activas y la consecuente precompresión del H°. Estos difieren fundamentalmente en el momento en que se produce el tesado de los cables. **Estructuras pretesadas** serán aquellas donde se tesa antes de hormigonar, y **estructuras postesadas** las que se lo hace con el hormigón endurecido.

Sistemas Estructurales Pretensados

Pretesado: Es el método en el cual las armaduras activas de la pieza se tesan antes del vertido del hormigón.



- a. con excentricidad recta
- b. con excentricidad variable
- c. Viguetas prefabricadas

Sistemas Estructurales Pretensados

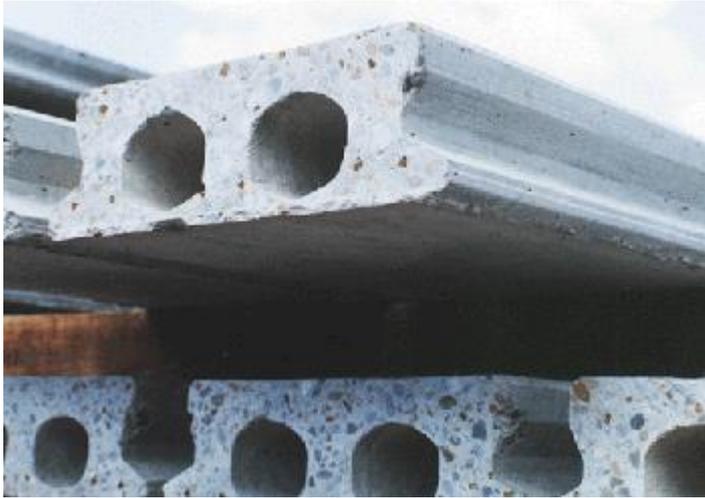
Luego de estirados elásticamente los alambres, se coloca el hormigón en los moldes alrededor de éstos. Una vez que ha fraguado y adquirido resistencia, la tensión en los cables se libera, por lo que los mismos pretenden recuperar su longitud inicial. Al estar embebidos en el hormigón resistente, se ven impedidos de acortarse, traduciéndose ese impedimento en una compresión de la masa de hormigón a través de la adherencia entre ambos materiales.



Hormigonado de Viguetas pretensadas

Sistemas Estructurales Pretensados

Otros elementos fabricados con esta técnica



Montaje
Manual



Losas Huecas Pretensadas



Montaje
Mecánico



Sistemas Estructurales Pretensados

Postesado: Los cables o cordones se introducen en conductos huecos denominados Vainas previstas en las piezas de hormigón, y se traccionan una vez que éste ha endurecido. La fuerza de pretensado se transmite mediante gatos hidráulicos a los anclajes extremos con piezas mecánicas inmersas en la masa de hormigón



gato hidráulico



Elementos de anclajes extremos



Sistemas Estructurales Pretensados

Existen dos formas de Postesado : el adherente y el no adherente.

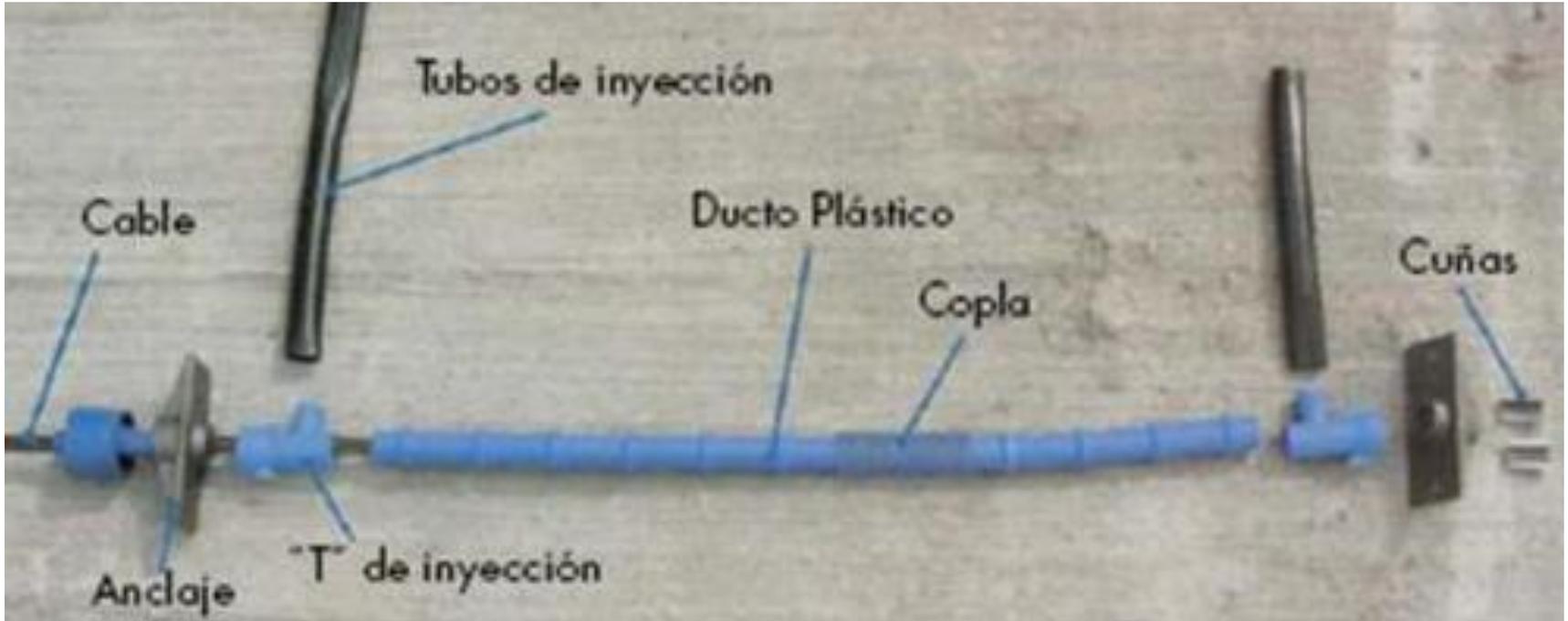
Postesado con adherencia de cables: Una vez que los cables se tesan y se anclan, las vainas se rellenan con lechada de cemento. De esta forma se protege al acero de la corrosión y se evitan posibles movimientos relativos entre los cables durante cargas dinámicas (Puentes).



Se introduce la pasta de cemento al interior de las vainas por uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la lechada aparece en el otro extremo del tubo. La pasta endurecida une al cordón con la pared de la vaina.

Sistemas Estructurales Pretensados

Postesado sin adherencia de cables: Es un sistema de mayor utilización en construcciones edilicias, como por ejemplo Losas Postesadas "in situ". Consta de cables individuales cubiertos con grasa y protegidos por un conducto de plástico liso.

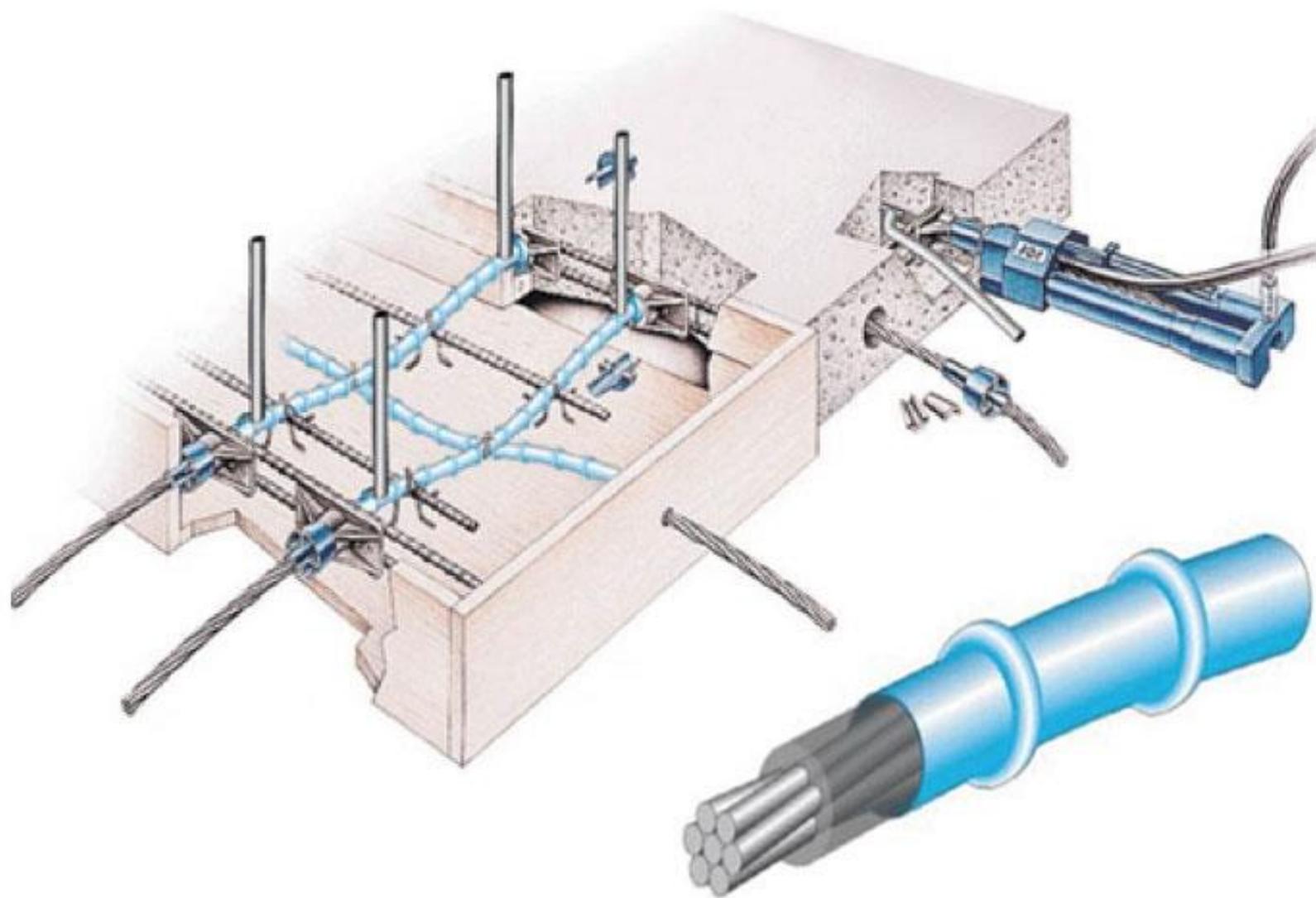


El acero de pretensado está impedido de adherirse al hormigón y se puede mover libremente en relación con el mismo. La fuerza de pretensado se transfiere al hormigón exclusivamente en los anclajes extremos de los cables.



Preparación previa de una viga continua postesada con cables no adherentes

Sistemas Estructurales Pretensados



Anclajes y terminación en losas postesadas con cables no adherentes



Ventajas y Desventajas de los Sistemas Estructurales Pretensados

Ventajas Generales del Hormigón Pretensado:

Mejor comportamiento estructural. Eficiencia de los materiales.

Disminución de las deformaciones y de la fisuración del hormigón, mayor vida útil.

Cubre luces de mayor envergadura con elementos más esbeltos (Vigas: $h \cong L/20$)

Utiliza una baja cuantía de armadura pasiva.

Mayor resistencia frente a los fenómenos de fatiga.

Menos peso para pilares y fundaciones.

Rapidez de ejecución.

Desventajas Generales del Hormigón Pretensado:

Los costos de obra pueden aumentar por el transporte y montaje de los elementos.

Requiere mayor inversión inicial.

Diseño mas complejo de armaduras, uniones, juntas y apoyos.

Planificación rigurosa del proceso constructivo.

Las uniones entre elementos estructurales pueden no ser monolíticas como en el H°A°

Sistemas Estructurales Pretensados

Ventajas Específicas de los Sistemas Pretensados:

Producción en serie en Planta. Mayor control de calidad y menores costos.

Rapidez de ejecución. Cronogramas precisos de fabricación y montaje.

Menor susceptibilidad a variaciones climáticas durante el proceso de fabricación.

Reducción de hormigón, acero, mano de obra y encofrados.

Desventajas Específicas de los Sistemas Pretensados:

El posicionamiento de los cables es recto, no pudiendo seguir la trayectoria de las tensiones de tracción en servicio lo que reduce relativamente su eficiencia estructural

Las luces que cubre son en general menores que las que permite el otro sistema

Presenta menor flexibilidad en el diseño arquitectónico.

Ventajas Específicas de los Sistemas Postesados:

Acortamiento de plazos de ejecución de la obra.

El encofrado se puede retirar inmediatamente concluido el tesado y reutilizar.

Integridad estructural superior y buen desempeño en zona sísmica.

Estructuras Livianas que permiten disminuir la altura del edificio, reducir las cargas de fundación y aumentar las luces.

Uniones sencillas y eficientes entre losas, vigas, muros y columnas.

Más eficiente que el Sistema Pretensado porque se le da la forma al cable según la trayectoria de las tracciones por flexión, ya sea ésta recta o curva.

Mayor flexibilidad en el diseño que el hormigón pretensado.

En el caso de losas sin vigas, se logra una mayor altura útil de piso a techo.

Desventajas Específicas de los Sistemas Postesados:

Requiere de mano de obra y maquinaria más especializada que el Sistema Pretelado.

El sistema es más caro que el de hormigón pretelado. Los anclajes no se recuperan y quedan perdidos en el hormigón.

La inyección de lechada de cemento en el postesado adherente aumenta la complejidad de ejecución.

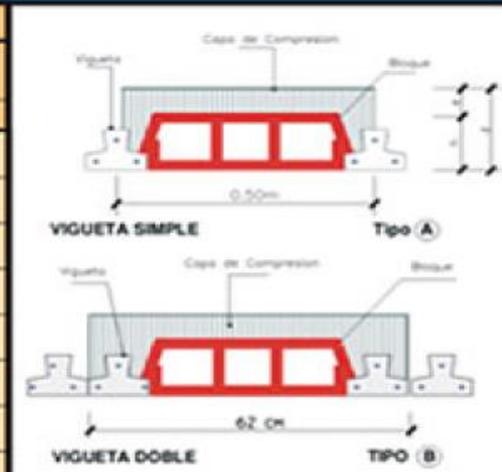
En el postesado sin adherencia la falla de algún anclaje puede generar un gran desequilibrio estructural en virtud de que los cables no quedan adheridos en ningún punto del recorrido, más que en el principio y en el fin, a través de los anclajes pasivos o activos.

Sistemas Estructurales Pretensados

VIGUETAS PRETENSADAS MODELO T PARA FORJADOS DE ENTREPISOS Y TECHOS

Planilla 1 Momentos flectores admisibles de forjados con bloques de hormigón o cerámicos

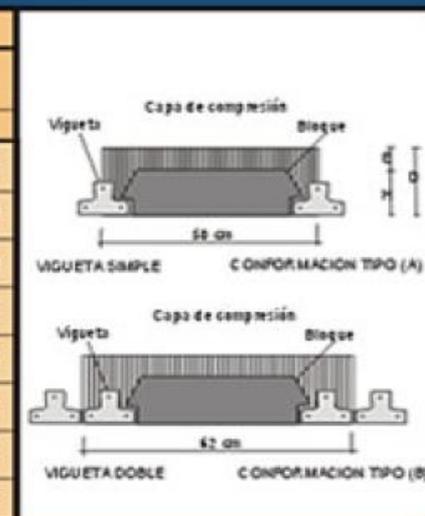
Conformación	Tipo de forjado						Serie de las viguetas										
	Alturas			Consumo de materiales por m ²			Peso propio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	h	e	d	hormigón	bloques	armadura											kg/m ²
cm.			m ²	UNIDADES	m ²												
a	9	5	14	2,00	8,00	0,060	200	465	637	724	804	876	1016	1172	1393	1517	
b	9	5	14	3,17	6,35	0,064	220	726	992	1111	1233	1343	1538	1751	2049	2196	
a	12,5	5	17,5	2,00	8,00	0,068	225	621	842	952	1060	1169	1358	1560	1867	2039	
b	12,5	5	17,5	3,17	6,35	0,078	255	972	1314	1482	1645	1807	2081	2375	2810	3047	
a	16,5	5	21,5	2,00	8,00	0,078	270	800	1079	1218	1356	1493	1741	2006	2405	2638	
b	16,5	5	21,5	3,17	6,35	0,094	305	1254	1689	1906	2119	2329	2700	3092	3677	4015	
a	20	5	25	2,00	8,00	0,084	310	956	1287	1452	1615	1778	2077	2394	2871	3161	
b	20	5	25	3,17	6,35	0,105	335	1501	2017	2273	2528	2781	3239	3721	4437	4857	



Longitud Máxima Estándar de Viguetas : 7,20 m

Planilla 2 Momentos flectores admisibles de forjados de viguetas con bloques de poliestireno expandido (tipo Isoblock)

Conformación	Tipo de forjado						Serie de las viguetas										
	Alturas			Consumo de materiales por m ²			Peso propio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	h	e	d	hormigón	bloques	armadura											kg/m ²
cm.			m ²	UNIDADES	m ²												
a	10	5	15	2,00	2,00	0,062	160	510	694	785	877	966	1116	1281	1529	1664	
b	10	5	15	3,17	1,59	0,068	195	797	1078	1215	1349	1481	1692	1924	2268	2439	
a	12,5	5	17,5	2,00	2,00	0,068	175	621	842	952	1060	1169	1358	1560	1867	2039	
b	12,5	5	17,5	3,17	1,59	0,078	215	972	1314	1482	1645	1807	2081	2375	2810	3047	
a	16,5	5	21,5	2,00	2,00	0,078	195	800	1079	1218	1356	1493	1741	2006	2405	2638	
b	16,5	5	21,5	3,17	1,59	0,094	250	1254	1689	1906	2119	2329	2700	3092	3677	4015	
a	20	5	25	2,00	2,00	0,084	210	956	1287	1452	1615	1778	2077	2394	2871	3161	
b	20	5	25	3,17	1,59	0,105	275	1501	2017	2273	2528	2781	3239	3721	4437	4857	



Losa Hueca Pretensada SHAP 60/120.

Tipo	Espesor	Serie	Peso propio	Momento Flector admisible
	cm		kg/m ²	kgm/m
LH60-10	10	1	160	394
		2		590
		3		869
		4		1174
LH60-12	12	1	175	971
		2		1424
		3		1750
		4		2176
LH60-16 LH120-16	16	1	210	2484
		2		3136
		3		4418
LH60-20 LH120-20	20	1	250	5049
		2		5845
		3		6564
LH60-24 LH120-24	24	1	300	7358
		2		8346
		3		9369
LH60-26	26	1	350	10438
		2		12329
LH60-30	30	1	410	14800
		2		16910

Losa Hueca Pretensada SHAP 30.

Serie	Longitudes estandar	Espesor	Peso propio	Momento Flector admisible
	m	cm	kg/m ²	km/m
A	de 1,00 a 3,50	9,5	145	680
B	de 3,60 a 4,50	9,5	145	1175
C	de 4,60 a 5,50	9,5	145	1483

Longitud Máxima de LH30 : 5,30 m

Longitud Máxima de LH60 : 16,00 m