

# MODULAR SOLUTIONS



**LÍDER EN  
SOLUCIONES  
INNOVADORAS  
Y SOSTENIBLES  
PARA LA  
CONSTRUCCIÓN**



# CONSTRUYENDO PROGRESO PARA LAS PERSONAS Y EL PLANETA

Como líder mundial en soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción, Holcim está haciendo posible tener ciudades más verdes, infraestructuras más inteligentes y mejorar el nivel de vida de las personas en todo el mundo. Con la sostenibilidad al centro de su estrategia, Holcim se está convirtiendo en una empresa Net Zero, en donde su gente y sus comunidades son la base de su éxito.

**holcim.cr | 2205-2900**  
**info.costarica@holcim.com**

 Holcim Costa Rica

 Holcim.cr

 Holcim Costa Rica

# CONTENIDO

<b>Capítulo 1:</b>	<i>Tuberías de concreto</i>	5
<b>Capítulo 4:</b>	<i>Postes de concreto</i>	41
<b>Capítulo 5:</b>	<i>Pilotes prefabricados</i>	44
<b>Capítulo 6:</b>	<i>Barreras de concreto</i>	55
<b>Capítulo 7:</b>	<i>Durmientes de concreto</i>	57
<b>Capítulo 8:</b>	<i>Entrepisos pretensados</i>	60
<b>Capítulo 9:</b>	<i>Cerramientos y fachadas</i>	80
<b>Capítulo 10:</b>	<i>Muros de retención</i>	85
<b>Capítulo 11:</b>	<i>Sistema Prefa Holcim</i>	90
<b>Capítulo 12:</b>	<i>Naves industriales</i>	109
<b>Capítulo 13:</b>	<i>Sistemas para edificios</i>	126
<b>Capítulo 14:</b>	<i>Instalaciones deportivas</i>	140
<b>Capítulo 15:</b>	<i>Puentes prefabricados</i>	144
<b>Capítulo 16:</b>	<i>Estructuras de concreto postensado</i>	153
<b>Capítulo 17:</b>	<i>Aplicaciones especiales</i>	158
<b>Capítulo 18:</b>	<i>Elementos planos prefabricados de concreto</i>	163
<b>Capítulo 19:</b>	<i>Otros productos industriales</i>	166
	<i>Anexos</i>	178



**Holcim Modular Solutions fabrica tuberías de concreto con y sin refuerzo, utilizando el sistema de prensa radial “Packer Head” y el vibrocompactado, con un estricto control de calidad.**

Su diseño y fabricación se ajusta a distintas normas técnicas nacionales e internacionales, tales como las de la American Society for Testing and Materials (ASTM), American Society of Civil Engineers (ASCE), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Normas Europeas (EN) y el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO).

La siguiente es una lista de tuberías y las normas correspondientes:

- Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado (INTE C314, ASTM C14, AASHTO M86).
- Tubos de concreto reforzado para alcantarillado (INTE C376, ASTM C76, AASHTO M170).
- Tuberías especiales, pozos, alcantarillas de cuadro, tuberías para hincado, tuberías no circulares (ASTM C361, ASTM C478, ASTM C655, ASTM C1433, ASTM C985, EN1916, EN1917, ASCE 27, AASHTO M199, AASHTO M259, AASHTO M273).

El éxito de las tuberías de concreto radica en su facilidad de instalación, resistencia, desempeño, versatilidad, durabilidad, seguridad y economía, siendo la opción más viable y probada para solventar la conducción de fluidos.



Figura 1.1 Máquina de vibrocompactado tipo Multicast 250.

## CAPÍTULO 1

# TUBERÍAS DE CONCRETO

### 1.1 Ventajas de las tuberías de concreto

Las tuberías de concreto presentan características que las hacen idóneas para la conducción de fluidos, ya sean desechos industriales, aguas pluviales, aguas negras o agua potable en situaciones diversas de suelo, rellenos o cargas externas, como:

#### a) Instalación

- Se instalan con facilidad
- No presentan problemas de flotación
- Constituyen un sistema rígido, en el que un 85 % de la resistencia es aportado por la tubería y solo un 15 % por el material de relleno. Esto permite garantizar el 85 % de la resistencia del sistema desde antes de llegar al sitio de construcción.
- Ofrecen mayor seguridad para el personal del proceso constructivo.
- Presentan flexibilidad para acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- El mayor número de uniones por metro lineal con respecto a otros tipos de tubería permite mantener el alineamiento y la pendiente más fácilmente, así como acomodar los esfuerzos y las deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y el sismo.
- Son menos susceptibles a los daños durante la etapa de construcción.

El ritmo de la instalación depende más de la excavación que de la colocación del tubo. Si bien el tubo de concreto es más pesado que el fabricado con otros materiales, ambos requieren maquinaria especializada para su instalación cuando se trata de los diámetros más comunes.

#### b) Durabilidad

- Son resistentes al fuego. En caso de incendios urbanos o forestales, el tubo de concreto garantiza su funcionamiento y estabilidad.
- Soportan aguas agresivas mediante recubrimientos especiales o aditivos.
- Como son una tubería rígida, las deformaciones son mínimas, tanto en la instalación como en la operación.

Teniendo en cuenta la conformación estructural del tubo y su exposición hidráulica, se ha demostrado que la tubería de concreto tiene una vida útil de al menos 100 años, dos veces más que otros materiales.

### c) Calidad

- Resisten esfuerzos cortantes o movimientos verticales
- Resisten la infiltración y la exfiltración
- Cumplen con la normativa mediante estrictos controles en el proceso de fabricación
- El concreto es uno de los materiales de construcción más estudiado y analizado, ya que sus componentes y su funcionamiento en conjunto pueden medirse con precisión.

### d) Sostenibilidad

- Se fabrican con materiales naturales locales
- Son inocuas para la salud de las personas y el medio ambiente
- La fabricación de las tuberías requiere poca energía y el material es 100 % reciclable
- Dejan una menor huella de carbono que otros tipos de tubería
- Son amigables con el ambiente, tanto por el material del que están hechas como por su forma de producción y su desempeño una vez instaladas
- No emiten desechos tóxicos durante su fabricación o funcionamiento y tampoco liberan contaminantes en caso de incendio.
- Permiten implementar diversas estrategias que ayudan a obtener la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

- El concreto es el material de construcción que requiere menor consumo de energía específica.

### e) Economía

Si se evalúa todo su ciclo de vida, el sistema resulta económico, considerando el costo inicial, la vida útil del material, el costo de mantenimiento, el costo de reemplazo, el valor de rescate, la seguridad y el desempeño.

### f) Versatilidad

- Pueden adoptar otras formas además de las circulares, dependiendo de las necesidades.
- Se adaptan a distintos requerimientos de operación e instalación.

## 1.2 Tipos de tuberías

### Tubos sin refuerzo

#### INTE C314, ASTM C14, AASHTO M86

Las tuberías de concreto sin refuerzo ASTM C14 se fabrican en tres clases: I, II y III. La más utilizada es la I, mientras que la II y III se fabrican bajo pedido.

En la tabla 1.1 se muestra la resistencia mínima requerida para cada tipo según ASTM C14.

Estas tuberías generalmente se utilizan en conducciones con rellenos de altura moderada y sus usos principales son:

- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales

Tabla 1.1 Requerimientos físicos y dimensiones de las tuberías C14

Diámetro	Clase I			Clase II			Clase III		
	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima
mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm
100	16	22	220	19	29	290	19	35	350
150	16	22	147	19	29	193	22	35	233
200	19	22	110	22	29	145	29	35	175
250	22	23.5	94	25	29	116	32	35	140
300	25	26.5	88	35	33	110	44	38	127
375	32	29	77	41	38	101	47	42	112
450	38	32	71	50	44	98	57	48	107
525	44	35	67	57	48	91	69	56	107
600	54	38	63	75	52.5	88	85	64	107
675	82	41	61	94	57.5	85	94	67	99
750	88	44	59	107	63	84	107	69.5	93
825	94	46	56	113	64	78	113	71	86
900	100	48	53	119	65.5	73	119	73	81

La resistencia está dada en KN/m. Para poder comparar con la norma ASTM C 76 también se dan los valores en Newtons por metro lineal de tubería por milímetro de diámetro.

## Tubos con refuerzo

### INTE C376, ASTM C76, AASHTO M170

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C76 se fabrican en cinco clases: I, II, III, IV y V. La que se utiliza con mayor frecuencia es la III, mientras que las restantes se fabrican bajo pedido.

Clase	Carga de grieta	Carga última	Diámetro mínimo	Diámetro máximo
mm	N/m/mm	N/m/mm	mm	mm
I	40	60	1500	2700
II	50	75	300	2700
III	65	100	300	2700
IV	100	150	300	2100
V	140	175	300	1800

Estas tuberías son aptas para situaciones que requieren mayores diámetros o mayor resistencia estructural que la ASTM C14, tales como soportar grandes rellenos y/o tránsito de vehículos pesados.

Sus usos principales son:

- Alcantarillas en carreteras
- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales
- Situaciones en las que la falla estructural puede poner en riesgo la vida humana o la propiedad (las tuberías de concreto reforzado, aún después de haber fallado, retienen su forma y no colapsan).

## Tuberías y accesorios especiales

Según los requerimientos de carga, forma o durabilidad, se pueden fabricar diversos elementos, tales como tuberías con recubrimientos sintéticos o con disipadores de energía para disminuir la velocidad del agua.



Figura 1.2 Ejemplo de tubería con disipador de energía.  
Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En los apartados siguientes se detallan las tuberías más usuales y la norma respectiva que las rige:

### ASTM C361

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C361 se fabrican por pedido y se utilizan para la conducción de fluidos con una carga hidrostática máxima de 375 kPa (38 m carga de agua).

### INTE C250, ASTM C478, AASHTO M199, EN1917

Pozos de inspección para sistemas de tuberías circulares o rectangulares.

Los pozos estándar (figura 1.3) se pueden fabricar en diversos diámetros internos, desde 1,20 m hasta 2,44 m. Los largos de las piezas componentes son de 1,25 m, 2,50 m y piezas de ajuste.

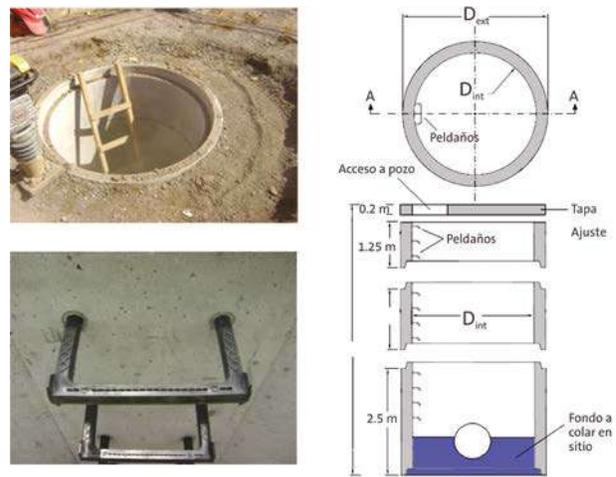


Figura 1.3 Pozo estándar

Además, los pozos cuentan con una tapa de concreto con la prevista estándar de acceso y gradas metálicas o sintéticas, según los requerimientos.

Dependiendo de las condiciones del sitio o la profundidad del pozo, se pueden suministrar pozos para hincar que cuentan con las siguientes características:

- Están compuestos por elementos de 1 m de alto, una puntera de acero y tapas de concreto enteras o en segmentos, dependiendo del diámetro del pozo.
- Los pozos hincados se pueden construir en diversos diámetros, usualmente 3,2 m y 2,4 m.
- El fondo de los pozos se cola en sitio.
- Las aperturas de los pozos para conectar las tuberías se hacen en sitio.
- Las escalerillas pueden ser metálicas o sintéticas, según se requiera.
- La resistencia del concreto es de 350 kg/cm<sup>2</sup>.
- Los anillos se hacen en una pieza o en dos, dependiendo del diámetro.
- El sistema requiere del uso de bentonita y maquinaria de excavación tipo almeja.

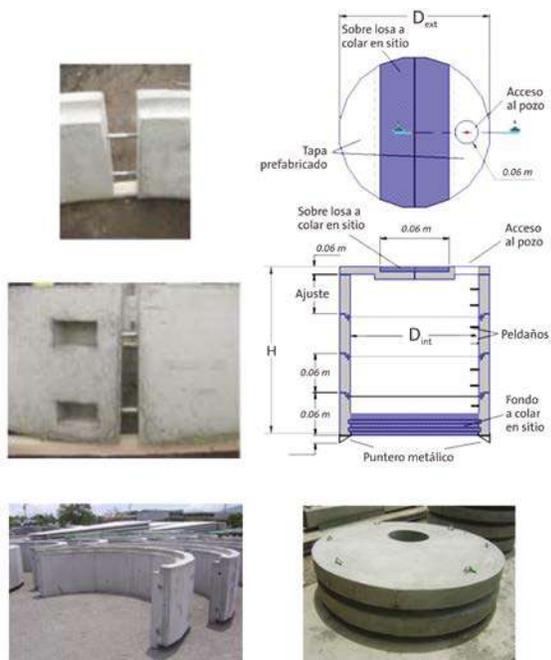


Figura 1.4 Ejemplo de pozo hincado

### INTE C239, ASTM C655

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C655 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas ASTM C76, ASTM C361 e INTE C229. Normalmente se usan para alcantarillas o colectores pluviales.

### INTE C249 ASTM C789, ASTM C1577, AASHTO M259, AASHTO M273

Alcantarillas de cuadro para pasos a desnivel, cruce de carreteras o alcantarillas. Sus tamaños varían de acuerdo con los requerimientos, desde 0,90 x 0,60 m hasta 3,60 x 3,60 m.



Figura 1.5 Sistema de alcantarillas de cuadro

### INTE C258, ASTM C985

Las tuberías de concreto sin refuerzo ASTM C985 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas INTE C314 y ASTM C14. Normalmente se usan para alcantarillas o colectores pluviales.

### INTE C255/EN1916/ASCE 27

Las tuberías para hincado, las tuberías con fibra y las tuberías con recubrimientos especiales para corrosión se encuentran cubiertas por la norma EN 1916.

Las tuberías hincadas (figura 1.6) aparecen en el país por primera vez en el Proyecto de Subcolector San Miguel en Desamparados, y sus principales ventajas son:

- Menos polvo y ruido
- Menor riesgo de accidentes
- Menor impacto en el tráfico
- Menores destrozos en carreteras
- Menor daño en redes de tuberías existentes
- Menor impacto ambiental
- No es necesario bajar el nivel freático
- Menor riesgo de hundimientos en carreteras y edificios
- Los trabajos son más independientes de las condiciones climáticas



Figura 1.6 Tubería de concreto para hincar

El tamaño, espesor y tipo de junta de la tubería dependerán de las condiciones específicas del suelo, la distancia entre los pozos y el sistema de hincado que se utilice.

En la figura 3.7 se muestra el proceso general de hincado, que consiste en bajar a un pozo de lanzamiento una máquina tuneladora que abre un túnel cuyo diámetro es ligeramente mayor al de la tubería a hincar. La tubería se va bajando de una en una en el pozo de lanzamiento y con un gato hidráulico se empuja a la sección de tubería, que a su vez impulsa a la máquina tuneladora.

En el sistema que se muestra, la tierra disuelta sale por medio de bombeo en una suspensión de bentonita, la cual se usa también para disminuir la fricción entre el tubo y el suelo.

Una vez que se alcanza la distancia deseada, la máquina tuneladora sale por un pozo de recepción.

La distancia que se pueda alcanzar entre pozos dependerá de la resistencia del concreto de la tubería, del espesor de la tubería, de la máquina de excavación, de la estación de hincado, del suelo circundante, de la fricción que se genere con la tubería, de la pericia del operario, de la rectitud de la excavación y del uso o no de estaciones intermedias de hincado, entre otros factores.



Figura 1.7 Sistema de hincado

### ASTM C506, ASTM C507, AASHTO M206, AASHTO M207

Tuberías elípticas para alcantarillado pluvial o sanitario.

## 1.3 Características físicas de las tuberías y uniones

### Geometría de las tuberías

La geometría de los tubos varía de acuerdo con el diámetro y el sistema de producción. Las tablas 1.3 y 1.4 muestran la geometría para los diámetros menores o iguales a 1200 mm y las tablas 3.5 y 3.6 los tubos para tuberías mayores a 1200 mm.

Las dimensiones se presentan solo como referencia y pueden variar por aspectos de producción o desmolde.

Los pesos indicados corresponden a tuberías clase III, según ASTM C76 con pared tipo B.

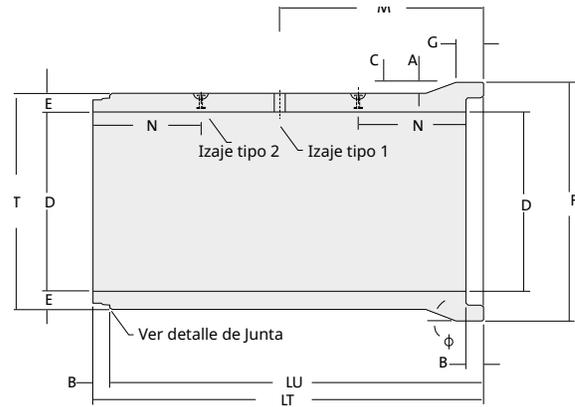


Figura 1.8 Geometría de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

Tabla 1.3 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm												
Diámetro nominal	L	Lt	W	A	B	C	D	E	F	G	T	Φ
mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados
300	1250	1340	213	52	90	105	300	53	510	130	406	30
400	1250	1340	344	50	90	110	400	60	620	130	520	30
	2500	2590	551	50	90	110	400	60	620	130	520	30
500	1250	1340	393	45	90	115	500	70	730	150	640	30
	2500	2590	760	45	90	115	500	70	730	150	640	30
600	1250	1340	517	45	90	120	600	75	840	150	750	30
	2500	2590	995	45	90	120	600	75	840	150	750	30
700	1250	1340	678	40	90	125	700	85	950	180	870	30
	2500	2590	1306	40	90	125	700	85	950	180	825	30
800	1250	1340	857	35	90	130	800	95	1060	180	990	30
	2500	2590	1714	35	90	130	800	95	1060	180	990	30
900	1250	1340	997	35	90	135	900	100	1170	180	1100	30
	2500	2590	1994	35	90	135	900	100	1170	180	1100	30
1000	2500	2600	2195	30	10	140	1000	110	1280	190	1220	30
	1200	2500	2615	3430	80	11	205	1200	125	1610	150	1450

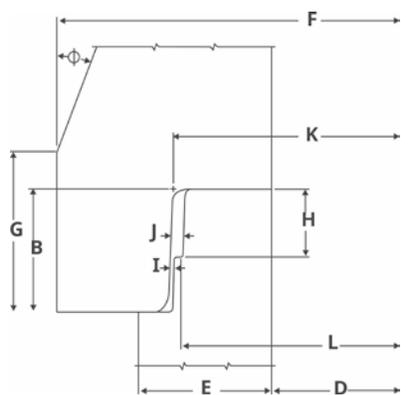


Figura 1.9 Geometría de las juntas de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

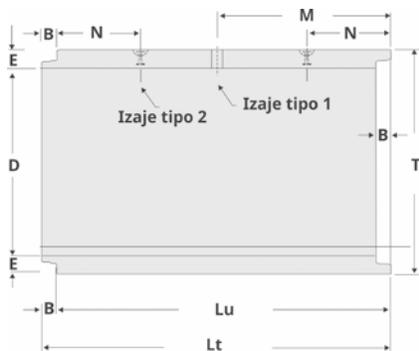


Figura 1.10 Geometría de las tuberías con diámetros mayores a 1200 m

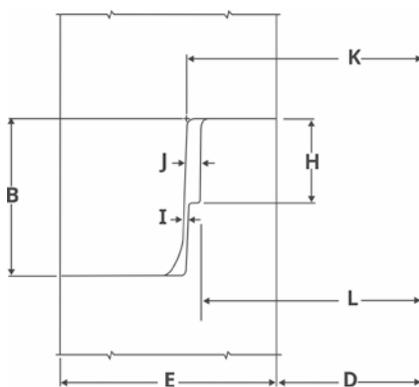


Figura 1.11 Geometría de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Tabla 1.4 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm										
Diámetro nominal	G	H	I	J	K	L	M	N	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2
mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
300	130	44	3.2	8.3			1210	-	Agujero	-
400	130	44	3.2	8.3	475	467	625	-	Agujero	-
	130	44	3.2	8.3			1210	-	Agujero	-
500	150	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	150	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x35
600	150	44	3.2	8.3	704	696	625	-	Agujero	-
	150	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x40
700	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x50
800	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x55
900	180	44	3.2	8.3	1016	1008	625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
1000	190	44	3.2	8.3			1214	625	Agujero	KKG 1.3x65
1200	190	64	3.7	11.3	1343	1332	1214	625	Agujero	KKG 2.5x90
	180	64	3.7	11.3	1385	1377	1222	625	Agujero	KKG 2.5x90

Tabla 1.6 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm										
Diámetro nominal	H	I	J	K	L	M	N	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2	Empaque
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
1350	63.5	3.7	11.3	1470	1459	1273	625	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1370	63.5	3.7	11.3	1488	1477	1049	375	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1500	63.5	3.7	11.3	1630	1619	1276	625	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	625	-	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	1049	375	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1680	63.5	3.7	11.3	1819	1807	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1800	63.5	3.7	11.3	1950	1939	1277	625	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 185
1830	63.5	3.7	11.3	1978	1967	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
2130	70	3.7	12.7	1982	1969	625	-	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 200
2440	70	3.7	12.7	2306	2293	625	-	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 200

Las tuberías construidas bajo la norma ASTM C14 se fabrican normalmente como clase I, mientras que las clases II y III se hacen bajo pedido (esta última en general hasta de 700 mm). Para otros diámetros o clases, consultar al Departamento de Ingeniería.

Las tuberías que siguen la norma ASTM C76 se fabrican normalmente en clase II o III. Bajo pedido se fabrican la clase IV hasta 1800 mm y la clase V hasta 1200 mm. Para otros diámetros o clases, consultar al Departamento de Ingeniería.

### Uniones para tuberías de concreto

Para las tuberías de concreto existe una gran variedad de uniones, dependiendo de si la conexión es de espiga y campana para tubos de diámetros pequeños o machihembrada para tuberías de diámetros grandes. Las uniones más comunes son resinas, morteros, neoprenos y anillos metálicos. Su uso dependerá de la aplicación y condiciones de carga a la que esté expuesta la tubería.

Las principales funciones de las uniones en tuberías son:

- Proveer hermeticidad ante la infiltración del relleno y el agua
- Impedir la exfiltración del fluido que transporta la tubería
- Acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales
- Proveer una superficie continua y uniforme para el flujo de los fluidos
- Permitir una fácil instalación de la tubería
- Soportar una presión hidrostática de trabajo mínima de 9 kPa, según la norma ASTM C443

La cantidad de uniones que utilizan las tuberías de concreto, normalmente considerada una desventaja desde el punto de vista de las tuberías metálicas o plásticas, constituye en realidad una ventaja para muchos tipos de instalaciones. Esto se debe a que un mayor número de uniones permite mantener el alineamiento y la pendiente con mayor facilidad, así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y los sismos.



Figura 1.12 Empaque de neopreno con lubricación

En la actualidad, una de las uniones más utilizadas para las condiciones de alcantarillado es la de neopreno SBR con lubricación, que facilita la instalación. Este tipo de junta se muestra en la figura 1.12 y cumple con las normas INTE C249, ASTM C443, AASHTO M198, INTE C244, ASTM C1628, INTE C256 y ASTM C1619.

La junta de neopreno SBR con lubricación se usa internacionalmente y en Costa Rica ha sido desarrollada mediante la colaboración de la empresa Terramix y el ingeniero Guido Quesada, quien asesora en la parte de análisis estructural tanto de la tubería como del empaque.

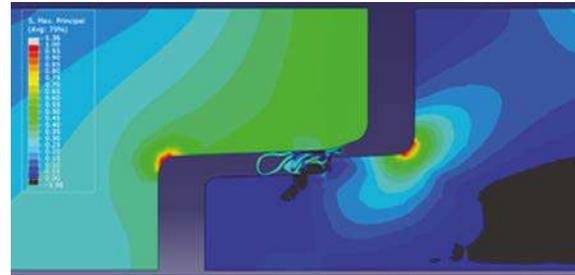


Figura 3.13 Análisis estructural de la junta con empaque auto lubricado. Fuente: Ing. Guido Quesada y Terramix

Para tuberías que trabajan con presión se dispone especialmente de juntas confinadas con empaques redondos. Para tuberías en las que es indispensable garantizar la impermeabilidad, se utilizan juntas metálicas con o sin registro de presión, tal y como se muestra en la figura 1.14.

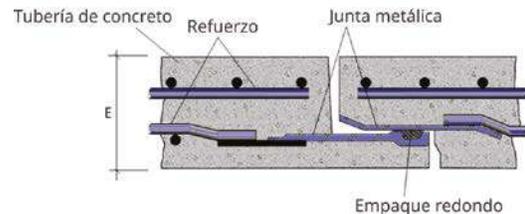


Figura 1.14 Junta metálica para presión

En las tuberías hincadas, la junta depende de los requerimientos del cliente y la máquina de hincado y puede ser tres formas diferentes, como se muestra en la figura 1.15:

- La junta 1, donde hay un anillo de acero fijo en un extremo de la tubería.
- La junta 2, donde el anillo de acero es móvil.
- La junta 3, donde se usa una conexión tipo machihembrada para conectar la tubería.



Figura 1.15 Tipos de juntas para tubería hincada

## 1.4 Alcantarillas de cuadro

Las alcantarillas de cuadro se fabrican según los lineamientos de las normas ASTM C1433, ASTM C1677, ASTM C1479 y ASTM C1577.

En la figura 3.16 se muestran las características geométricas de las alcantarillas y en la figura 3.17 el detalle de la junta.

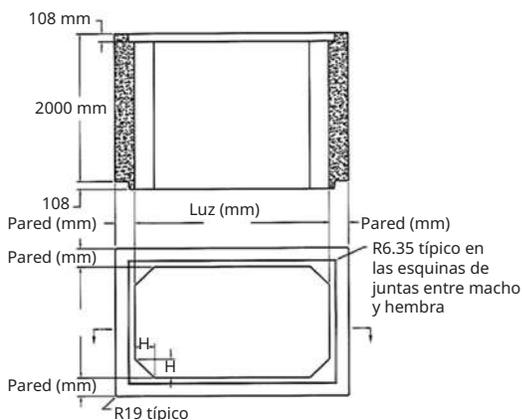


Figura 1.16 Geometría de las alcantarillas de cuadro

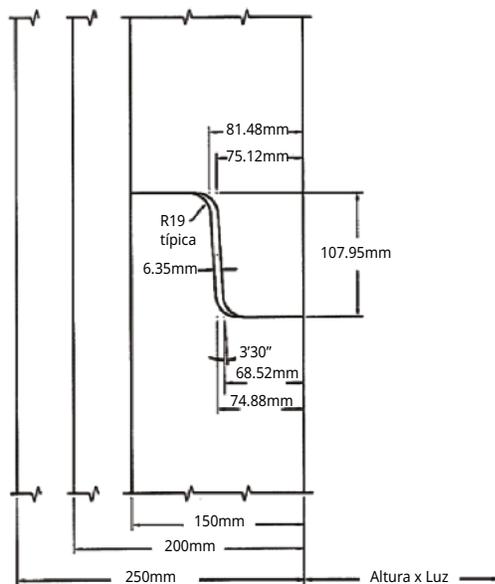


Figura 1.17 Geometría de la junta de alcantarillas de cuadro

Las alcantarillas de cuadro están disponibles para cubrir luces de 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m ó 3,0 m. Las configuraciones geométricas se presentan en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Dimensiones de las alcantarillas de cuadro			
Luz (mm)	Altura (mm)	Pared (mm)	H (mm)
1500	1000 / 1500	150 / 200 / 250	250
2000	1000 / 1500 / 2000	150 / 200 / 250	250
2500	1000 / 1500 / 2000 / 2500	150 / 200 / 250	250
3000	1000 / 1500 / 2000 / 2500 / 3000	150 / 200 / 250	250

## 1.5 Pruebas

A las tuberías se les realizan diversas pruebas que comprenden los siguientes elementos:

- Materias primas y concreto
- Tubos individuales
- Sistema de tubería

### a) Materias primas y concreto

A las materias primas principales del concreto (cemento y agregados) se les realizan pruebas periódicas para garantizar que cumplan las siguientes normas:

- INTE C15, equivalente a ASTM C33
- INTE C58, equivalente a ASTM C29
- INTE C49, equivalente a ASTM C117
- INTE C68, idéntica a ASTM C127
- INTE C69, idéntica a ASTM C128
- INTE C46, idéntica a ASTM C136
- INTE C147 (RTCR 479:2015)
- INTE C71, equivalente a ASTM C566

Tanto los agregados como el cemento provienen de las mejores fuentes, lo que representa un factor adicional de calidad.

Los materiales son dosificados por peso en planta y bajo un estricto control de humedad, para garantizar una mezcla de concreto acorde con las exigencias del producto.

### Concreto

Con una frecuencia diaria se obtienen testigos según las normas INTE C19 (ASTM C31) e INTE C39 (ASTM C39) para determinar la resistencia del concreto utilizado para la fabricación de los tubos PC. La resistencia se prueba en los propios laboratorios de la empresa para garantizar que sea adecuada para el manipuleo de los tubos, previamente al período correspondiente a la cura húmeda en patio.

### Aceros

El acero utilizado para los tubos PC reforzados es importado y cumple con las normas INTE C402 (ASTM A1064) e INTE C401 (ASTM A706), para lo cual se solicitan los certificados respectivos al proveedor y se evalúan periódicamente sus propiedades en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), mediante la prueba INTE C403 (ASTM A370).

## b) Pruebas sobre tubos individuales

Una vez que los tubos han sido fabricados, se llevan a cabo pruebas de calidad sobre muestras de cada lote de producción para asegurar que cumplan con la norma INTE C238 (ASTM C497), que contempla los siguientes aspectos:

### Prueba de tres aristas

Esta prueba se realiza cargando la tubería en forma diametral (figura 3.18) y registrando la carga, en la que se produce una grieta longitudinal de 0,3 mm de ancho y 1,5 mm de espesor en una distancia de 30 mm. La carga se expresa en Newtons por metro de longitud por milímetro de diámetro.

Tras alcanzar esta carga, existe la opción de llevar la tubería hasta la carga última, en la que se forman cuatro articulaciones en la tubería creando un mecanismo de falla.

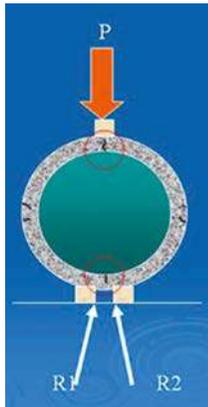


Figura 1.18 Prueba de tres aristas según INTE C238 (ASTM C497)

### Absorción

Esta prueba se realiza sobre un segmento de la tubería para determinar cuánta agua absorbe el elemento y es una medida indirecta de su densidad y resistencia.

### Permeabilidad

Esta prueba mide si hay un flujo de agua a través de la tubería cuando está llena de agua y sin presión durante un periodo mínimo de 15 minutos y máximo de 24 horas. Es una medida indirecta de la porosidad o compactación del concreto.

### Alcalinidad del concreto

Esta prueba mide la capacidad del concreto para neutralizar los ácidos presentes en las aguas residuales. Además, es uno de los criterios utilizados para determinar la vida útil de la tubería en presencia de sulfuro de hidrógeno.

## c) Pruebas sobre el sistema de tuberías

Estas pruebas abarcan a las tuberías trabajando en conjunto e intervienen no solo ellas sino también el empaque. Las normas que se deben verificar son INTE C231 (ASTM C443), INTE C238 (ASTM C497), INTE C256 (ASTM C1619) e INTE C244 (ASTM C1628).

### Prueba hidrostática

En esta prueba se somete un tubo o dos, si se desea probar también el empaque y la hermeticidad de la junta, a una presión de 90 Kpa durante 10 minutos para las tuberías tipo INTE C314 (ASTM C14) e INTE C376 (ASTM C76) (figura 1.19). Si bien las tuberías trabajan a gravedad, se analiza el caso en el que se obstruyen y trabajan a presión.



Figura 1.19 Ensamble y medición de la prueba hidrostática

En el caso de las tuberías cubiertas por la norma INTE C237 (ASTM C361), se prueban tanto estas como las juntas a un 120 de la presión especificada por 20 minutos.

### Prueba de cortante de la junta

De acuerdo con la norma INTE C237 (ASTM C443), las juntas de la tubería deben someterse a una prueba de cortante para asegurar su capacidad estructural ante cargas diferenciales (figura 1.20).

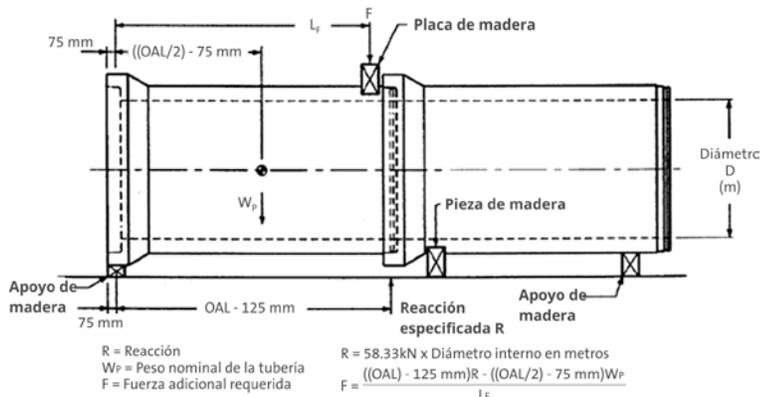


Figura 1.20 Prueba de cortante de la junta

## 1.6 Normas y estándares aplicables a las tuberías de concreto

En Costa Rica, las normas vigentes a la fecha de la presente publicación para las tuberías de concreto son las INTECO, específicamente:

- INTE C376 (ASTM C76) Tubos de concreto con refuerzo para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial. Requisitos.
- INTE C231 (ASTM C443) Juntas flexibles para tuberías de concreto y pozos de inspección, con el uso de empaques de hule.

## Requisitos

- INTE C238 (ASTM C497) Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concreto.
- INTE C239 (ASTM C655) Construcción. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado pluvial o sanitario sometido a una carga específica. Especificaciones.
- INTE C240 (ASTM C822) Definiciones estándar de términos relacionados con tubería de concreto y productos afines.
- INTE C244 (ASTM C1628) Construcción. Juntas para tubería de concreto para alcantarillado a flujo por gravedad, usando empaques de caucho. Especificaciones.
- INTE C236 (ASTM C1417) Construcción. Tubos de concreto reforzado para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial fabricados según el método de diseño directo. Especificaciones.
- INTE C251 (ASTM C923) Norma para conectores elásticos entre estructuras de pozos de inspección de concreto reforzado, tubos y laterales.
- INTE C248 (ASTM C1577) Secciones rectangulares monolíticas prefabricadas de concreto reforzado utilizadas en alcantarillas, alcantarillado pluvial y sanitario, diseñadas de acuerdo con AASHTO LRFD.
- INTE C255 (BS 5911-1) Especificación para fabricación de tuberías de concreto reforzado para hincado (pipe jacking).
- INTE C257 (ASTN C1765) Construcción. Tubería de concreto reforzada con fibra de acero para alcantarillas, alcantarillado pluvial y sanitario. Especificaciones.
- INTE C147 Construcción. Cemento hidráulico. Requisitos.
- INTE C402 (ASTM A 1064) Alambre de acero al carbono liso y corrugado, y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto.
- INTE C314 (ASTM C14) Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial.
- INTE C19 (ASTM C31) Práctica para hacer y curar especímenes de concreto para ensayo en el campo.
- INTE C39 (ASTM C39) Construcción. Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo.
- INTE C47 (ASTM C42) Método de ensayo para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas acerradas de concreto.

## Normas internacionales relacionadas

Todas estas pruebas son verificadas por el LanammeUCR periódicamente o a solicitud del cliente.

- ASTM C31 Standard Test Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM C260 Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete.

- ASTM C309 Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.
- ASTM C361 Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe.
- ASTM C443/AASHTO M198 Standard Specification for Joints for Circular Concrete Sewer and Culvert Pipe, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C444 Standard Specification for Perforated Concrete Pipe.
- ASTM C478/AASHTO M199 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections.
- ASTM C494M Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- ASTM A496 Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement.
- ASTM C497 Standard Test Methods for Concrete Pipe, Manhole Sections, or Tile.
- ASTM C506/AASHTO M206 Standard Specification for Reinforced Concrete Arch Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C507/AASHTO M207 Standard Specification for Reinforced Concrete Elliptical Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C595 Specification for Blended Hydraulic Cements.
- ASTM A615M Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- ASTM C655 Standard Specification for Reinforced Concrete D-Load Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM A706 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C822 Standard Definitions of Terms Relating to Concrete Pipe and Related Products.
- ASTM C877 External Sealing Bands for Non-Circular Concrete Sewer, Storm Drain and Culvert Pipe.
- ASTM C890 Standard Practice for Minimum Structural Design Loading for Monolithic or Sectional Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C913 Standard Specification for Precast Concrete Water and Wastewater Structures.

- ASTM C923 Resilient Connectors Between Reinforced Concrete Manhole Structures and Pipes.
- ASTM C969 Infiltration and Exfiltration Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C985 Non-Reinforced Concrete Specified Strength Culvert, Storm Drain and Sewer Pipe Lines.
- ASTM C989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
- ASTM C990 Standard Specification for Joints for Concrete Pipe, Manholes, and Precast Box Sections Using Preformed Flexible Joint Sealants.
- ASTM C1017M Specification for Chemical Admixtures for use in Producing Flowing Concrete.
- ASTM C1103 Standard Practice for Joint Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C1116 Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- ASTM C1131 Standard Practice for Least Cost (Life Cycle) Analysis of Concrete Culvert, Storm Sewer, and Sanitary Sewer Systems.
- ASTM C1214 Standard Test Method for Concrete Pipe Sewer Lines by Negative Air Pressure (Vacuum) Test Method.
- ASTM C 1244 Standard Test Method for Concrete Sewer Manholes by the Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior to Backfill.
- ASTM C1417 Standard Specification for Manufacture of Reinforced Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe for Direct Design.
- ASTM C1433/AASHTO M259/AASHTO M273 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM 1479 Standard Practice for Installation of Precast Concrete Sewer, Storm, Drain, and Culvert Pipe Using Standard Installations.
- ASTM C1577 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers Designed According to AASHTO LRFD.
- ASTM C1619 Standard Specification for Elastomeric Seals for Joining Concrete Structures.
- ASTM C1628 Standard Specification for Joints for Concrete Box, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C1675 Standard Practice for Installation of Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C1677 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts.
- AWWA 302 Reinforced Concrete Pressure Pipe, Non-Cylinder Type for Water and Other Liquids.
- ASCE 15 Standard Practice for Direct Design of Buried Precast Concrete Pipe Using Standard Installations (SIDD).
- ASCE 26 Standard Practice for Direct Design of Buried Precast Concrete Box Sections.
- ASCE 27 Standard Practice for Direct Design of Precast Concrete Pipe for Jacking in Trenchless Construction.
- EN 1916 Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- EN 1917 Concrete manholes and inspection chambers, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- BS 5911-1 Concrete pipes and ancillary concrete products.
- Part 1: Specification for unreinforced and reinforced concrete pipes (including jacking pipes) and fittings with flexible joints (complementary to BS EN 1916:2002).
- BS EN 124 Gully tops and manhole tops for vehicular and pedestrian areas. Design requirements, type testing, marking, quality control.

## 1.7 Aspectos de diseño

### a) Diseño estructural

La teoría clásica para determinar las cargas de suelo sobre las tuberías de concreto, publicada en 1930, fue desarrollada por A. Marston. Este autor presentó sus propuestas para tuberías colocadas en zanjas angostas (trench) en suelo natural, tuberías en terraplén (embankment) o sobre el nivel del terreno natural que seguidamente se cubren.

En 1933, M. G. Spangler presentó tres configuraciones de apoyo de las tuberías o cama y el concepto de factor de apoyo (bedding factor), que relaciona la resistencia de la tubería enterrada con la resistencia obtenida en la prueba de tres aristas. Esta resistencia depende de dos factores:

- El ancho y la calidad de la superficie de apoyo con la tubería.
- La magnitud de la presión lateral y de la altura de la tubería sobre la cual esta actúa.

Aun cuando el trabajo de Marston y Spangler es conservador y da buenos resultados, sus conceptos de diseño tienen limitaciones.

En 1970, la Asociación Americana de Tuberías de Concreto (ACPA) realizó un extenso programa de investigación sobre la interacción entre el suelo y las tuberías de concreto. El estudio culminó con el desarrollo del programa de Análisis y Diseño de la Interacción entre las Tuberías y el Suelo (SPIDA), para el diseño directo de tuberías de concreto enterradas. A su vez, esto tuvo como resultado el desarrollo de cuatro tipos de instalaciones estándar y un programa simplificado denominado Diseño Directo con Instalaciones Estándares o SIDD (ASCE 15).

Este desarrollo reemplazó las históricas condiciones de apoyo o camaras tipo A, B, C y D usadas en el método indirecto de diseño y supuso grandes ventajas, ya que se puede escoger entre diferentes niveles de compactación y suelos, lo que permite analizar la opción más económica para cada sitio de proyecto y el acarreo o no de material selecto.

### Terminología y condiciones de instalación

En la figura 1.21 se muestra la terminología general y los elementos que conforman la estructura de soporte en la instalación de tuberías de concreto.

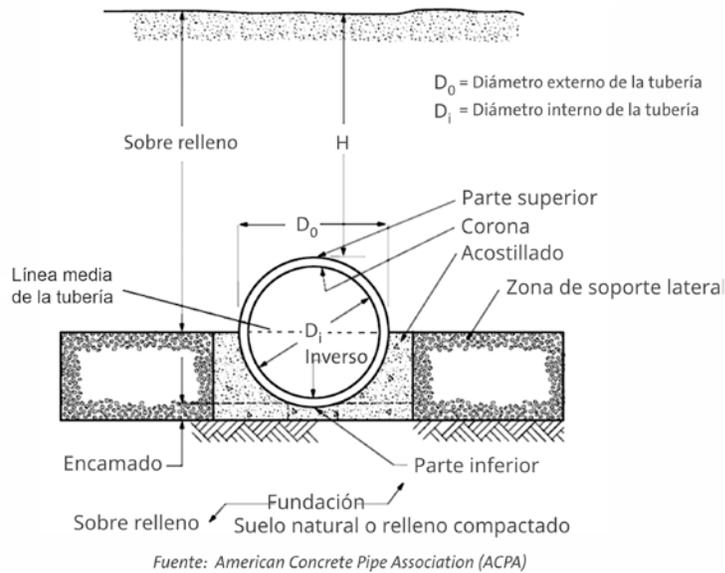


Figura 1.21 Terminología de la instalación de la tubería de concreto

De acuerdo con la altura del relleno o la forma de la zanja en la que se coloca la tubería, se pueden tener cuatro condiciones de instalación que determinan en gran medida la carga muerta que soportará la tubería (figura 1.22).

Estas condiciones van desde la más crítica hasta la menos crítica: instalación en terraplén o relleno en proyección positiva, instalación en terraplén o relleno en proyección negativa, instalación en trinchera e instalación hincada.

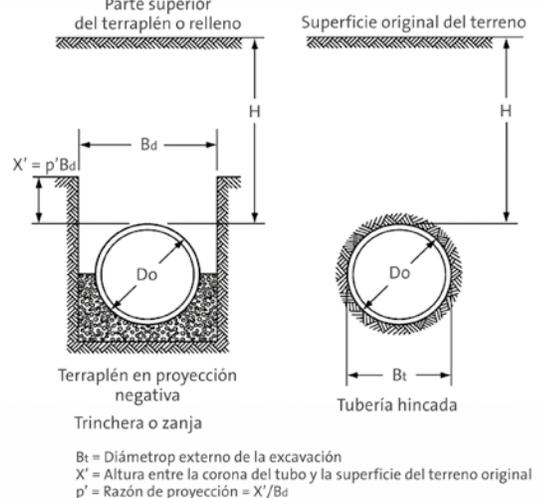
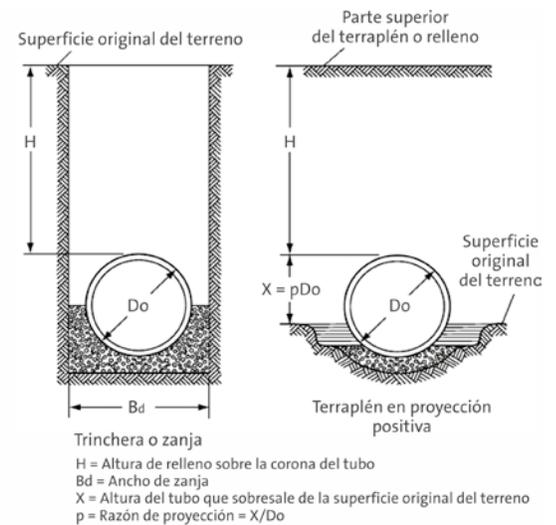
### Tipos de instalación estándar

La instalación estándar se clasifica en cuatro tipos, según el material y su compactación, lo que define el grado de rigidez de la cama de apoyo y el confinamiento lateral de la tubería.

Los suelos se clasifican en cuatro categorías que relacionan el tipo de suelo y el nivel de compactación, según la codificación del sistema unificado de clasificación de suelos UCSS, AASHTO (tablas 1.8 y 1.9).

Los tipos de instalación se muestran en la tabla 1.10 y están correlacionados con los factores de arco o de carga determinados por el estudio de ACPA (figura 1.23), utilizando una distribución de presiones tipo Heger.

Una instalación tipo 1 es la que requiere mayor calidad de materiales, mayor esfuerzo constructivo y mayor grado de inspección. Mientras



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

H = Altura de relleno sobre la corona del tubo

$B_d$  = Ancho de zanja

X = Altura del tubo que sobresale de la superficie original del terreno

p = Razón de proyección =  $X/D_0$

$B_t$  = Diámetro externo de la excavación

$X'$  = Altura entre la corona del tubo y la superficie del terreno original

$p'$  = Razón de proyección =  $X'/B_d$

Figura 1.21 Condiciones típicas de instalación

tanto, la instalación tipo 4 requiere poco esfuerzo constructivo o de inspección.

La decisión sobre el tipo de instalación que se hará es de tipo económico, tomando en cuenta los materiales, la mano de obra y los equipos con que cuente el proyecto; así como la tubería que se desee utilizar, ya que entre menor sea la calidad de la instalación, mayor resistencia deberá tener la tubería.

Tabla 1.8 Sistema unificado de clasificación de suelos		
Primera / Segunda letra		
<b>G</b>	Grava	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas retenidas en la malla #4 (4.75 mm)
<b>S</b>	Arena	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas pasando la malla #4 (4.75 mm)
<b>M</b>	Limo	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
<b>C</b>	Arcilla	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
<b>O</b>	Orgánico	Suelos compresibles con alto contenido de materia orgánica
Segunda letra		
<b>P</b>		Pobremente graduado (Tamaño uniforme de partículas)
<b>W</b>		Bien graduado (Distintos tamaños de partículas)
<b>H</b>		Alta plasticidad, límite líquido mayor de 50
<b>L</b>		Baja plasticidad, límite líquido menor o igual a 50
División de tamaño		
<b>Grueso</b>		Más del 50% de las partículas retenidas en la malla 200 (0.075 mm)
<b>Fino</b>		Más del 50% de las partículas pasando la malla 200 (0.075 mm)

Tabla 1.9 Clasificaciones equivalentes USCS y AASHTO para designación de suelos				
Categoría	Tipo representativo de suelo			
	USCS (ASTM D 2487)	AASHTO (M 145)	Descripción	
Categoría 1 Arena gravosa	Suelos granulares gruesos y limpios: SW, SP, GW, GP o cualquier tipo de suelo con alguno de las categorías anteriores con 12% o menos pasando la malla 200 (0.075 mm) (GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM)	A1, A3	GW	Grava limpia bien graduada, de fina a gruesa con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GP	Grava pobremente graduada, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SW	Arena limpia bien graduada de fina a gruesa, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SP	Arena pobremente graduada, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 2 Arena limosa	GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con alguna de estas categorías y que contengan más del 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)	A2, A4	GM	Grava limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GC	Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SM	Arena limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC	Arena arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML	Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CL	Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 3 Arcilla limosa	Suelo granular finos: GC, SC, CL, ML, o (CL-ML, CL/ML, ML/CL) con menos de 30% retenido en la malla 200 (0.075 mm)	A5, A6	GC	Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC	Arena arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML	Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CL	Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 4 Pero no se permite en el acostillamiento o encamado	MH, CH, OL, OH, PT	A7	MH	Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CH	Arcilla de alta plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			OL	Suelo orgánico de baja plasticidad
			OH	Suelo orgánico de alta plasticidad
			PT	Suelo altamente orgánico

**Tabla 1.10 Instalaciones estándar y requerimientos mínimos de compactación**

Tipo de instalación	Espesor del encamado	Zona de acostillamiento y parte externa de la cama	Zona de soporte lateral
<b>Tipo 1</b>	Espesor mínimo $D_o/24$ , pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$ , pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% de Proctor Estándar	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar Suelo categoría III al 100% Proctor Estándar
<b>Tipo 2</b>	Espesor mínimo $D_o/24$ , pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$ , pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
<b>Tipo 3</b>	Espesor mínimo $D_o/24$ , pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$ , pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
<b>Tipo 4</b>	No requiere cama a menos que sea fundación en roca. Espesor $D_o/12$ pero no menos de 150 mm	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar

### Cargas

Los tipos de carga que interactúan en una tubería son el peso propio, el peso del agua, las cargas vivas en el proceso constructivo o en operación durante la vida útil de la estructura.

Como carga muerta se entiende el peso del suelo sobre la tubería, que se multiplica por un factor de arco vertical. Tanto el peso como el factor de arco dependen de la geometría y el tipo de instalación a emplear. Una vez obtenida la carga muerta, se divide por un factor de encamado, que a su vez depende del diámetro de la tubería o tipo de instalación.

Tabla 1.11 Carga viva que rige el diseño	
Relleno sobre tubería Categoría I	
Altura de relleno H	Carga aplicada P
m	kg
$H < 0.6$	7.273
$0.6 \leq H < 0.84$	14.545
$H \geq 0.84$	22.727
Relleno sobre tubería categoría II y III	
$H < 0.71$	7.273
$0.71 \leq H < 0.97$	14.545
$H \geq 0.97$	22.727

El factor de encamado se obtiene al dividir la resistencia obtenida en el laboratorio en una prueba de tres aristas y la obtenida experimentalmente en el campo.

La carga viva es producto de los vehículos o camiones, trenes o aviones que transitan sobre o

**Tabla 1.12 Factor de seguridad según tipo de tubería**

Clase de tubería	Carga de grieta N/m/mm	FS
ASTM C14	Todos	1.5
ASTM C76	$\leq 100$	1.25
ASTM C76	$\geq 150$	1.5

*Nota: Se puede interpretar linealmente para cargas de grieta*

Tipo de instalación	VAF	HAF
1	1.35	0.45
2	1.40	0.40
3	1.40	0.37
4	1.45	0.30

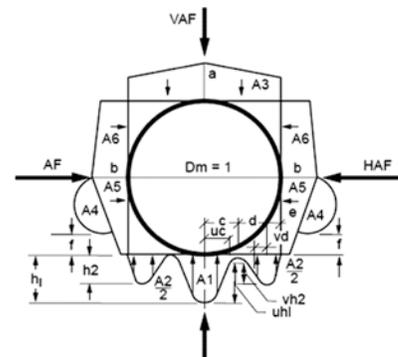


Figura 1.23 Condiciones típicas de instalación

cerca de la tubería y de la maquinaria de instalación durante el proceso constructivo. Esta última condición puede ser más severa que la condición de servicio.

Para condiciones normales de tráfico vehicular, en las que la condición constructiva no rige el diseño ni requiere cargas especiales como la de aviones o trenes, la carga viva es despreciable a partir de los 3 m de profundidad. La configuración y el tipo de carga que rigen entre 0 y 3 m de profundidad se muestran en la tabla 1.10. Al igual que la carga muerta, la carga viva se divide por un factor de encamado.

La carga final es la suma de las cargas por metro lineal producto de la carga muerta, el agua y la carga viva, que se dividen por un factor de seguridad que depende del tipo de tubería y de su diámetro (tabla 1.12). Si se utiliza un factor de seguridad de 1, se obtiene la carga de grieta por metro lineal. En caso contrario, se obtiene la capacidad última por metro lineal que se requiere en tuberías con refuerzo.

Si la carga por metro lineal expresada en Newtons por metro lineal se divide por el diámetro interno de la tubería expresado en mm, se obtiene la demanda, que se compara con las capacidades dadas en las tablas 1.1 y 1.2 para las tuberías INTE C14 (ASTM C14) e INTE C376 (ASTM C76), respectivamente.

Para más información sobre la forma de determinar las cargas de diseño según el tipo de carga, configuración e instalación utilizando el método indirecto, se puede consultar el Concrete Pipe Design Manual (2011) de la ACPA.

Si se desea o es necesario un análisis más detallado, se puede utilizar la metodología de diseño directo de ASCE 15 de la Asociación Americana de

Ingenieros Civiles o el AASHTO LRFD “Bridge Design Specification”, de la Asociación Americana de Oficinas de Transporte y Autopistas Estatales.

### Tablas para el cálculo de demandas y selección de tuberías

Una vez determinada la carga en N/m/mm, se puede seleccionar la tubería que más se adapte a las necesidades de instalación utilizando las tablas que se presentan a continuación.

En la cabecera de la tabla se da información general sobre las tuberías utilizadas, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis. En su lado izquierdo se muestra el diámetro de tubería considerado. En su parte superior la profundidad de instalación medida a altura de corona y en la parte interna se da la demanda para las condiciones analizadas en N/m/mm.

Por medio de colores y aplicando los factores de seguridad de la tabla 3.12, se muestra cuál sería el tipo de tubería a utilizar, según corresponda bajo la norma INTE C376 (ASTM C76) o INTE C314 (ASTM C14).

Las tablas para el cálculo de las demandas y la selección de tuberías son las tablas 1.13, 1.14, 1.15 y 1.16, que se presentan en las siguientes páginas de este capítulo.

Tabla 1.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva															
Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	2.48	4.66	6.85	9.04	11.22	13.41	15.60	17.79	19.97	22.16	24.35	26.53	28.72	30.91	33.09
375	2.51	4.67	6.82	8.98	11.14	13.30	15.46	17.62	19.78	21.94	24.10	26.25	28.41	30.57	32.73
450	2.56	4.71	6.87	9.02	11.17	13.32	15.47	17.63	19.78	21.93	24.08	26.24	28.39	30.54	32.69
525	2.62	4.77	6.92	9.08	11.23	13.38	15.53	17.68	19.83	21.98	24.13	26.28	28.43	30.58	32.74
600	2.69	4.85	7.00	9.16	11.32	13.47	15.63	17.79	19.94	22.10	24.26	26.41	28.57	30.72	32.88
675	2.77	4.93	7.10	9.27	11.43	13.60	15.77	17.93	20.10	22.27	24.43	26.60	28.77	30.93	33.10
750	2.85	5.03	7.22	9.40	11.58	13.76	15.95	18.13	20.31	22.50	24.68	26.86	29.04	31.23	33.41
825	2.94	5.14	7.33	9.53	11.73	13.93	16.13	18.33	20.53	22.72	24.92	27.12	29.32	31.52	33.72
900	3.03	5.24	7.46	9.68	11.89	14.11	16.33	18.54	20.76	22.98	25.20	27.41	29.63	31.85	34.06
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	35.28	37.47	39.66	41.84	44.03	46.22	48.40	50.59	52.78	54.97	57.15	59.34	61.53	63.71	65.9
375	34.89	37.05	39.21	41.37	43.53	45.69	47.84	50.00	52.16	54.32	56.48	58.64	60.80	62.96	65.12
450	34.84	37.00	39.15	41.30	43.45	45.60	47.76	49.91	52.06	54.21	56.37	58.52	60.67	62.82	64.97
525	34.89	37.04	39.19	41.34	43.49	45.64	47.79	49.94	52.09	54.24	56.4	58.55	60.70	62.85	65.00
600	35.04	37.19	39.35	41.51	43.66	45.82	47.98	50.13	52.29	54.45	56.6	58.76	60.91	63.07	65.23
675	35.26	37.43	39.60	41.76	43.93	46.10	48.26	50.43	52.60	54.76	56.93	59.10	61.26	63.43	65.6
750	35.59	37.77	39.96	42.14	44.32	46.50	48.69	50.87	53.05	55.23	57.42	59.60	61.78	63.96	66.15
825	35.92	38.12	40.31	42.51	44.71	46.91	49.11	51.31	53.51	55.71	57.90	60.10	62.30	64.50	66.70
900	36.28	38.50	40.71	42.93	45.15	47.37	49.58	51.80	54.02	56.23	58.45	60.67	62.88	65.10	67.32
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.45	9.75	10.06	10.36	10.67	10.97	11.28	11.58	11.89	12.19	12.50	12.80	13.11	13.41	13.72
300	68.09	70.28	72.46	74.65	76.84	79.02	81.21	83.40	85.59	87.77	89.96	92.15	94.33	96.52	98.71
375	67.28	69.43	71.59	73.75	75.91	78.07	80.23	82.39	84.55	86.71	88.87	91.02	93.18	95.34	97.50
450	67.13	69.28	71.43	73.58	75.73	77.89	80.04	82.19	84.34	86.50	88.65	90.80	92.95	95.10	97.26
525	67.15	69.30	71.45	73.60	75.75	77.90	80.06	82.21	84.36	86.51	88.66	90.81	92.96	95.11	97.26
600	67.38	69.54	71.70	73.85	76.01	78.17	80.32	82.48	84.63	86.79	88.95	91.10	93.26	95.42	97.57
675	67.76	69.93	72.10	74.26	76.43	78.60	80.76	82.93	85.09	87.26	89.43	91.59	93.76	95.93	98.09
750	68.33	70.51	72.70	74.88	77.06	79.24	81.43	83.61	85.79	87.97	90.16	92.34	94.52	96.70	98.89
825	68.90	71.10	73.29	75.49	77.69	79.89	82.09	84.29	86.49	88.69	90.88	93.08	95.28	97.48	99.68
900	69.54	71.75	73.97	76.19	78.40	80.62	82.84	85.05	87.27	89.49	91.71	93.92	96.14	98.36	100.57

**Tabla 1.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva (continuación)**

Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.305	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.74	3.048	3.355	3.658	3.962	4.267	4.572
300	3.53	6.65	9.77	12.89	16.00	19.12	22.24	25.36	28.48	31.60	34.72	37.83	40.95	44.07	47.19
375	3.59	6.68	9.77	12.86	15.96	19.05	22.14	25.23	28.32	31.42	34.51	37.60	40.69	43.78	46.88
450	3.68	6.78	9.88	12.97	16.07	19.16	22.26	25.36	28.45	31.55	34.64	37.74	40.83	43.93	47.03
525	3.79	6.90	10.01	13.11	16.22	19.33	22.44	25.55	28.66	31.76	34.87	37.98	41.09	44.20	47.30
600	3.91	7.04	10.17	13.30	16.43	19.56	22.69	25.82	28.95	32.08	35.22	38.35	41.48	44.61	47.74
675	4.00	7.14	10.27	13.41	16.54	19.67	22.81	25.94	29.08	32.21	35.34	38.48	41.61	44.75	47.88
750	4.11	7.26	10.40	13.55	16.69	19.84	22.98	26.13	29.28	32.42	35.57	38.71	41.86	45.01	48.15
825	4.22	7.37	10.53	13.69	16.84	20.00	23.16	26.32	29.47	32.63	35.79	38.94	42.10	45.26	48.42
900	4.33	7.50	10.67	13.84	17.01	20.18	23.35	26.53	29.70	32.87	36.04	39.21	42.38	45.55	48.72
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.877	5.182	5.486	5.791	6.096	6.401	6.706	7.010	7.315	7.620	7.925	8.230	8.534	8.839	9.144
300	50.31	53.43	56.55	59.67	62.78	65.90	69.02	72.14	75.26	78.38	81.50	84.61	87.73	90.85	93.97
375	49.97	53.06	56.15	59.24	62.33	65.43	68.52	71.61	74.70	77.79	80.89	83.98	87.07	90.16	93.25
450	50.12	53.22	56.31	59.41	62.50	65.60	68.70	71.79	74.89	77.98	81.08	84.18	87.27	90.37	93.46
525	50.41	53.52	56.63	59.74	62.85	65.95	69.06	72.17	75.28	78.39	81.49	84.60	87.71	90.82	93.93
600	50.87	54.00	57.13	60.26	63.39	66.52	69.65	72.78	75.92	79.05	82.18	85.31	88.44	91.57	94.70
675	51.01	54.15	57.28	60.42	63.55	66.69	69.82	72.95	76.09	79.22	82.36	85.49	88.62	91.76	94.89
750	51.30	54.44	57.59	60.73	63.88	67.03	70.17	73.32	76.46	79.61	82.76	85.90	89.05	92.19	95.34
825	51.57	54.73	57.89	61.04	64.20	67.36	70.52	73.67	76.83	79.99	83.14	86.30	89.46	92.62	95.77
900	51.90	55.07	58.24	61.41	64.58	67.75	70.92	74.09	77.27	80.44	83.61	86.78	89.95	93.12	96.29
Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.300	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.743	3.048	3.353	3.658	3.962	4.267	4.572
300	4.52	8.51	12.50	16.49	20.49	24.48	28.47	32.46	36.45	40.44	44.44	48.43	52.42	56.41	60.40
375	4.57	8.50	12.44	16.37	20.31	24.24	28.18	32.11	36.05	39.98	43.92	47.85	51.79	55.72	59.66
450	4.66	8.58	12.50	16.41	20.33	24.25	28.16	32.08	36.00	39.92	43.83	47.75	51.67	55.58	59.50
525	4.77	8.68	12.58	16.49	20.40	24.31	28.22	32.13	36.04	39.95	43.86	47.77	51.68	55.59	59.50
600	4.88	8.80	12.71	16.62	20.54	24.45	28.37	32.28	36.19	40.11	44.02	47.93	51.85	55.76	59.67
675	5.01	8.94	12.87	16.79	20.72	24.64	28.57	32.50	36.42	40.35	44.27	48.20	52.13	56.05	59.98
750	5.16	9.11	13.06	17.01	20.96	24.90	28.85	32.80	36.75	40.70	44.65	48.60	52.55	56.50	60.45
825	5.30	9.28	13.25	17.22	21.19	25.16	29.14	33.11	37.08	41.05	45.02	48.99	52.97	56.94	60.91
900	5.46	9.45	13.45	17.45	21.45	25.45	29.45	33.45	37.44	41.44	45.44	49.44	53.44	57.44	61.43
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.40	68.39	72.38	76.37	80.36	84.36	88.35	92.34	96.33	100.32	104.31	108.31	112.30	116.29	120.28
375	63.59	67.53	71.46	75.40	79.34	83.27	87.21	91.14	95.08	99.01	102.95	106.88	110.82	114.75	118.69
450	63.42	67.34	71.25	75.17	79.09	83.00	86.92	90.84	94.76	98.67	102.59	106.51	110.42	114.34	118.26
525	63.41	67.31	71.22	75.13	79.04	82.95	86.86	90.77	94.68	98.59	102.50	106.41	110.32	114.23	118.14
600	63.59	67.50	71.41	75.33	79.24	83.15	87.07	90.98	94.89	98.81	102.72	106.63	110.55	114.46	118.38
675	63.90	67.83	71.75	75.68	79.61	83.53	87.46	91.38	95.31	99.24	103.16	107.09	111.01	114.94	118.87
750	64.39	68.34	72.29	76.24	80.19	84.14	88.09	92.04	95.99	99.94	103.88	107.83	111.78	115.73	119.68
825	64.88	68.85	72.83	76.80	80.77	84.74	88.71	92.69	96.66	100.63	104.60	108.57	112.54	116.52	120.49
900	65.43	69.43	73.43	77.43	81.43	85.43	89.42	93.42	97.42	101.42	105.42	109.42	113.42	117.41	121.41
Instalación Tipo IV															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.305	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.743	3.048	3.353	3.658	3.962	4.267	4.572
300	6.88	12.96	19.04	25.12	31.20	37.28	43.36	49.44	55.52	61.60	67.68	73.76	79.84	85.92	92.00
375	6.89	12.82	18.76	24.69	30.62	36.56	42.49	48.42	54.36	60.29	66.22	72.16	78.09	84.03	89.96
450	6.96	12.81	18.65	24.50	30.35	36.19	42.04	47.89	53.73	59.58	65.43	71.27	77.12	82.97	88.82
525	7.04	12.82	18.59	24.37	30.14	35.92	41.70	47.47	53.25	59.02	64.80	70.57	76.35	82.12	87.90
600	7.14	12.86	18.59	24.31	30.03	35.75	41.48	47.20	52.92	58.64	64.36	70.09	75.81	81.53	87.25
675	7.25	12.94	18.62	24.30	29.98	35.66	41.34	47.02	52.70	58.38	64.06	69.74	75.42	81.10	86.78
750	7.39	13.04	18.69	24.35	30.00	35.66	41.31	46.96	52.62	58.27	63.93	69.58	75.23	80.89	86.54
825	7.51	13.14	18.77	24.39	30.02	35.64	41.27	46.90	52.52	58.15	63.77	69.40	75.03	80.65	86.28
900	7.65	13.25	18.85	24.45	30.06	35.66	41.26	46.87	52.47	58.07	63.67	69.28	74.88	80.48	86.09

**Tabla 1.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva**

Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	89.61	53.28	38.75	33.91	31.48	30.27	31.48	32.70	33.91	36.33	38.75	39.96	43.59	46.02	48.44
375	83.55	49.65	37.54	32.70	30.27	30.27	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
450	75.08	47.23	36.33	31.48	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	37.54	38.75	42.38	44.80	47.23
525	62.97	46.02	35.12	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	46.02
600	55.70	44.80	33.91	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	46.02
675	49.65	43.59	33.91	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	47.23
750	47.23	39.96	32.70	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
825	44.80	37.54	32.70	29.06	29.06	29.06	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
900	43.59	35.12	32.70	29.06	29.06	29.06	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	47.23
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	50.86	53.28	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	72.66	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98	88.40
375	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	62.97	65.39	69.02	71.45	73.87	76.29	78.71	82.34	84.77	87.19
450	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.10
525	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	84.77
600	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	76.29	78.71	82.34	84.77
675	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
750	49.65	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
825	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
900	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	62.97	65.39	69.02	71.45	73.87	76.29	78.71	82.34	84.77	87.19
Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	82.34	50.86	38.75	35.12	33.91	33.91	36.33	38.75	41.17	43.59	47.23	50.86	53.28	56.91	60.55
375	76.29	47.23	37.54	33.91	32.70	33.91	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
450	70.23	46.02	36.33	32.70	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
525	59.34	43.59	35.12	32.70	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
600	50.86	42.38	35.12	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
675	47.23	41.17	33.91	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
750	44.80	39.96	33.91	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	53.28	55.70	59.34
825	42.38	36.33	32.70	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	53.28	55.70	59.34
900	41.17	33.91	32.70	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	41.17	43.59	47.23	49.65	53.28	56.91	59.34
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.18	67.81	71.45	73.87	77.50	81.13	84.77	88.40	92.03	95.66	99.30	102.93	106.56	110.20	113.83
375	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	83.55	87.19	90.82	94.45	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
450	61.76	66.60	69.02	72.66	76.29	78.71	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	106.56	110.20
525	61.76	66.60	69.02	72.66	75.08	78.71	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	102.93	106.56	110.20
600	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	82.34	87.19	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
675	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	110.20
750	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	83.55	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
825	62.97	66.60	70.23	72.66	76.29	79.92	83.55	87.19	90.82	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
900	62.97	66.60	70.23	73.87	77.50	79.92	83.55	87.19	90.82	94.45	98.09	101.72	104.14	107.77	111.41

**Tabla 1.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva (continuación)**

Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	84.04	53.28	42.38	38.75	38.75	41.17	43.59	47.23	50.86	54.49	59.34	62.97	67.81	71.45	76.29
375	77.50	49.65	41.17	37.54	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	58.13	61.76	66.60	70.23	73.87
450	71.45	48.44	39.96	37.54	37.54	39.96	42.38	44.80	49.65	53.28	56.91	60.55	66.60	69.02	73.87
525	60.55	46.02	38.75	36.33	36.33	39.96	42.38	44.80	49.65	52.07	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
600	52.07	44.80	37.54	36.33	36.33	39.96	41.17	44.80	49.65	52.07	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
675	48.44	43.59	37.54	36.33	36.33	39.96	42.38	44.80	49.65	53.28	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
750	46.02	42.38	37.54	36.33	36.33	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	56.91	61.76	66.60	69.02	73.87
825	44.80	39.96	36.33	36.33	36.33	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	58.13	61.76	66.60	70.23	73.87
900	43.59	37.54	36.33	36.33	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	54.49	58.13	61.76	66.60	70.23	75.08
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	81.13	85.98	89.61	94.45	99.30	104.14	107.77	112.62	117.46	122.30	127.15	131.99	136.84	140.47	145.31
375	78.71	83.55	87.19	92.03	96.88	100.51	105.35	110.20	115.04	118.67	123.52	128.36	131.99	136.84	141.68
450	77.50	82.34	85.98	90.82	95.66	99.30	104.14	108.98	112.62	117.46	121.09	125.94	130.78	135.63	139.26
525	77.50	81.13	85.98	90.82	94.45	99.30	102.93	107.77	112.62	116.25	121.09	124.73	129.57	134.41	138.05
600	77.50	81.13	85.98	89.61	94.45	99.30	102.93	107.77	111.41	116.25	121.09	124.73	129.57	133.20	138.05
675	77.50	82.34	85.98	90.82	94.45	99.30	102.93	107.77	111.41	116.25	121.09	124.73	129.57	134.41	138.05
750	77.50	82.34	85.98	90.82	94.45	99.30	104.14	107.77	112.62	116.25	121.09	125.94	129.57	134.41	139.26
825	78.71	82.34	87.19	90.82	95.66	100.51	104.14	108.98	112.62	117.46	122.30	125.94	130.78	135.63	139.26
900	78.71	83.55	87.19	92.03	96.88	100.51	105.35	108.98	113.83	118.67	122.30	127.15	131.99	135.63	140.47
Instalación Tipo IV															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	108.98	70.96	59.34	55.70	55.70	59.34	64.18	70.23	76.29	82.34	88.40	95.66	101.72	108.98	115.04
375	101.72	66.60	55.70	53.28	54.49	58.13	61.76	67.81	73.87	78.71	85.98	92.03	98.09	105.35	111.41
450	93.24	64.18	54.49	52.07	53.28	56.91	60.55	66.60	71.45	77.50	83.55	89.61	95.66	102.93	108.98
525	78.71	61.76	52.07	50.86	52.07	55.70	60.55	65.39	70.23	76.29	82.34	88.40	94.45	100.51	106.56
600	69.02	60.55	52.07	49.65	52.07	54.49	59.34	64.18	70.23	76.29	81.13	87.19	93.24	99.30	106.56
675	61.76	58.13	50.86	49.65	50.86	54.49	59.34	64.18	70.23	75.08	81.13	87.19	93.24	99.30	105.35
750	55.70	56.91	49.65	49.65	50.86	54.49	59.34	64.18	69.02	75.08	81.13	87.19	93.24	99.30	105.35
825	50.86	52.07	49.65	48.44	50.86	54.49	59.34	64.18	69.02	75.08	81.13	85.98	92.03	98.09	104.14
900	47.23	49.65	49.65	48.44	50.86	54.49	59.34	64.18	69.02	75.08	81.13	85.98	92.03	98.09	104.14

**Diseño hidráulico**

Para facilitar la selección del tipo y diámetro del tubo que permita el comportamiento hidráulico adecuado de la alcantarilla que se proyecta instalar, se incluyen cinco tablas. Estas tablas contemplan los tres casos más comunes de usos para la tubería de concreto:

- Alcantarillas para caminos y carreteras.
- Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje.
- Alcantarillado pluvial y sanitario.

El cálculo de los parámetros que intervienen en el diseño se obtuvo a partir de las definiciones y valores dados en la tabla 1.17, que presenta información útil para el diseño hidráulico de tuberías y mediante la aplicación de las fórmulas de Manning y de flujo crítico.

$$Q = A (gD)^{1/2}$$

para flujo crítico

$$Q = (A R^{2/3} S^{1/2})/n$$

para flujo normal (Manning)

Siendo:

Q = caudal de diseño

g = 9,8 m/s, aceleración de la gravedad

A = área hidráulica

D = profundidad hidráulica

R = radio hidráulico

S = pendiente de la tubería

D = diámetro interno del tubo

n = 0,013, coeficiente de rugosidad de Manning para tubos de concreto.

El valor de n = 0,013 es un valor de diseño que toma en cuenta la rugosidad propia del tubo y del sistema de alcantarillado con pozos u obstrucciones. De acuerdo con estudios conducidos en la Universidad de Utah y publicados por la ACPA, el valor de laboratorio normalmente es de 0,009 a 0,010 y es igual al de otros sistemas de tuberías como PVC.

Tabla 1.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva

Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	2.48	4.66	6.85	9.04	11.22	13.41	15.60	17.79	19.97	22.16	24.35	26.53	28.72	30.91	33.09
375	2.51	4.67	6.82	8.98	11.14	13.30	15.46	17.62	19.78	21.94	24.10	26.25	28.41	30.57	32.73
450	2.56	4.71	6.87	9.02	11.17	13.32	15.47	17.63	19.78	21.93	24.08	26.24	28.39	30.54	32.69
525	2.62	4.77	6.92	9.08	11.23	13.38	15.53	17.68	19.83	21.98	24.13	26.28	28.43	30.58	32.74
600	2.69	4.85	7.00	9.16	11.32	13.47	15.63	17.79	19.94	22.10	24.26	26.41	28.57	30.72	32.88
675	2.77	4.93	7.10	9.27	11.43	13.60	15.77	17.93	20.10	22.27	24.43	26.60	28.77	30.93	33.10
750	2.85	5.03	7.22	9.40	11.58	13.76	15.95	18.13	20.31	22.50	24.68	26.86	29.04	31.23	33.41
825	2.94	5.14	7.33	9.53	11.73	13.93	16.13	18.33	20.53	22.72	24.92	27.12	29.32	31.52	33.72
900	3.03	5.24	7.46	9.68	11.89	14.11	16.33	18.54	20.76	22.98	25.20	27.41	29.63	31.85	34.06
1050	3.16	5.39	7.61	9.83	12.05	14.28	16.50	18.72	20.95	23.17	25.39	27.62	29.84	32.06	34.28
1200	3.30	5.53	7.76	9.99	12.23	14.46	16.69	18.92	21.15	23.38	25.61	27.84	30.07	32.30	34.53
1350	3.45	5.69	7.94	10.18	12.42	14.66	16.91	19.15	21.39	23.63	25.87	28.12	30.36	32.60	34.84
1500	3.60	5.85	8.11	10.36	12.62	14.87	17.13	19.38	21.64	23.89	26.14	28.40	30.65	32.91	35.16
1650	3.76	6.03	8.30	10.56	12.83	15.10	17.37	19.64	21.91	24.18	26.45	28.72	30.99	33.26	35.53
1800	3.91	6.20	8.48	10.77	13.05	15.33	17.62	19.90	22.19	24.47	26.75	29.04	31.32	33.61	35.89
1950	4.06	6.35	8.64	10.93	13.22	15.51	17.80	20.09	22.38	24.67	26.96	29.25	31.54	33.83	36.13
2100	4.20	6.50	8.80	11.09	13.39	15.68	17.98	20.28	22.57	24.87	27.17	29.46	31.76	34.06	36.35
2250	4.35	6.65	8.96	11.26	13.57	15.87	18.17	20.48	22.78	25.09	27.39	29.69	32.00	34.30	36.61
2400	4.50	6.81	9.12	11.43	13.74	16.05	18.36	20.67	22.99	25.30	27.61	29.92	32.23	34.54	36.85
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	35.28	37.47	39.66	41.84	44.03	46.22	48.40	50.59	52.78	54.97	57.15	59.34	61.53	63.71	65.90
375	34.89	37.05	39.21	41.37	43.53	45.69	47.84	50.00	52.16	54.32	56.48	58.64	60.80	62.96	65.12
450	34.84	37.00	39.15	41.30	43.45	45.60	47.76	49.91	52.06	54.21	56.37	58.52	60.67	62.82	64.97
525	34.89	37.04	39.19	41.34	43.49	45.64	47.79	49.94	52.09	54.24	56.40	58.55	60.70	62.85	65.00
600	35.04	37.19	39.35	41.51	43.66	45.82	47.98	50.13	52.29	54.45	56.60	58.76	60.91	63.07	65.23
675	35.26	37.43	39.60	41.76	43.93	46.10	48.26	50.43	52.60	54.76	56.93	59.10	61.26	63.43	65.60
750	35.59	37.77	39.96	42.14	44.32	46.50	48.69	50.87	53.05	55.23	57.42	59.60	61.78	63.96	66.15
825	35.92	38.12	40.31	42.51	44.71	46.91	49.11	51.31	53.51	55.71	57.90	60.10	62.30	64.50	66.70
900	36.28	38.50	40.71	42.93	45.15	47.37	49.58	51.80	54.02	56.23	58.45	60.67	62.88	65.10	67.32
1050	36.51	38.73	40.95	43.18	45.40	47.62	49.85	52.07	54.29	56.51	58.74	60.96	63.18	65.41	67.63
1200	36.76	38.99	41.22	43.45	45.68	47.92	50.15	52.38	54.61	56.84	59.07	61.30	63.53	65.76	67.99
1350	37.09	39.33	41.57	43.81	46.06	48.30	50.54	52.78	55.02	57.27	59.51	61.75	63.99	66.24	68.48
1500	37.42	39.67	41.93	44.18	46.43	48.69	50.94	53.20	55.45	57.71	59.96	62.22	64.47	66.72	68.98
1650	37.80	40.06	42.33	44.60	46.87	49.14	51.41	53.68	55.95	58.22	60.49	62.76	65.03	67.30	69.56
1800	38.17	40.46	42.74	45.03	47.31	49.59	51.88	54.16	56.45	58.73	61.01	63.30	65.58	67.87	70.15
1950	38.42	40.71	43.00	45.29	47.58	49.87	52.16	54.45	56.74	59.03	61.32	63.61	65.90	68.19	70.48
2100	38.65	40.95	43.24	45.54	47.84	50.13	52.43	54.73	57.02	59.32	61.62	63.91	66.21	68.50	70.80
2250	38.91	41.21	43.52	45.82	48.13	50.43	52.73	55.04	57.34	59.65	61.95	64.26	66.56	68.86	71.17
2400	39.16	41.47	43.79	46.10	48.41	50.72	53.03	55.34	57.65	59.96	62.27	64.58	66.90	69.21	71.52
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.45	9.75	10.06	10.36	10.67	10.97	11.28	11.58	11.89	12.19	12.50	12.80	13.11	13.41	13.72
300	68.09	70.28	72.46	74.65	76.84	79.02	81.21	83.40	85.59	87.77	89.96	92.15	94.33	96.52	98.71
375	67.28	69.43	71.59	73.75	75.91	78.07	80.23	82.39	84.55	86.71	88.87	91.02	93.18	95.34	97.50
450	67.13	69.28	71.43	73.58	75.73	77.89	80.04	82.19	84.34	86.50	88.65	90.80	92.95	95.10	97.26
525	67.15	69.30	71.45	73.60	75.75	77.90	80.06	82.21	84.36	86.51	88.66	90.81	92.96	95.11	97.26
600	67.38	69.54	71.70	73.85	76.01	78.17	80.32	82.48	84.63	86.79	88.95	91.10	93.26	95.42	97.57
675	67.76	69.93	72.10	74.26	76.43	78.60	80.76	82.93	85.09	87.26	89.43	91.59	93.76	95.93	98.09
750	68.33	70.51	72.70	74.88	77.06	79.24	81.43	83.61	85.79	87.97	90.16	92.34	94.52	96.70	98.89
825	68.90	71.10	73.29	75.49	77.69	79.89	82.09	84.29	86.49	88.69	90.88	93.08	95.28	97.48	99.68
900	69.54	71.75	73.97	76.19	78.40	80.62	82.84	85.05	87.27	89.49	91.71	93.92	96.14	98.36	100.60
1050	69.85	72.08	74.30	76.52	78.74	80.97	83.19	85.41	87.64	89.86	92.08	94.31	96.53	98.75	101.00
1200	70.22	72.45	74.68	76.91	79.14	81.37	83.60	85.84	88.07	90.30	92.53	94.76	96.99	99.22	101.40
1350	70.72	72.96	75.21	77.45	79.69	81.93	84.18	86.42	88.66	90.90	93.14	95.39	97.63	99.87	102.10
1500	71.23	73.49	75.74	78.00	80.25	82.50	84.76	87.01	89.27	91.52	93.78	96.03	98.29	100.50	102.80
1650	71.83	74.10	76.37	78.64	80.91	83.18	85.45	87.72	89.99	92.26	94.53	96.80	99.07	101.30	103.60
1800	72.43	74.72	77.00	79.29	81.57	83.85	86.14	88.42	90.71	92.99	95.27	97.56	99.84	102.10	104.40
1950	72.77	75.06	77.35	79.64	81.94	84.23	86.52	88.81	91.10	93.39	95.68	97.97	100.30	102.50	104.80
2100	73.10	75.39	77.69	79.99	82.28	84.58	86.88	89.17	91.47	93.77	96.06	98.36	100.70	103.00	105.20
2250	73.47	75.78	78.08	80.38	82.69	84.99	87.30	89.60	91.90	94.21	96.51	98.82	101.10	103.40	105.70
2400	73.83	76.14	78.45	80.76	83.07	85.38	87.70	90.01	92.32	94.63	96.94	99.25	101.60	103.90	106.20

**Tabla 1.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva (continuación)**

Instalación Tipo I (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	14.02	14.33	14.63	14.94	15.24	15.54	15.85	16.15	16.46	16.76	17.07	17.37	17.68	17.98	18.29
300	100.90	103.08	105.27	107.46	109.64	111.83	114.02	116.20	118.39	120.58	122.77	124.95	127.14	129.33	131.51
375	99.66	101.82	103.98	106.14	108.30	110.46	112.61	114.77	116.93	119.09	121.25	123.41	125.57	127.73	129.89
450	99.41	101.56	103.71	105.86	108.02	110.17	112.32	114.47	116.63	118.78	120.93	123.08	125.23	127.39	129.54
525	99.41	101.57	103.72	105.87	108.02	110.17	112.32	114.47	116.62	118.77	120.92	123.07	125.23	127.38	129.53
600	99.73	101.89	104.04	106.20	108.36	110.51	112.67	114.82	116.98	119.14	121.29	123.45	125.61	127.76	129.92
675	100.26	102.43	104.59	106.76	108.93	111.09	113.26	115.43	117.59	119.76	121.93	124.09	126.26	128.43	130.59
750	101.07	103.25	105.43	107.62	109.80	111.98	114.17	116.35	118.53	120.71	122.90	125.08	127.26	129.44	131.63
825	101.88	104.08	106.28	108.47	110.67	112.87	115.07	117.27	119.47	121.67	123.87	126.06	128.26	130.46	132.66
900	102.79	105.01	107.23	109.44	111.66	113.88	116.09	118.31	120.53	122.74	124.96	127.18	129.40	131.61	133.83
1050	103.20	105.42	107.64	109.87	112.09	114.31	116.53	118.76	120.98	123.20	125.43	127.65	129.87	132.10	134.32
1200	103.68	105.91	108.14	110.37	112.60	114.83	117.06	119.29	121.52	123.76	125.99	128.22	130.45	132.68	134.91
1350	104.36	106.60	108.84	111.08	113.33	115.57	117.81	120.05	122.29	124.54	126.78	129.02	131.26	133.51	135.75
1500	105.05	107.30	109.56	111.81	114.07	116.32	118.58	120.83	123.08	125.34	127.59	129.85	132.10	134.36	136.61
1650	105.87	108.14	110.41	112.68	114.95	117.22	119.49	121.76	124.03	126.30	128.57	130.83	133.10	135.37	137.64
1800	106.69	108.98	111.26	113.55	115.83	118.11	120.40	122.68	124.97	127.25	129.53	131.82	134.10	136.39	138.67
1950	107.13	109.42	111.71	114.00	116.29	118.58	120.87	123.16	125.45	127.75	130.04	132.33	134.62	136.91	139.20
2100	107.55	109.84	112.14	114.44	116.73	119.03	121.32	123.62	125.92	128.21	130.51	132.81	135.10	137.40	139.70
2250	108.03	110.34	112.64	114.94	117.25	119.55	121.86	124.16	126.46	128.77	131.07	133.38	135.68	137.98	140.29
2400	108.49	110.81	113.12	115.43	117.74	120.05	122.36	124.67	126.98	129.29	131.61	133.92	136.23	138.54	140.85
Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.3048	0.6096	0.9144	1.2192	1.5240	1.8288	2.1336	2.4384	2.7432	3.0480	3.3528	3.6576	3.9624	4.2672	4.5720
300	3.53	6.65	9.77	12.89	16.00	19.12	22.24	25.36	28.48	31.60	34.72	37.83	40.95	44.07	47.19
375	3.59	6.68	9.77	12.86	15.96	19.05	22.14	25.23	28.32	31.42	34.51	37.60	40.69	43.78	46.88
450	3.68	6.78	9.88	12.97	16.07	19.16	22.26	25.36	28.45	31.55	34.64	37.74	40.83	43.93	47.03
525	3.79	6.90	10.01	13.11	16.22	19.33	22.44	25.55	28.66	31.76	34.87	37.98	41.09	44.20	47.30
600	3.91	7.04	10.17	13.30	16.43	19.56	22.69	25.82	28.95	32.08	35.22	38.35	41.48	44.61	47.74
675	4.00	7.14	10.27	13.41	16.54	19.67	22.81	25.94	29.08	32.21	35.34	38.48	41.61	44.75	47.88
750	4.11	7.26	10.40	13.55	16.69	19.84	22.98	26.13	29.28	32.42	35.57	38.71	41.86	45.01	48.15
825	4.22	7.37	10.53	13.69	16.84	20.00	23.16	26.32	29.47	32.63	35.79	38.94	42.10	45.26	48.42
900	4.33	7.50	10.67	13.84	17.01	20.18	23.35	26.53	29.70	32.87	36.04	39.21	42.38	45.55	48.72
1050	4.51	7.68	10.86	14.03	17.20	20.37	23.54	26.71	29.88	33.06	36.23	39.40	42.57	45.74	48.91
1200	4.70	7.87	11.05	14.22	17.40	20.57	23.74	26.92	30.09	33.27	36.44	39.61	42.79	45.96	49.14
1350	4.90	8.08	11.26	14.44	17.63	20.81	23.99	27.17	30.35	33.54	36.72	39.90	43.08	46.26	49.45
1500	5.10	8.29	11.48	14.67	17.86	21.05	24.24	27.43	30.62	33.81	37.00	40.19	43.38	46.57	49.76
1650	5.30	8.50	11.71	14.91	18.11	21.32	24.52	27.72	30.92	34.13	37.33	40.53	43.73	46.94	50.14
1800	5.51	8.72	11.94	15.15	18.37	21.58	24.80	28.01	31.22	34.44	37.65	40.87	44.08	47.30	50.51
1950	5.69	8.90	12.11	15.32	18.53	21.74	24.95	28.16	31.37	34.58	37.79	41.00	44.21	47.42	50.63
2100	5.86	9.07	12.27	15.48	18.68	21.89	25.09	28.30	31.50	34.70	37.91	41.11	44.32	47.52	50.73
2250	6.04	9.25	12.45	15.65	18.85	22.05	25.25	28.45	31.65	34.85	38.06	41.26	44.46	47.66	50.86
2400	6.22	9.42	12.62	15.81	19.01	22.21	25.40	28.60	31.80	35.00	38.19	41.39	44.59	47.78	50.98
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.8768	5.1816	5.4864	5.7912	6.0960	6.4008	6.7056	7.0104	7.3152	7.6200	7.9248	8.2296	8.5344	8.8392	9.1440
300	50.31	53.43	56.55	59.67	62.78	65.90	69.02	72.14	75.26	78.38	81.50	84.61	87.73	90.85	93.97
375	49.97	53.06	56.15	59.24	62.33	65.43	68.52	71.61	74.70	77.79	80.89	83.98	87.07	90.16	93.25
450	50.12	53.22	56.31	59.41	62.50	65.60	68.70	71.79	74.89	77.98	81.08	84.18	87.27	90.37	93.46
525	50.41	53.52	56.63	59.74	62.85	65.95	69.06	72.17	75.28	78.39	81.49	84.60	87.71	90.82	93.93
600	50.87	54.00	57.13	60.26	63.39	66.52	69.65	72.78	75.92	79.05	82.18	85.31	88.44	91.57	94.70
675	51.01	54.15	57.28	60.42	63.55	66.69	69.82	72.95	76.09	79.22	82.36	85.49	88.62	91.76	94.89
750	51.30	54.44	57.59	60.73	63.88	67.03	70.17	73.32	76.46	79.61	82.76	85.90	89.05	92.19	95.34
825	51.57	54.73	57.89	61.04	64.20	67.36	70.52	73.67	76.83	79.99	83.14	86.30	89.46	92.62	95.77
900	51.90	55.07	58.24	61.41	64.58	67.75	70.92	74.09	77.27	80.44	83.61	86.78	89.95	93.12	96.29
1050	52.08	55.26	58.43	61.60	64.77	67.94	71.11	74.28	77.46	80.63	83.80	86.97	90.14	93.31	96.49
1200	52.31	55.48	58.66	61.83	65.00	68.18	71.35	74.53	77.70	80.87	84.05	87.22	90.40	93.57	96.74
1350	52.63	55.81	58.99	62.18	65.36	68.54	71.72	74.90	78.09	81.27	84.45	87.63	90.81	94.00	97.18
1500	52.95	56.14	59.34	62.53	65.72	68.91	72.10	75.29	78.48	81.67	84.86	88.05	91.24	94.43	97.62
1650	53.34	56.55	59.75	62.95	66.15	69.36	72.56	75.76	78.96	82.17	85.37	88.57	91.78	94.98	98.18
1800	53.73	56.94	60.16	63.37	66.58	69.80	73.01	76.23	79.44	82.66	85.87	89.09	92.30	95.52	98.73
1950	53.84	57.05	60.26	63.47	66.68	69.89	73.10	76.31	79.52	82.72	85.93	89.14	92.35	95.56	98.77
2100	53.93	57.14	60.34	63.55	66.75	69.95	73.16	76.36	79.57	82.77	85.98	89.18	92.39	95.59	98.80
2250	54.06	57.26	60.46	63.67	66.87	70.07	73.27	76.47	79.67	82.87	86.07	89.28	92.48	95.68	98.88
2400	54.18	57.37	60.57	63.77	66.97	70.16	73.36	76.56	79.75	82.95	86.15	89.35	92.54	95.74	98.94

**Tabla 1.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva (continuación)**

Instalación Tipo II (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.4488	9.7536	10.0584	10.3632	10.6680	10.9728	11.2776	11.5824	11.8872	12.1920	12.4968	12.8016	13.1064	13.4112	13.7160
300	97.09	100.21	103.33	106.45	109.56	112.68	115.80	118.92	122.04	125.16	128.28	131.39	134.51	137.63	140.75
375	96.35	99.44	102.53	105.62	108.71	111.80	114.90	117.99	121.08	124.17	127.26	130.36	133.45	136.54	139.63
450	96.56	99.65	102.75	105.85	108.94	112.04	115.13	118.23	121.33	124.42	127.52	130.61	133.71	136.80	139.90
525	97.04	100.14	103.25	106.36	109.47	112.58	115.68	118.79	121.90	125.01	128.12	131.23	134.33	137.44	140.55
600	97.83	100.96	104.09	107.22	110.35	113.48	116.62	119.75	122.88	126.01	129.14	132.27	135.40	138.53	141.66
675	98.03	101.16	104.30	107.43	110.56	113.70	116.83	119.97	123.10	126.23	129.37	132.50	135.64	138.77	141.91
750	98.48	101.63	104.78	107.92	111.07	114.21	117.36	120.51	123.65	126.80	129.94	133.09	136.23	139.38	142.53
825	98.93	102.09	105.24	108.40	111.56	114.72	117.87	121.03	124.19	127.34	130.50	133.66	136.82	139.97	143.13
900	99.46	102.63	105.81	108.98	112.15	115.32	118.49	121.66	124.83	128.00	131.18	134.35	137.52	140.69	143.86
1050	99.66	102.83	106.00	109.17	112.34	115.51	118.69	121.86	125.03	128.20	131.37	134.54	137.71	140.89	144.06
1200	99.92	103.09	106.27	109.44	112.61	115.79	118.96	122.14	125.31	128.48	131.66	134.83	138.01	141.18	144.35
1350	100.36	103.54	106.72	109.91	113.09	116.27	119.45	122.64	125.82	129.00	132.18	135.36	138.55	141.73	144.91
1500	100.81	104.00	107.19	110.38	113.57	116.77	119.96	123.15	126.34	129.53	132.72	135.91	139.10	142.29	145.48
1650	101.38	104.59	107.79	110.99	114.19	117.40	120.60	123.80	127.00	130.21	133.41	136.61	139.82	143.02	146.22
1800	101.94	105.16	108.37	111.59	114.80	118.02	121.23	124.45	127.66	130.88	134.09	137.30	140.52	143.73	146.95
1950	101.98	105.19	108.40	111.61	114.82	118.03	121.24	124.45	127.66	130.87	134.08	137.29	140.50	143.71	146.92
2100	102.00	105.20	108.41	111.61	114.82	118.02	121.23	124.43	127.64	130.84	134.05	137.25	140.46	143.66	146.86
2250	102.08	105.28	108.48	111.68	114.89	118.09	121.29	124.49	127.69	130.89	134.09	137.29	140.49	143.70	146.90
2400	102.13	105.33	108.53	111.73	114.92	118.12	121.32	124.51	127.71	130.91	134.10	137.30	140.50	143.70	146.89
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	14.0208	14.3256	14.6304	14.9352	15.2400	15.5448	15.8496	16.1544	16.4592	16.7640	17.0688	17.3736	17.6784	17.9832	18.2880
300	143.87	146.99	150.11	153.22	156.34	159.46	162.58	165.70	168.82	171.94	175.06	178.17	181.29	184.41	187.53
375	142.72	145.82	148.91	152.00	155.09	158.18	161.27	164.37	167.46	170.55	173.64	176.73	179.83	182.92	186.01
450	143.00	146.09	149.19	152.28	155.38	158.47	161.57	164.67	167.76	170.86	173.95	177.05	180.15	183.24	186.34
525	143.66	146.77	149.88	152.98	156.09	159.20	162.31	165.42	168.52	171.63	174.74	177.85	180.96	184.07	187.17
600	144.79	147.92	151.05	154.18	157.32	160.45	163.58	166.71	169.84	172.97	176.10	179.23	182.36	185.49	188.62
675	145.04	148.17	151.31	154.44	157.58	160.71	163.84	166.98	170.11	173.25	176.38	179.52	182.65	185.78	188.92
750	145.67	148.82	151.96	155.11	158.26	161.40	164.55	167.69	170.84	173.98	177.13	180.28	183.42	186.57	189.71
825	146.29	149.44	152.60	155.76	158.91	162.07	165.23	168.39	171.54	174.70	177.86	181.01	184.17	187.33	190.49
900	147.03	150.20	153.37	156.55	159.72	162.89	166.06	169.23	172.40	175.57	178.74	181.92	185.09	188.26	191.43
1050	147.23	150.40	153.57	156.74	159.91	163.09	166.26	169.43	172.60	175.77	178.94	182.11	185.29	188.46	191.63
1200	147.53	150.70	153.88	157.05	160.22	163.40	166.57	169.75	172.92	176.09	179.27	182.44	185.61	188.79	191.96
1350	148.09	151.27	154.46	157.64	160.82	164.00	167.18	170.37	173.55	176.73	179.91	183.10	186.28	189.46	192.64
1500	148.67	151.86	155.05	158.24	161.43	164.62	167.81	171.00	174.20	177.39	180.58	183.77	186.96	190.15	193.34
1650	149.42	152.63	155.83	159.03	162.23	165.44	168.64	171.84	175.05	178.25	181.45	184.65	187.86	191.06	194.26
1800	150.16	153.38	156.59	159.81	163.02	166.24	169.45	172.66	175.88	179.09	182.31	185.52	188.74	191.95	195.17
1950	150.13	153.34	156.55	159.76	162.97	166.18	169.39	172.60	175.81	179.02	182.23	185.44	188.65	191.86	195.07
2100	150.07	153.27	156.48	159.68	162.89	166.09	169.30	172.50	175.71	178.91	182.11	185.32	188.52	191.73	194.93
2250	150.10	153.30	156.50	159.70	162.90	166.10	169.31	172.51	175.71	178.91	182.11	185.31	188.51	191.71	194.92
2400	150.09	153.29	156.48	159.68	162.88	166.08	169.27	172.47	175.67	178.86	182.06	185.26	188.45	191.65	194.85
Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.3048	0.6096	0.9144	1.2192	1.5240	1.8288	2.1336	2.4384	2.7432	3.0480	3.3528	3.6576	3.9624	4.2672	4.5720
300	4.52	8.51	12.50	16.49	20.49	24.48	28.47	32.46	36.45	40.44	44.44	48.43	52.42	56.41	60.40
375	4.57	8.50	12.44	16.37	20.31	24.24	28.18	32.11	36.05	39.98	43.92	47.85	51.79	55.72	59.66
450	4.66	8.58	12.50	16.41	20.33	24.25	28.16	32.08	36.00	39.92	43.83	47.75	51.67	55.58	59.50
525	4.77	8.68	12.58	16.49	20.40	24.31	28.22	32.13	36.04	39.95	43.86	47.77	51.68	55.59	59.50
600	4.88	8.80	12.71	16.62	20.54	24.45	28.37	32.28	36.19	40.11	44.02	47.93	51.85	55.76	59.67
675	5.01	8.94	12.87	16.79	20.72	24.64	28.57	32.50	36.42	40.35	44.27	48.20	52.13	56.05	59.98
750	5.16	9.11	13.06	17.01	20.96	24.90	28.85	32.80	36.75	40.70	44.65	48.60	52.55	56.50	60.45
825	5.30	9.28	13.25	17.22	21.19	25.16	29.14	33.11	37.08	41.05	45.02	48.99	52.97	56.94	60.91
900	5.46	9.45	13.45	17.45	21.45	25.45	29.45	33.45	37.44	41.44	45.44	49.44	53.44	57.44	61.43
1050	5.70	9.70	13.71	17.71	21.72	25.72	29.73	33.73	37.74	41.74	45.75	49.75	53.76	57.76	61.77
1200	5.94	9.96	13.97	17.99	22.00	26.01	30.03	34.04	38.06	42.07	46.09	50.10	54.11	58.13	62.14
1350	6.20	10.23	14.26	18.30	22.33	26.36	30.39	34.42	38.45	42.48	46.51	50.54	54.57	58.60	62.63
1500	6.46	10.51	14.56	18.61	22.66	26.70	30.75	34.80	38.85	42.89	46.94	50.99	55.04	59.08	63.13
1650	6.74	10.81	14.88	18.95	23.02	27.09	31.15	35.22	39.29	43.36	47.43	51.50	55.57	59.64	63.71
1800	7.01	11.10	15.19	19.28	23.38	27.47	31.56	35.65	39.74	43.83	47.92	52.01	56.11	60.20	64.29
1950	7.24	11.32	15.41	19.49	23.58	27.66	31.75	35.84	39.92	44.01	48.09	52.18	56.26	60.35	64.43
2100	7.46	11.54	15.62	19.70	23.78	27.86	31.93	36.01	40.09	44.17	48.25	52.33	56.41	60.48	64.56
2250	7.69	11.77	15.84	19.92	23.99	28.06	32.14	36.21	40.29	44.36	48.44	52.51	56.58	60.66	64.73
2400	7.92	11.99	16.06	20.13	24.19	28.26	32.33	36.40	40.47	44.54	48.61	52.68	56.75	60.82	64.88

**Tabla 1.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva (continuación)**

Instalación Tipo III (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.40	68.39	72.38	76.37	80.36	84.36	88.35	92.34	96.33	100.32	104.31	108.31	112.30	116.29	120.28
375	63.59	67.53	71.46	75.40	79.34	83.27	87.21	91.14	95.08	99.01	102.95	106.88	110.82	114.75	118.69
450	63.42	67.34	71.25	75.17	79.09	83.00	86.92	90.84	94.76	98.67	102.59	106.51	110.42	114.34	118.26
525	63.41	67.31	71.22	75.13	79.04	82.95	86.86	90.77	94.68	98.59	102.50	106.41	110.32	114.23	118.14
600	63.59	67.50	71.41	75.33	79.24	83.15	87.07	90.98	94.89	98.81	102.72	106.63	110.55	114.46	118.38
675	63.90	67.83	71.75	75.68	79.61	83.53	87.46	91.38	95.31	99.24	103.16	107.09	111.01	114.94	118.87
750	64.39	68.34	72.29	76.24	80.19	84.14	88.09	92.04	95.99	99.94	103.88	107.83	111.78	115.73	119.68
825	64.88	68.85	72.83	76.80	80.77	84.74	88.71	92.69	96.66	100.63	104.60	108.57	112.54	116.52	120.49
900	65.43	69.43	73.43	77.43	81.43	85.43	89.42	93.42	97.42	101.42	105.42	109.42	113.42	117.41	121.41
1050	65.77	69.78	73.78	77.79	81.79	85.80	89.80	93.80	97.81	101.81	105.82	109.82	113.83	117.83	121.84
1200	66.16	70.17	74.18	78.20	82.21	86.23	90.24	94.25	98.27	102.28	106.30	110.31	114.32	118.34	122.35
1350	66.66	70.69	74.72	78.76	82.79	86.82	90.85	94.88	98.91	102.94	106.97	111.00	115.03	119.06	123.09
1500	67.18	71.23	75.28	79.32	83.37	87.42	91.47	95.51	99.56	103.61	107.66	111.71	115.75	119.80	123.85
1650	67.78	71.85	75.92	79.99	84.06	88.13	92.20	96.27	100.34	104.41	108.48	112.55	116.62	120.69	124.76
1800	68.38	72.47	76.56	80.65	84.74	88.84	92.93	97.02	101.11	105.20	109.29	113.38	117.47	121.57	125.66
1950	68.52	72.60	76.69	80.77	84.86	88.94	93.03	97.12	101.20	105.29	109.37	113.46	117.54	121.63	125.71
2100	68.64	72.72	76.80	80.88	84.95	89.03	93.11	97.19	101.27	105.35	109.43	113.50	117.58	121.66	125.74
2250	68.81	72.88	76.95	81.03	85.10	89.18	93.25	97.33	101.40	105.47	109.55	113.62	117.70	121.77	125.85
2400	68.95	73.02	77.09	81.16	85.23	89.30	93.37	97.44	101.51	105.57	109.64	113.71	117.78	121.85	125.92
Instalación Tipo IV															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.3050	0.6096	0.9144	1.2192	1.5240	1.8288	2.1336	2.4384	2.7432	3.0480	3.3528	3.6576	3.9624	4.2672	4.5720
300	6.88	12.96	19.04	25.12	31.20	37.28	43.36	49.44	55.52	61.60	67.68	73.76	79.84	85.92	92.00
375	6.89	12.82	18.76	24.69	30.62	36.56	42.49	48.42	54.36	60.29	66.22	72.16	78.09	84.03	89.96
450	6.96	12.81	18.65	24.50	30.35	36.19	42.04	47.89	53.73	59.58	65.43	71.27	77.12	82.97	88.82
525	7.04	12.82	18.59	24.37	30.14	35.92	41.70	47.47	53.25	59.02	64.80	70.57	76.35	82.12	87.90
600	7.14	12.86	18.59	24.31	30.03	35.75	41.48	47.20	52.92	58.64	64.36	70.09	75.81	81.53	87.25
675	7.25	12.94	18.62	24.30	29.98	35.66	41.34	47.02	52.70	58.38	64.06	69.74	75.42	81.10	86.78
750	7.39	13.04	18.69	24.35	30.00	35.66	41.31	46.96	52.62	58.27	63.93	69.58	75.23	80.89	86.54
825	7.51	13.14	18.77	24.39	30.02	35.64	41.27	46.90	52.52	58.15	63.77	69.40	75.03	80.65	86.28
900	7.65	13.25	18.85	24.45	30.06	35.66	41.26	46.87	52.47	58.07	63.67	69.28	74.88	80.48	86.09
1050	7.93	13.50	19.07	24.64	30.21	35.78	41.35	46.92	52.50	58.07	63.64	69.21	74.78	80.35	85.92
1200	8.21	13.75	19.30	24.84	30.38	35.92	41.47	47.01	52.55	58.10	63.64	69.18	74.73	80.27	85.81
1350	8.50	14.03	19.55	25.08	30.60	36.13	41.66	47.18	52.71	58.23	63.76	69.28	74.81	80.33	85.86
1500	8.80	14.30	19.81	25.32	30.83	36.33	41.84	47.35	52.86	58.36	63.87	69.38	74.89	80.39	85.90
1650	9.10	14.59	20.09	25.59	31.08	36.58	42.07	47.57	53.07	58.56	64.06	69.55	75.05	80.55	86.04
1800	9.40	14.88	20.36	25.85	31.33	36.81	42.30	47.78	53.26	58.75	64.23	69.72	75.20	80.68	86.17
1950	9.70	15.18	20.65	26.13	31.60	37.08	42.56	48.03	53.51	58.98	64.46	69.93	75.41	80.89	86.36
2100	10.00	15.47	20.94	26.40	31.87	37.34	42.80	48.27	53.74	59.20	64.67	70.14	75.60	81.07	86.53
2250	10.31	15.77	21.23	26.69	32.15	37.61	43.08	48.54	54.00	59.46	64.92	70.38	75.84	81.30	86.76
2400	10.61	16.07	21.52	26.97	32.43	37.88	43.34	48.79	54.24	59.70	65.15	70.61	76.06	81.51	86.97
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.8770	5.1816	5.4864	5.7912	6.0960	6.4008	6.7056	7.0104	7.3152	7.6200	7.9248	8.2296	8.5344	8.8392	9.1440
300	98.08	104.16	110.24	116.32	122.40	128.48	134.56	140.64	146.72	152.80	158.88	164.96	171.04	177.12	183.20
375	95.89	101.83	107.76	113.69	119.63	125.56	131.49	137.43	143.36	149.30	155.23	161.16	167.10	173.03	178.96
450	94.66	100.51	106.36	112.20	118.05	123.90	129.74	135.59	141.44	147.28	153.13	158.98	164.83	170.67	176.52
525	93.68	99.45	105.23	111.00	116.78	122.55	128.33	134.11	139.88	145.66	151.43	157.21	162.98	168.76	174.54
600	92.98	98.70	104.42	110.14	115.86	121.59	127.31	133.03	138.75	144.48	150.20	155.92	161.64	167.36	173.09
675	92.46	98.15	103.83	109.51	115.19	120.87	126.55	132.23	137.91	143.59	149.27	154.95	160.63	166.31	171.99
750	92.20	97.85	103.50	109.16	114.81	120.46	126.12	131.77	137.43	143.08	148.73	154.39	160.04	165.70	171.35
825	91.90	97.53	103.16	108.78	114.41	120.04	125.66	131.29	136.91	142.54	148.17	153.79	159.42	165.04	170.67
900	91.69	97.29	102.89	108.50	114.10	119.70	125.31	130.91	136.51	142.12	147.72	153.32	158.92	164.53	170.13
1050	91.49	97.07	102.64	108.21	113.78	119.35	124.92	130.49	136.06	141.63	147.21	152.78	158.35	163.92	169.49
1200	91.36	96.90	102.44	107.99	113.53	119.07	124.62	130.16	135.70	141.25	146.79	152.33	157.88	163.42	168.96
1350	91.38	96.91	102.43	107.96	113.48	119.01	124.53	130.06	135.58	141.11	146.63	152.16	157.68	163.21	168.74
1500	91.41	96.92	102.42	107.93	113.44	118.95	124.45	129.96	135.47	140.98	146.48	151.99	157.50	163.01	168.51
1650	91.54	97.03	102.53	108.03	113.52	119.02	124.51	130.01	135.51	141.00	146.50	151.99	157.49	162.99	168.48
1800	91.65	97.13	102.62	108.10	113.59	119.07	124.55	130.04	135.52	141.00	146.49	151.97	157.45	162.94	168.42
1950	91.84	97.31	102.79	108.26	113.74	119.22	124.69	130.17	135.64	141.12	146.59	152.07	157.55	163.02	168.50
2100	92.00	97.47	102.93	108.40	113.87	119.33	124.80	130.27	135.73	141.20	146.67	152.13	157.60	163.07	168.53
2250	92.22	97.68	103.15	108.61	114.07	119.53	124.99	130.45	135.91	141.37	146.83	152.29	157.75	163.22	168.68
2400	92.42	97.87	103.33	108.78	114.24	119.69	125.14	130.60	136.05	141.51	146.96	152.41	157.87	163.32	168.77

**Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva**

Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	89.60	53.30	38.80	33.90	31.50	30.30	31.50	32.70	33.90	36.30	38.80	40.00	43.60	46.00	48.40
375	83.60	49.60	37.50	32.70	30.30	30.30	30.30	31.50	33.90	35.10	37.50	40.00	42.40	44.80	47.20
450	75.10	47.20	36.30	31.50	29.10	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	37.50	38.80	42.40	44.80	47.20
525	63.00	46.00	35.10	30.30	29.10	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	36.30	38.80	42.40	44.80	46.00
600	55.70	44.80	33.90	30.30	29.10	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	36.30	38.80	42.40	44.80	46.00
675	49.60	43.60	33.90	30.30	29.10	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	36.30	38.80	42.40	44.80	47.20
750	47.20	40.00	32.70	30.30	29.10	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	37.50	40.00	42.40	44.80	47.20
825	44.80	37.50	32.70	29.10	29.10	29.10	30.30	31.50	33.90	35.10	37.50	40.00	42.40	44.80	47.20
900	43.60	35.10	32.70	29.10	29.10	29.10	30.30	31.50	33.90	35.10	37.50	40.00	43.60	46.00	47.20
1050	40.00	31.50	31.50	29.10	29.10	29.10	30.30	31.50	33.90	363.50	37.50	40.00	43.60	46.00	48.40
1200	42.40	31.50	29.10	29.10	29.10	29.10	30.30	32.70	33.90	36.30	38.80	40.00	43.60	46.00	48.40
1350	40.00	31.50	26.60	29.10	29.10	29.10	31.50	32.70	35.10	36.30	38.80	42.40	44.80	46.00	48.40
1500	40.00	31.50	26.60	26.60	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	37.50	38.80	42.40	44.80	47.20	49.60
1650	40.00	32.70	26.60	26.60	29.10	30.30	31.50	33.90	35.10	37.50	40.00	43.60	44.80	47.20	49.60
1800	38.80	33.90	26.60	26.60	29.10	30.30	32.70	33.90	36.30	37.50	40.00	43.60	46.00	48.40	50.90
1950	35.10	32.70	29.10	29.10	29.10	30.30	32.70	33.90	36.30	38.80	42.40	43.60	46.00	48.40	50.90
2100	33.90	31.50	30.30	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	36.30	38.80	42.40	44.80	47.20	49.60	52.10
2250	31.50	31.50	30.30	29.10	30.30	31.50	32.70	35.10	37.50	40.00	42.40	44.80	47.20	49.60	52.10
2400	30.30	30.30	30.30	30.30	30.30	31.50	33.90	35.10	37.50	40.00	43.60	46.00	48.40	50.90	53.30
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	50.90	53.30	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00	88.40
375	49.60	52.10	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20
450	48.40	50.90	55.70	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	77.50	79.90	83.60	85.10
525	48.40	50.90	55.70	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	77.50	79.90	83.60	84.80
600	48.40	50.90	55.70	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	76.30	78.70	82.30	84.80
675	48.40	50.90	55.70	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00
750	49.60	50.90	55.70	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00
825	49.60	52.10	55.70	58.10	60.50	61.80	64.20	66.60	70.20	73.90	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00
900	49.60	52.10	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20
1050	49.60	52.10	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20
1200	50.90	53.30	56.90	59.30	61.80	64.20	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20
1350	50.90	53.30	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00	88.40
1500	52.10	55.70	58.10	60.50	63.00	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	84.80	87.20	89.60
1650	52.10	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20	89.60
1800	53.30	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00	88.40	90.80
1950	53.30	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00	88.40	90.80
2100	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20	89.60	92.00
2250	55.70	58.10	60.50	63.00	65.40	69.00	71.40	73.90	76.30	78.70	82.30	84.80	87.20	89.60	92.00
2400	56.90	59.30	61.80	64.20	66.60	70.20	72.70	75.10	77.50	79.90	83.60	86.00	88.40	90.80	93.20
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.45	9.75	10.06	10.36	10.67	10.97	11.28	11.58	11.89	12.19	12.50	12.80	13.11	13.41	13.72
300	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90	128.40	130.80
375	89.60	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	128.40	116.30	118.70	123.50	125.90	128.40
450	88.40	90.80	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	127.10	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90
525	87.20	89.60	92.00	95.70	98.10	101.70	104.10	106.60	110.20	127.10	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90
600	87.20	89.60	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	125.90	113.80	116.30	118.70	122.30	124.70
675	88.40	90.80	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	127.10	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90
750	88.40	90.80	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	127.10	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90
825	88.40	90.80	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	127.10	115.00	117.50	119.90	124.70	127.10
900	89.60	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	128.40	116.30	118.70	122.30	124.70	127.10
1050	89.60	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	128.40	116.30	118.70	122.30	124.70	127.10
1200	89.60	92.00	95.70	98.10	101.70	104.10	106.60	110.20	112.60	129.60	117.50	119.90	123.50	125.90	128.40
1350	90.80	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	112.60	129.60	117.50	119.90	123.50	125.90	128.40
1500	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	113.80	116.30	118.70	122.30	124.70	127.10	129.60
1650	92.00	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	112.60	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90	128.40	130.80
1800	93.20	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	112.60	115.00	117.50	122.30	124.70	127.10	129.60	132.00
1950	93.20	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	113.80	116.30	118.70	122.30	124.70	127.10	129.60	132.00
2100	95.70	98.10	100.50	102.90	105.40	109.00	111.40	113.80	116.30	119.90	123.50	125.90	128.40	130.80	133.20
2250	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	112.60	115.00	117.50	119.90	123.50	125.90	128.40	130.80	133.20
2400	96.90	99.30	101.70	104.10	106.60	110.20	112.60	116.30	118.70	122.30	124.70	127.10	129.60	132.00	135.60

**Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva (continuación)**

Instalación Tipo I (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	14.02	14.33	14.63	14.94	15.24	15.54	15.85	16.15	16.46	16.76	17.07	17.37	17.68	17.98	18.29
300	133.20	138.00	140.50	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	157.40	159.80	163.50	164.70	168.30	170.70	173.20
375	130.80	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	164.70	167.10	169.50
450	128.40	130.80	133.20	136.80	139.30	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	156.20	158.60	162.30	164.70	167.10
525	128.40	130.80	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	163.50	165.90
600	127.10	129.60	132.00	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	163.50	165.90
675	128.40	130.80	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	163.50	165.90
750	128.40	130.80	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	163.50	165.90
825	129.60	132.00	135.60	138.00	140.50	142.90	145.30	147.70	151.40	153.80	156.20	158.60	162.30	164.70	167.10
900	129.60	132.00	135.60	138.00	140.50	142.90	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	165.90	168.30
1050	129.60	132.00	135.60	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	165.90	168.30
1200	130.80	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	165.90	168.30
1350	130.80	133.20	136.80	139.30	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	156.20	158.60	162.30	164.70	167.10	169.50
1500	132.00	135.60	138.00	140.50	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	156.20	159.80	163.50	165.90	168.30	170.70
1650	133.20	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	167.10	169.50	172.00
1800	135.60	138.00	140.50	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	156.20	158.60	162.30	165.90	168.30	170.70	173.20
1950	135.60	138.00	140.50	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	165.90	168.30	170.70	173.20
2100	136.80	139.30	141.70	144.10	146.50	150.20	152.60	155.00	157.40	162.30	164.70	167.10	169.50	172.00	175.60
2250	138.00	140.50	142.90	145.30	148.90	151.40	153.80	156.20	158.60	162.30	164.70	167.10	169.50	173.20	176.80
2400	138.00	140.50	142.90	145.30	148.90	152.60	155.00	157.40	159.80	163.50	165.90	168.30	170.70	173.20	176.80
Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.20	67.80	71.40	73.90	77.50	81.10	84.80	88.40	92.00	95.70	99.30	102.90	106.60	110.20	113.80
375	63.00	66.60	69.00	72.70	76.30	79.90	83.60	87.20	90.80	94.50	98.10	100.50	104.10	107.80	111.40
450	61.80	66.60	69.00	72.70	76.30	78.70	82.30	86.00	89.60	93.20	98.10	100.50	104.10	106.60	110.20
525	61.80	66.60	69.00	72.70	75.10	78.70	82.30	86.00	89.60	93.20	98.10	100.50	102.90	106.60	110.20
600	63.00	66.60	69.00	72.70	76.30	79.90	82.30	87.20	89.60	93.20	98.10	100.50	104.10	107.80	111.40
675	63.00	66.60	69.00	72.70	76.30	79.90	82.30	86.00	89.60	93.20	98.10	100.50	104.10	107.80	110.20
750	63.00	66.60	69.00	72.70	76.30	79.90	83.60	86.00	89.60	93.20	98.10	100.50	104.10	107.80	111.40
825	63.00	66.60	70.20	72.70	76.30	79.90	83.60	87.20	90.80	93.20	98.10	100.50	104.10	107.80	111.40
900	63.00	66.60	70.20	73.90	77.50	79.90	83.60	87.20	90.80	94.50	98.10	101.70	104.10	107.80	111.40
1050	63.00	66.60	70.20	73.90	77.50	81.10	83.60	87.20	90.80	94.50	98.10	101.70	105.40	107.80	111.40
1200	64.20	67.80	70.20	73.90	77.50	81.10	84.80	93.20	90.80	94.50	98.10	101.70	105.40	109.00	112.60
1350	64.20	67.80	71.40	75.10	77.50	81.10	84.80	88.40	92.00	95.70	99.30	101.70	105.40	109.00	112.60
1500	65.40	69.00	71.40	75.10	78.70	82.30	86.00	89.60	92.00	95.70	99.30	102.90	106.60	110.20	113.80
1650	65.40	69.00	72.70	76.30	79.90	83.60	86.00	89.60	93.20	96.90	100.50	104.10	107.80	110.20	113.80
1800	66.60	70.20	73.90	76.30	79.90	83.60	87.20	90.80	94.50	98.10	101.70	104.10	107.80	111.40	115.00
1950	66.60	70.20	73.90	77.50	81.10	83.60	87.20	90.80	94.50	98.10	101.70	105.40	109.00	111.40	115.00
2100	67.80	71.40	73.90	77.50	81.10	84.80	87.90	92.00	94.50	98.10	101.70	105.40	109.00	112.60	116.30
2250	67.80	71.40	75.10	78.70	81.10	84.80	88.40	92.00	95.70	99.30	101.70	105.40	109.00	112.60	116.30
2400	69.00	71.40	75.10	78.70	82.30	86.00	88.40	92.00	95.70	99.30	102.90	106.60	109.00	112.60	116.30
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.45	9.75	10.06	10.36	10.67	10.97	11.28	11.58	11.89	12.19	12.50	12.80	13.11	13.41	13.72
300	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	147.70	151.40					
375	115.00	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	132.00	140.50	144.10	147.70					
450	113.80	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50					
525	113.80	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	138.00	141.70	146.50					
600	113.80	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50					
675	113.80	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50					
750	113.80	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50					
825	115.00	118.70	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50					
900	115.00	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	136.80	139.30	142.90	146.50					
1050	115.00	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	135.60	139.30	142.90	146.50					
1200	115.00	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	136.80	140.50	142.90	146.50					
1350	116.30	119.90	123.50	127.10	129.60	133.20	136.80	140.50	144.10	147.70					
1500	116.30	119.90	123.50	127.10	130.80	134.40	138.00	141.70	145.30	147.70					
1650	117.50	121.10	124.70	128.40	132.00	135.60	138.00	141.70	145.30	148.90					
1800	118.70	122.30	125.90	129.60	132.00	135.60	139.30	142.90	146.50	150.20					
1950	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	136.80	139.30	142.90	146.50	150.20					
2100	118.70	122.30	125.90	129.60	133.20	136.80	140.50	144.10	146.50	150.20					
2250	119.90	123.50	125.90	129.60	133.20	136.80	140.50	144.10	147.70	151.40					
2400	119.90	123.50	127.10	130.80	134.40	136.80	140.50	144.10	147.70	151.40					

**Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva (continuación)**

Instalación Tipo I (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	84.00	53.30	42.40	38.80	38.80	41.20	43.60	47.20	50.90	54.50	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30
375	77.50	49.60	41.20	37.50	37.50	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	66.60	70.20	73.90
450	71.40	48.40	40.00	37.50	37.50	40.00	42.40	44.80	49.60	53.30	56.90	60.50	66.60	69.00	73.90
525	60.50	46.00	38.80	36.30	36.30	40.00	42.40	44.80	49.60	52.10	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
600	52.10	44.80	37.50	36.30	36.30	40.00	41.20	44.80	49.60	52.10	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
675	48.40	43.60	37.50	36.30	36.30	40.00	42.40	44.80	49.60	53.30	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
750	46.00	42.40	37.50	36.30	36.30	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	56.90	61.80	66.60	69.00	73.90
825	44.80	40.00	36.30	36.30	36.30	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	66.60	70.20	73.90
900	43.60	37.50	36.30	36.30	37.50	40.00	42.40	46.00	49.60	54.50	58.10	61.80	66.60	70.20	75.10
1050	41.20	33.90	36.30	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	58.10	63.00	66.60	71.40	75.10
1200	42.40	33.90	33.90	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	55.70	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30
1350	41.20	35.10	33.90	36.30	38.80	41.20	44.80	48.40	52.10	55.70	60.50	65.40	67.80	72.70	76.30
1500	42.40	36.30	33.90	36.30	38.80	41.20	44.80	48.40	53.30	56.90	60.50	65.40	69.00	73.90	77.50
1650	42.40	37.50	33.90	36.30	38.80	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	65.40	70.20	75.10	78.70
1800	41.20	38.80	33.90	36.30	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	58.10	63.00	66.60	71.40	75.10	79.90
1950	38.80	37.50	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30	79.90
2100	36.30	36.30	37.50	37.50	41.20	43.60	47.20	52.10	55.70	59.30	64.20	67.80	72.70	76.30	81.10
2250	35.10	36.30	37.50	38.80	41.20	44.80	48.40	52.10	55.70	60.50	64.20	69.00	72.70	77.50	81.10
2400	33.90	36.30	37.50	40.00	42.40	44.80	48.40	53.30	56.90	60.50	65.40	69.00	73.90	77.50	82.30
D.I.															
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	81.10	86.00	89.60	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50	145.30
375	78.70	83.60	87.20	92.00	96.90	100.50	105.40	110.20	115.00	118.70	123.50	128.40	132.00	136.80	141.70
450	77.50	82.30	86.00	90.80	95.70	99.30	104.10	109.00	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	135.60	139.30
525	77.50	81.10	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	112.60	116.30	121.10	124.70	129.60	134.40	138.00
600	77.50	81.10	86.00	89.60	94.50	99.30	102.90	107.80	111.40	116.30	121.10	124.70	129.60	133.20	138.00
675	77.50	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	111.40	116.30	121.10	124.70	129.60	134.40	138.00
750	77.50	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	116.30	121.10	125.90	129.60	134.40	139.30
825	78.70	82.30	87.20	90.80	95.70	100.50	104.10	109.00	112.60	117.50	122.30	125.90	130.80	135.60	139.30
900	78.70	83.60	87.20	92.00	96.90	100.50	105.40	109.00	113.80	118.70	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50
1050	79.90	83.60	88.40	92.00	96.90	101.70	105.40	110.20	113.80	118.70	123.50	127.10	132.00	136.80	140.50
1200	79.90	84.80	88.40	93.20	98.10	101.70	106.60	110.20	115.00	119.90	123.50	128.40	132.00	136.80	141.70
1350	81.10	86.00	89.60	94.50	98.10	102.90	106.60	111.40	116.30	119.90	124.70	129.60	133.20	138.00	142.90
1500	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	134.40	139.30	142.90
1650	83.60	87.20	92.00	95.70	100.50	105.40	109.00	113.80	118.70	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50	145.30
1800	84.80	88.40	93.20	96.90	101.70	106.60	110.20	115.00	119.90	123.50	128.40	133.20	136.80	141.70	146.50
1950	84.80	89.60	93.20	98.10	101.70	106.60	111.40	115.00	119.90	124.70	128.40	133.20	138.00	141.70	146.50
2100	84.80	89.60	94.50	98.10	102.90	107.80	111.40	116.30	119.90	124.70	129.60	133.20	138.00	142.90	146.50
2250	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	112.60	116.30	121.10	125.90	129.60	134.40	138.00	142.90	147.70
2400	86.00	90.80	95.70	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	134.40	139.30	144.10	147.70
D.I.															
(mm)	9.449	9.754	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7
300	150.2	155.0													
375	146.5	151.4													
450	144.1	148.9													
525	142.9	147.7													
600	142.9	146.5													
675	142.9	146.5													
750	142.9	147.7													
825	144.1	147.7													
900	145.3	148.9													
1050	145.3	150.2													
1200	145.3	150.2													
1350	146.5	151.4													
1500	147.7	152.6													
1650	148.9	153.8													
1800	150.2	155.0													
1950	151.4	155.0													
2100	151.4	156.2													
2250	151.4	156.2													
2400	152.6	156.2													

**Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva (continuación)**

Instalación Tipo IV															
D.I. (mm)	Altura de relleno en (m)														
	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	109.00	71.00	59.30	55.70	55.70	59.30	64.20	70.20	76.30	82.30	88.40	95.70	101.70	109.00	115.00
375	101.70	66.60	55.70	53.30	54.50	58.10	61.80	67.80	73.90	78.70	86.00	92.00	98.10	105.40	111.40
450	93.20	64.20	54.50	52.10	53.30	56.90	60.50	66.60	71.40	77.50	83.60	89.60	95.70	102.90	109.00
525	78.70	61.80	52.10	50.90	52.10	55.70	60.50	65.40	70.20	76.30	82.30	88.40	94.50	100.50	106.60
600	69.00	60.50	52.10	49.60	52.10	54.50	59.30	64.20	70.20	76.30	81.10	87.20	93.20	99.30	106.60
675	61.80	58.10	50.90	49.60	50.90	54.50	59.30	64.20	70.20	75.10	81.10	87.20	93.20	99.30	105.40
750	55.70	56.90	49.60	49.60	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	87.20	93.20	99.30	105.40
825	50.90	52.10	49.60	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
900	47.20	49.60	49.60	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
1050	44.80	44.80	48.40	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
1200	46.00	43.60	46.00	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	70.20	75.10	81.10	87.20	92.00	98.10	104.10
1350	46.00	42.40	44.80	48.40	50.90	55.70	60.50	65.40	70.20	76.30	81.10	87.20	93.20	99.30	104.10
1500	46.00	42.40	44.80	47.20	52.10	55.70	60.50	65.40	71.40	76.30	82.30	88.40	93.20	99.30	105.40
1650	47.20	43.60	44.80	48.40	52.10	56.90	61.80	66.60	71.40	77.50	82.30	88.40	94.50	100.50	105.40
1800	46.00	44.80	44.80	48.40	52.10	56.90	61.80	66.60	72.70	77.50	83.60	89.60	94.50	100.50	106.60
1950	43.60	44.80	46.00	49.60	53.30	58.10	63.00	67.80	72.70	78.70	84.80	89.60	95.70	101.70	107.80
2100	42.40	43.60	46.00	49.60	53.30	58.10	63.00	67.80	73.90	79.90	84.80	90.80	96.90	101.70	107.80
2250	41.20	43.60	46.00	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	79.90	86.00	92.00	96.90	102.90	109.00
2400	40.00	43.60	46.00	50.90	55.70	60.50	65.40	70.20	75.10	81.10	87.20	92.00	98.10	104.10	109.00
D.I. (mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	122.30	129.60	135.60	142.90	150.20	157.40	164.70								
375	117.50	124.70	130.80	138.00	145.30	151.40	158.60								
450	115.00	122.30	128.40	134.40	141.70	147.80	155.00								
525	113.80	119.90	125.90	133.20	139.30	145.30	151.40								
600	112.60	118.70	124.70	130.80	132.00	144.10	150.20								
675	111.40	117.50	123.50	129.60	132.00	142.90	148.90								
750	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	147.70								
825	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	141.70	147.70								
900	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1050	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1200	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1350	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1500	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	146.50								
1650	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	146.50								
1800	112.60	118.70	123.50	129.60	135.60	141.70	147.70								
1950	112.60	118.70	124.70	130.80	136.80	142.90	147.70								
2100	113.80	119.90	125.90	130.80	136.80	142.90	148.90								
2250	115.00	119.90	125.90	132.00	138.00	144.10	150.20								
2400	115.00	121.10	127.10	133.20	139.30	144.10	150.20								

**Alcantarillas para carreteras y caminos**

Los valores de caudal y la pendiente crítica que se presentan en la tabla 1.18 se calcularon para las siguientes condiciones:

- Altura del nivel de agua a la entrada menor o igual a la altura de la corona del tubo.
- Control a la entrada: pendiente del tubo 15 % mayor a la pendiente crítica ( $S_c$ ).
- Salida debe estar libre (no sumergida).

Se recomienda:

- Uso de tubos reforzados con un diámetro mayor o igual a 600 mm.
- Caudal de diseño producido por tormenta con período de retorno de cinco años.

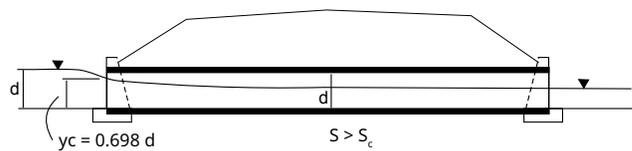


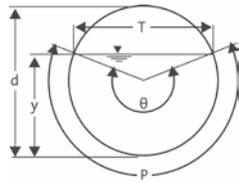
Figura 1.24 Alcantarilla con control a la entrada

En zonas con pendientes bajas a veces resulta difícil colocar el tubo en pendientes mayores que la pendiente crítica, dado que los niveles de agua a la salida son altos y sumergen el tubo.

En estos casos varían algunos de los supuestos hechos para el caso anterior y la alcantarilla trabaja con control a la salida.

La tabla 1.19 permite seleccionar el tubo para estas condiciones de flujo en donde los diferentes tubos trabajan llenos y para varios gradientes hidráulicos (H/L).

Tabla 1.17 Propiedades geométricas de los tubos



$y = \text{profundidad} = \frac{1}{2}(1 - \cos(1/2\theta))d$   
 $A = \text{área} = \frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)d^2$   
 $P = \text{perímetro mojado} = \frac{1}{2}\theta d$   
 $R = \text{radio hidráulico} = \frac{1}{4} \frac{\text{sen}\theta}{\theta} d$

$T = \text{ancho superficial} = \text{sen}(1/2\theta)d$   
 $D = \text{profundidad media} = \frac{1}{8} \frac{(\theta - \text{sen}\theta)d}{\text{sen}(1/2\theta)}$   
 $d = \text{diámetro interior del tubo}$

$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD^{1/2}}{d^{5/2}}$	$\frac{AR^{2/3}}{d^{8/3}}$	$\theta$
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1248	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

Tabla 1.18 Alcantarillas con nivel máximo del agua en la corona del tubo				
Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Caudal (m³/seg)	Área (m²)	Pendiente crítica (m/m)
10	10.2	0.005	0.0060	0.0113
15	15.2	0.013	0.0133	0.0099
20	20.3	0.026	0.0238	0.0090
25	25.4	0.046	0.0372	0.0083
30	30.5	0.073	0.0537	0.0078
30	30.0	0.070	0.0519	0.0079
40	40.0	0.144	0.0923	0.0071
50	50.0	0.252	0.1442	0.0066
60	60.0	0.397	0.2076	0.0062
70	70.0	0.584	0.2826	0.0059
80	80.0	0.816	0.3691	0.0057
90	90.0	1.090	0.4672	0.0054
100	100.0	1.420	0.5767	0.0053
120	120.0	2.250	0.8305	0.0050

Notas: 1)  $\theta_c = 3.01522$  (ángulo a profundidad crítica). 2)  $y/d = 0.68862$  (corresponde a  $\theta_c$ ).  
3)  $n = 0.013$  (coeficiente de Manning).

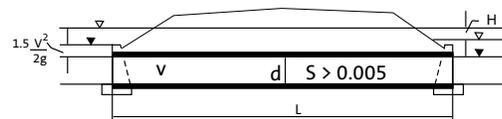


Figura 1.25 Alcantarilla con control de salida

Para que el tubo trabaje lleno, la corona debe estar a  $1.5v^2/2g$  bajo el nivel del agua del canal. Las pérdidas de carga ( $H_t$ ) se estiman en  $1.5v^2/2g$ .

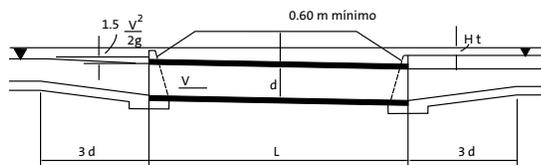


Figura 1.26 Alcantarilla con control de entrada

### Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje

Los tubos de concreto se utilizan en estos casos para permitir el paso de peatones, animales o vehículos sobre el canal o zanja.

#### Condiciones

Tubo reforzado con diámetro mínimo  $D = 600$  mm. Se pueden considerar los dos siguientes casos generales:

1. El canal ya está construido. Para el tubo trabajando lleno o casi lleno, la velocidad de flujo en la alcantarilla no debe diferir mucho de la del canal.
2. El canal se está diseñando. Las pérdidas se compensan con la diferencia de elevación en el canal. La velocidad de flujo para el tubo trabajando lleno no debe exceder de:
  - 1,0 m/s en canales de tierra y zanjas.
  - 1,5 m/s en canales revestidos.

### Alcantarillado pluvial o sanitario

En alcantarillados pluviales, el agua ingresa al sistema en los pozos. El análisis de cada pozo se efectúa utilizando el principio de cambio en la cantidad de movimiento.

El valor  $1,5 hv$  es el límite de la profundidad que alcanzará el agua en el pozo de registro a la entrada de cada alcantarilla por encima del nivel del agua en el tubo. El valor de  $K = 1,5$  puede reducirse mediante el cálculo de las condiciones de flujo en cada pozo.

Cuando el número de Froude tiene un valor igual a 1,1, la alcantarilla tiene control a la entrada, es decir, la geometría y la profundidad del flujo en el pozo a la entrada del tubo determinan el caudal que fluye por la estructura.

Tabla 1.19 Alcantarillas trabajando a tubo lleno																		
Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m²)	Gradiente = 0.005			Gradiente = 0.01			Gradiente = 0.02			Gradiente = 0.03			Gradiente = 0.04			
			Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	
10.20	0.0082	0.0082	0.004	0.471	0.017	0.005	0.666	0.034	0.008	0.942	0.068	0.009	1.15	0.102	0.011	1.33	0.136	
15.20	0.0181	0.0181	0.011	0.615	0.029	0.016	0.869	0.058	0.022	1.23	0.116	0.027	1.51	0.174	0.032	1.74	0.231	
20.30	0.0324	0.0324	0.024	0.746	0.043	0.034	1.05	0.085	0.048	1.49	0.170	0.059	1.83	0.255	0.068	2.11	0.340	
25.40	0.0507	0.0507	0.044	0.866	0.057	0.062	1.22	0.115	0.088	1.73	0.229	0.107	2.12	0.344	0.124	2.45	0.459	
30.50	0.0731	0.0731	0.071	0.978	0.073	0.101	1.38	0.146	0.143	1.96	0.293	0.175	2.40	0.439	0.202	2.77	0.586	
30.00	0.0707	0.0707	0.068	0.967	0.072	0.097	1.37	0.143	0.137	1.93	0.286	0.167	2.37	0.430	0.193	2.74	0.573	
40.00	0.1257	0.1257	0.147	1.17	0.105	0.208	1.66	0.210	0.295	2.34	0.420	0.361	2.87	0.631	0.417	3.31	0.841	
50.00	0.1963	0.1963	0.267	1.36	0.142	0.378	1.92	0.283	0.534	2.72	0.566	0.654	3.33	0.849	0.755	3.85	1.13	
60.00	0.2827	0.2827	0.434	1.54	0.180	0.614	2.17	0.361	0.868	3.07	0.722	1.06	3.76	1.08	1.23	4.34	1.44	
70.00	0.3848	0.3848	0.655	1.70	0.222	0.926	2.41	0.443	1.31	3.40	0.887	1.60	4.17	1.33	1.85	4.81	1.77	

**Tabla 1.20 Alcantarillas trabajando a velocidad indicada y a tubo lleno**

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad = 0.60			Velocidad = 1.00			Velocidad = 1.50			Velocidad = 3.00			Velocidad = 5.00		
			Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sf (m/m)	1.5hv (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sf (m/m)	1.5hv (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sf (m/m)	1.5hv (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sf (m/m)	1.5hv (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Sf (m/m)	1.5hv (m)
10	10.20	0.0082	0.005	0.8106	0.028	0.008	2.252	0.077	0.012	5.066	0.172	0.025	20.26	0.689	0.041	56.29	1.91
15	15.20	0.0181	0.011	0.4762	0.028	0.018	1.323	0.077	0.027	2.976	0.172	0.054	11.91	0.689	0.091	33.07	1.91
20	20.30	0.0324	0.019	0.3238	0.028	0.032	0.8994	0.077	0.049	2.024	0.172	0.097	8.095	0.689	0.162	22.49	1.91
25	25.40	0.0507	0.030	0.2402	0.028	0.051	0.6671	0.077	0.076	1.501	0.172	0.152	6.004	0.689	0.253	16.88	1.91
30	30.50	0.0731	0.044	0.1882	0.028	0.073	0.5227	0.077	0.110	1.176	0.172	0.219	4.704	0.689	0.365	13.07	1.91
30	30.00	0.0707	0.042	0.1924	0.028	0.071	0.5343	0.077	0.106	1.202	0.172	0.212	4.809	0.689	0.353	13.36	1.91
40	40.00	0.1257	0.075	0.1311	0.028	0.126	0.3641	0.077	0.188	0.8192	0.172	0.377	3.277	0.689	0.628	9.102	1.91
50	50.00	0.1963	0.118	0.0973	0.028	0.196	0.2704	0.077	0.295	0.6084	0.172	0.589	2.434	0.689	0.982	6.760	1.91
60	60.00	0.2827	0.170	0.0763	0.028	0.283	0.2120	0.077	0.424	0.4771	0.172	0.848	1.908	0.689	1.41	5.301	1.91
70	70.00	0.3848	0.231	0.0622	0.028	0.385	0.1727	0.077	0.577	0.3885	0.172	1.15	1.554	0.689	1.92	4.316	1.91
80	80.00	0.5027	0.302	0.0520	0.028	0.503	0.1445	0.077	0.754	0.3251	0.172	1.51	1.300	0.689	2.51	3.612	1.91

*Notas: 1) n = 0.013 (coeficiente de Manning) 2) Sf = pérdidas por fricción por metro (%) 3) hv = carga de velocidad (V<sup>2</sup>/2g) 4) Velocidad en metros por seg.*

Cuando el número de Froude es igual a 0,9, el control está a la salida, o sea que la pendiente del tubo y la profundidad del agua a la salida determinan el caudal que puede evacuar la alcantarilla.

En alcantarillados sanitarios, el agua ingresa al sistema a lo largo de tubos y no en los pozos. Para ese caudal se puede seleccionar el tubo de la tabla 3.19, pero en este caso se recomienda colocar tapas en el fondo de los pozos y caídas tipo AyA.

Esta misma tabla se puede usar directamente para seleccionar el tubo que, a una pendiente igual o mayor que la indicada, evacúe un caudal igual o mayor que el del diseño. Sirve tanto para alcantarillado pluvial como sanitario.

### Velocidades máximas y mínimas recomendadas

La velocidad en tubería se puede determinar por medio de la fórmula:

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

En las tuberías de concreto, la velocidad máxima se controla más que todo por un aspecto de durabilidad. Cuando la velocidad es muy alta puede generar cavitación y, dependiendo de la característica de los sólidos disueltos en el agua, un problema de erosión.

Así mismo, la velocidad del efluente en alcantarillas de carreteras o caminos debe controlarse por aspectos de erosión del suelo circundante a la salida de este.

En general, la velocidad máxima recomendada en tuberías de concreto es de hasta 6 m/s, aunque el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) solicita mantenerla en 5 m/s.

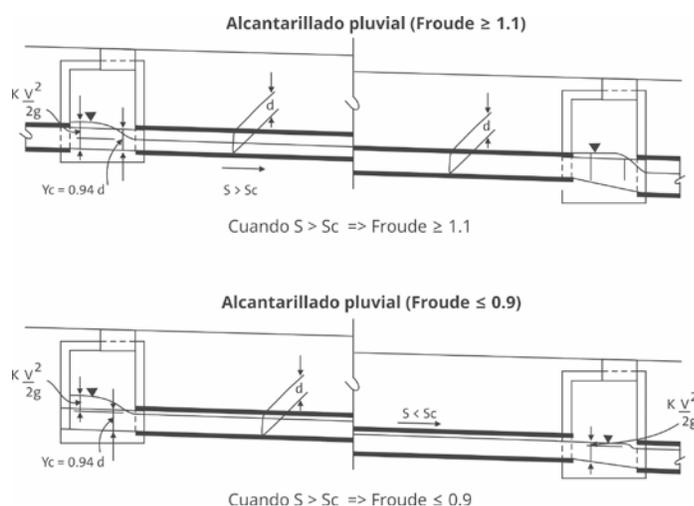


Figura 1.27 Detalle de alcantarillado pluvial

Por otro lado, la velocidad mínima en una tubería está relacionada con el arrastre de sólidos y con el hecho de permitir una autolimpieza. Según este criterio, se ha establecido que se debe tener una fuerza de arrastre de por lo menos 1N/m<sup>2</sup> (aprox. 0,6 m/s en los casos usuales).

Otro punto que controla la velocidad mínima se relaciona con la aireación del efluente en alcantarillados sanitarios, para prevenir la formación de sulfuros y la corrosión de la tubería.

El proceso de corrosión se da por la transformación de los sulfatos presentes en las aguas negras en sulfuro de hidrógeno a causa de la bacteria Concretivorius, que se desarrolla en medios anaeróbicos y da origen al ácido sulfúrico que corroe la superficie de concreto.

La producción de esta bacteria se evita controlando el pH del agua, el contenido de oxígeno y la velocidad del flujo.

Los valores sugeridos para las velocidades mínimas de aguas residuales en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se muestran en la tabla 1.22.

**Tabla 1.21 Características de los tubos trabajando a 0.94 del diámetro**

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Área (0.94) (m²)	2/3 AR (m²)	Número de Froude = 1.10				Número de Froude = 0.90			
				Caudal (m³/s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)
10	10.2	0.0088	0.0008	0.01	1.29	0.0348	0.009	0.009	1.14	0.028	0.1
15	15.2	0.0177	0.0022	0.027	1.57	0.0305	0.025	0.025	1.4	0.0246	0.149
20	20.3	0.0316	0.0048	0.057	1.82	0.0277	0.051	0.051	1.61	0.0223	0.199
25	25.4	0.0494	0.0087	0.099	2.03	0.0257	0.089	0.089	1.8	0.0207	0.249
30	30.5	0.0713	0.0141	0.156	2.23	0.0242	0.141	0.141	1.98	0.0195	0.299
30	30	0.069	0.0135	0.15	2.21	0.021	0.277	0.135	1.96	0.0169	0.294
40	40	0.1226	0.0291	0.308	2.55	0.019	0.484	0.277	2.26	0.0153	0.392
50	50	0.1915	0.0528	0.538	2.85	0.0177	0.605	0.485	2.53	0.0142	0.49
60	60	0.2758	0.0859	0.849	3.13	0.0166	0.726	0.764	2.77	0.0134	0.588
70	70	0.3754	0.1295	1.25	3.38	0.0158	0.847	1.12	2.99	0.0127	0.686
80	80	0.4903	0.1849	1.74	3.61	0.0151	0.968	1.57	3.2	0.0122	0.784
90	90	0.6206	0.2532	2.34	3.83	0.0145	1.09	2.11	3.39	0.0117	0.882
100	100	0.7662	0.3353	3.05	4.04	0.014	1.21	2.74	3.58	0.0113	0.98
120	120	1.103	0.5452	4.81	4.42	0.0132	1.45	4.32	3.92	0.0106	1.18
137	137.2	1.442	0.7793	6.72	4.73	0.0216	1.66	6.04	4.19	0.0102	1.34
152	152.4	1.779	1.031	8.73	4.98	0.0122	1.84	7.86	4.42	0.0098	1.49
168	167.6	2.152	1.329	11.1	5.22	0.0118	2.03	9.97	4.63	0.0095	1.64
183	182.9	2.563	1.677	13.8	5.46	0.0115	2.21	12.4	4.84	0.0092	1.79
213	213.4	3.489	2.531	20.3	5.89	0.0109	2.58	18.2	5.23	0.0088	2.09

Notas:  $n = 0.013$  (para tubos menores que 30 cm).  $n = 0.014$  (para tubos mayores que 30 cm).  $V =$  velocidad (para  $F = 1.1$  se calculó a  $0.9178 d$ ).  $hv = V^2/2g$  (para  $F = 1.1$  se calculó a  $y = 0.94 d$ ).  $Sf =$  pendiente de fricción (para  $F = 1.1$  se calculó a  $y = 0.9178 d$ ). Si la caída  $K V^2/2g$  en el pozo es grande ( $> 45$  cm) se recomienda utilizar la caída y pozo tipo A y A.

**Tabla 1.22 Velocidad mínima de aguas residuales**

DBO efectiva m/l	Velocidad mínima real m/s
Hasta 225	0.50
De 226 a 350	0.65
De 351 a 500	0.75
De 501 a 690	0.90
De 691 a 900	1.00

Desde el punto de vista de la corrosión, si no fuera posible controlar la velocidad mínima a los valores recomendados, se pueden modificar las características de las tuberías de concreto aumentando el recubrimiento, utilizando agregados calcáreos o cemento puzolánico, con revestimientos de polietileno o aditivos integrales o externos que inhiban el desarrollo de la bacteria.

## 1.8 Instalación

### Configuraciones de la instalación

Cuando se instalan tuberías, se pueden tener las cuatro posibles configuraciones que se muestran en la figura 1.22. No obstante, las más usuales se ilustran en la figura 1.28.

En estas configuraciones se tiene:

La tierra en el área de la zanja desde la fundación al eje de la tubería del tubo proporciona un soporte importante y reduce el esfuerzo que este elemento debe realizar.

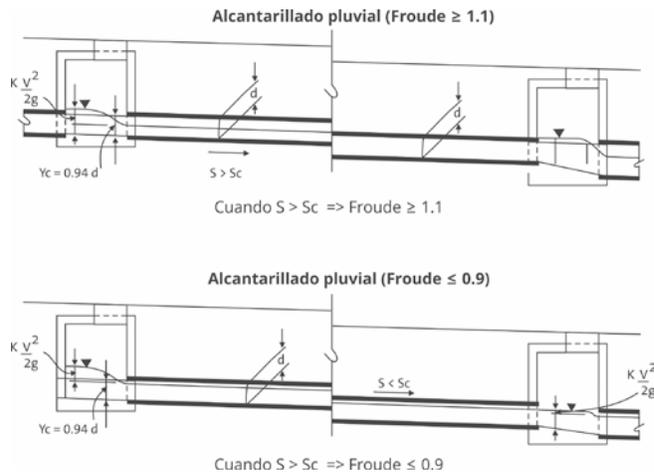


Figura 1.27 Detalle de alcantarillado pluvial

- Un encamado suelto sin compactar directamente bajo el inverso del tubo reduce significativamente la tensión y el esfuerzo que debe soportar.
- Los materiales de instalación y los niveles de compactación debajo del eje de la tubería tienen un efecto importante en los requerimientos estructurales del tubo.
- El suelo, las secciones del encamado y el área del acostillado que están directamente bajo el tubo son difíciles de compactar.
- El nivel de compactación del suelo directamente arriba del acostillado, del eje de la tubería a la parte superior de su lomo, tiene un efecto insignificante sobre la tensión del tubo. La compactación del suelo en esta área no es necesaria, a menos que sea requerida para la estructura del pavimento.

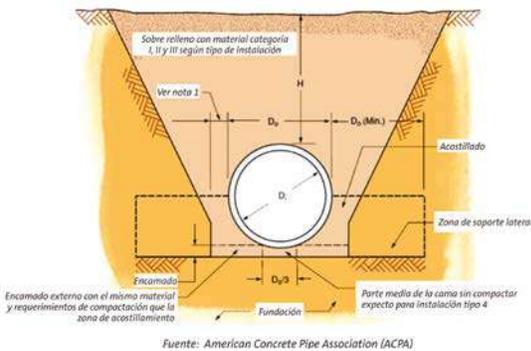


Figura 1.28 Instalación en trinchera o zanja

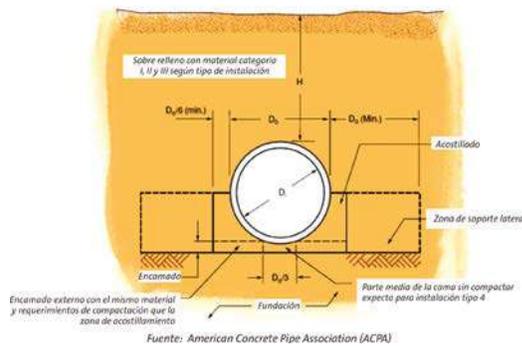


Figura 1.29 Instalación en terraplén en proyección positiva

Tabla 1.23 Anchos mínimos de la zanja	
Diámetro de la tubería mm	Ancho de zanja mm
100	470
150	540
200	600
250	680
300	800
375	910
450	1020
525	1100
600	1200
675	1300
825	1600
900	1700
1050	1900
1200	2100
1350	2300
1500	2500
1650	2800
1800	3000
1950	3200
2100	3400
2250	3600
2400	3900

- El suelo en el encamado exterior, el acostillado y las zonas soporte lateral, excepto dentro de  $D_o/3$  del eje de la tubería del tubo, deberán compactarse a cuando menos el mismo nivel de compactación que para la mayor parte del suelo en la zona de relleno.
- Cuando se hacen subzanjas, su parte superior debe estar por lo menos a  $0,1 H$  del nivel de referencia o del relleno terminado. Cuando se trate de caminos, esta distancia debe ser por lo menos de 30 cm por debajo del material base del pavimento. La subzanja en terreno natural se usa en una instalación en terraplén para retener el material de la cama.
- El ancho mínimo de una subzanja debe ser de  $1,33 D_o$ , o mayor si así se requiere para un espacio adecuado con la finalidad de alcanzar la compactación especificada en las zonas del acostillado y el encamado.
- Para las subzanjas con paredes de suelo natural, cualquier porción de la zona de soporte lateral que quede en la zona de la subzanja deberá estar tan firme como un suelo equivalente colocado con los requerimientos de compactación especificados para la zona de soporte lateral y tan firme como la mayor parte del suelo en la zona de relleno, o deberá ser removido y reemplazado con un suelo compactado al nivel especificado.
- Cuando se considera una instalación en trinchera, la parte superior de esta no debe estar a más de  $0,1H$  del nivel de referencia terminado y en carreteras a no más de 30 cm debajo de la base del pavimento.
- Para las paredes de la zanja que están a  $10^\circ$  de la vertical, no se necesita considerar la compactación o firmeza del suelo en la zona de las paredes de la zanja y en la zona de soporte lateral.
- Para las paredes de zanja con inclinaciones mayores a  $10^\circ$  que consisten de terraplén, el lado de soporte lateral deberá compactarse a cuando menos la misma compactación que la especificada para el suelo en la zona de relleno.

Los anchos mínimos de zanja se muestran en la tabla 1.23 y están basados en 1,25 veces el diámetro externo de la tubería más 300 mm.

### Preparación de la zanja

Se debe realizar el corte del terreno de manera segura, tomando en cuenta el tipo de suelo, la profundidad de la excavación y el ademe correspondiente.

En el caso de terrenos arcillosos o margosos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible dejar abierta la zanja por tiempo prolongado, se deberá dejar sin excavar unos 20 cm sobre la rasante, para realizar su acabado en el momento de instalación de la tubería.

Debe excavar hasta la línea de la rasante siempre que el terreno sea uniforme; si quedan al descubierto elementos rígidos tales como piedras, rocas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior, manteniendo la capacidad portante del terreno.

De ser preciso efectuar voladuras para las excavaciones, en general en poblaciones, se adoptarán precauciones para la protección de personas o propiedades, siempre de acuerdo con la legislación vigente, teniendo cuidado de nivelar y compactar el fondo de la zanja.

El material procedente de la excavación se apila lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de estas o que los desprendimientos pongan en peligro a los trabajadores.

Se recomienda ubicarlo a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o a 2,0 m para zanjas no ademadas y 0,9 m para zanjas ademadas (figura 1.30).

El material extraído se usa frecuentemente para el relleno posterior, por lo que es conveniente acopiarlo a lo largo de la zanja a una distancia adecuada de uno de sus bordes.

La cama de apoyo se debe construir de acuerdo con los lineamientos de la sección anterior y dejar previsto el bajo relieve necesario para alojar la campana.

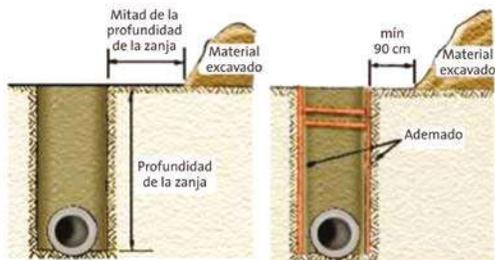


Figura 1.30 Colocación de la tierra excavada

### Colocación del tubo

#### a) Limpiar los extremos de los elementos

Se debe eliminar cualquier suciedad o materia extraña en la campana o en la “espiga” que pueda impedir a la junta de neopreno cumplir su función (figura 1.31).

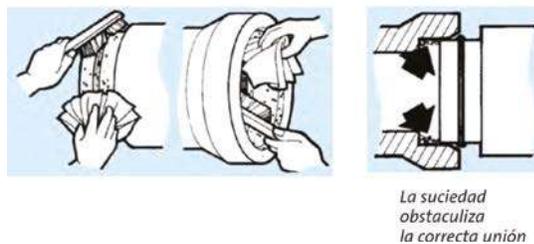


Figura 1.31 Limpieza de espiga y campana

#### b) Lubricar la campana y el empaque

Cuando se utilizan empaques no autolubricados tipo gota u “oring” y no se lubrica bien la campana, puede ocurrir que la junta de goma se pegue, causando algunas veces el resquebrajamiento de la campana o que el empaque quede ubicado fuera de su posición.

En lo que respecta al empaque, debe tenerse en cuenta la recomendación del fabricante de la tubería, dado que el espacio anular para acomodarlo es crucial para lograr la hermeticidad deseada y no quebrar la tubería.

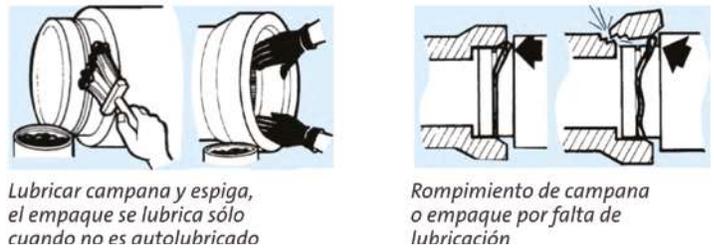


Figura 1.32 Instalación de empaques no auto-lubricados

Por el mejor desempeño y facilidad constructiva, en la mayoría de los casos se recomienda utilizar el empaque autolubricado de las figuras 1.12 y 1.33.

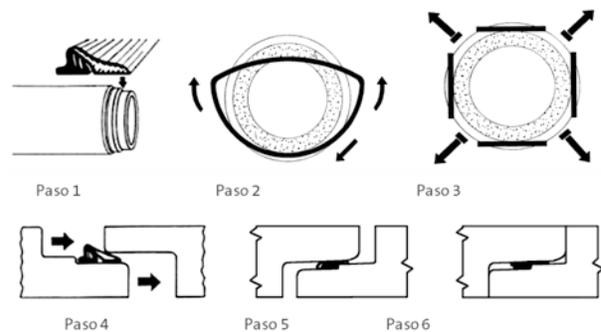


Figura 1.33 Instalación de empaque auto-lubricado

#### c) Alinear la tubería

Si la campana y la “espiga” no están niveladas o no han sido cuidadosamente alineadas, el empaque tiende a salirse, causando una fuga o el agrietamiento de la campana.

#### d) Colocación de la tubería

Usar una máquina para empujar y conectar tubos o para colocarlos en el suelo puede ejercer demasiada presión, ocasionando su rotura o agrietamiento.

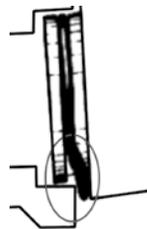


Figura 1.34 Tuberías mal alineadas



Figura 1.35 Mala práctica de instalación de tuberías

Para diámetros menores a 600 mm, el empuje de la tubería puede hacerse de manera manual, colocando un soporte de madera que reparte la fuerza en varios puntos de la circunferencia.



Figura 1.36 Instalación de tuberías de diámetros menores

En el caso de diámetros mayores, se entraba una pieza de madera uno o dos tubos hacia atrás en la línea de tubería ya instalada y se le une un cable de acero con un tecele para ajustar la posición del tubo.

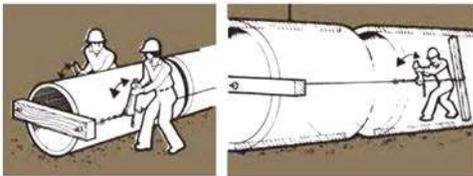


Figura 1.37 Instalación de tuberías de diámetros mayores

Dependiendo del tipo de tubería y si se cuenta con el tipo de izaje y de acople por medio de pin de la figura 1.38, también se puede utilizar para el proceso de instalación.

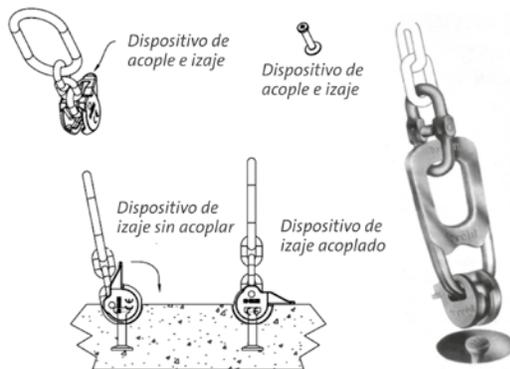


Figura 1.38 Dispositivos de izaje y acople

Este sistema permite izar la tubería como se ilustra en la figura 1.39 y, por medio del mismo aparejo y con un movimiento del retroexcavador, se puede hacer la unión de las tuberías.

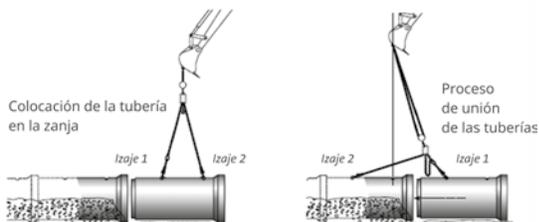


Figura 1.39 Unión de tuberías por medio de sistema de izaje Lifting Eye

e) Soportar correctamente la campana

Cuando no se ha cavado bien el hueco para la campana, esta o el tubo en su totalidad pueden agrietarse o romperse. En la figura 1.40 se muestra la forma correcta e incorrecta de soportar la campana.

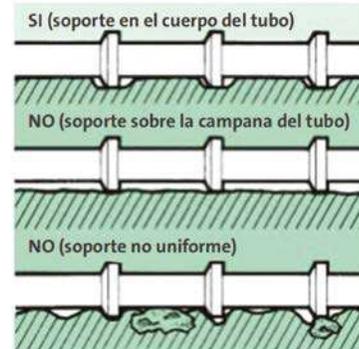


Figura 1.40 Soporte adecuado de la campana en tuberías

f) Relleno de la zanja

- Rellenar y compactar con medios ligeros hasta completar a la mitad del tubo.
- El material de relleno no debe contener escombros o material orgánico.
- Realizar el relleno lateral alternando para evitar desplazamientos del tubo.

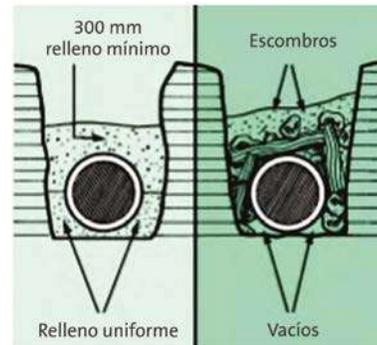


Figura 1.41 Relleno adecuado

## Seguridad en trabajos de instalación de tuberías

Los riesgos más comunes para el personal son:

- Desprendimiento de tierras
- Caída de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al interior de la zanja
- Enterramientos accidentales
- Atrapamientos de personas por la maquinaria, los vehículos de obra y los derivados por interferencias con conducciones enterradas, inundaciones, golpes por objetos, caídas de objetos, etc.

Dadas las graves consecuencias que se pueden derivar de estas situaciones, deben adoptarse normas y medidas preventivas, que pueden resumirse de la siguiente manera:

- El personal que labora en el interior de las zanjas debe conocer ampliamente los riesgos asociados a su trabajo.
- Debe contarse con una escalera sólida para el acceso y salida de una zanja, que estará anclada en el borde superior de la zanja y apoyada sobre una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera debe sobrepasar en 1 m dicho borde. Para salir, no se debe escalar por los ademes de la excavación.
- Para pasar por encima de una zanja se deben instalar pasarelas adecuadas.
- Los acopios (tierra, materiales, etc.) deben ubicarse a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2,0 m para zanjas no ademadas y 0,9 m para zanjas ademadas.
- Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m, se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m del borde.
- Si los trabajos requieren iluminación fija, se hará mediante torres aisladas con toma de tierra en las que se colocarán proyectores de intemperie, alimentados a través de un panel eléctrico general de obra.
- Si los trabajos requieren iluminación portátil, la alimentación de las lámparas se efectuará a 24 V. Los equipos portátiles estarán provistos de rejilla protectora y de carcasas o mangos aislados eléctricamente.
- En caso de taludes que deban quedar estables durante largo tiempo, se debe colocar protección adecuada para controlar la erosión y la estabilidad.
- Se revisará el estado de los cortes o taludes a intervalos regulares en aquellos casos en los que puedan recibir empujes exógenos por proximidad de caminos, calles, carreteras, etc. Esto se hará en especial si en la proximidad se realizan excavaciones con uso de martillos neumáticos, compactaciones por vibración o hay paso de maquinaria para el movimiento de tierras.
- Los trabajos que se realicen en los bordes de las zanjas con taludes no muy estables deberán ser ejecutados por trabajadores sujetos al cinturón de seguridad amarrado a “puntos fuertes” ubicados en la parte exterior.
- Se efectuará el achique inmediato de las aguas que afloran (o caen) en el interior de las zanjas para evitar que se altere la estabilidad de los taludes.

- Las zanjas deben estar rodeadas de un bordillo que puede ser prefabricado o conformado en el terreno, para impedir la caída de materiales sobre el personal que trabaja en el fondo de la excavación.
- No se debe suprimir nunca uno o varios ademes sin un plan preestablecido por el profesional responsable, ya que entonces el ademe restante no necesariamente cuenta con suficiente resistencia para impedir un derrumbe.

Con respecto al equipo de protección personal, se debe utilizar como mínimo: casco, gafas, cinturón de seguridad, guantes de cuero, botas de seguridad, botas de goma, ropa de trabajo, traje para ambientes húmedos o lluviosos y protectores auditivos.

Frecuencia de las inspecciones de la excavación:

- Se revisarán los ademes tras la interrupción de los trabajos (receso nocturno o de más de dos horas) antes de reanudarse de nuevo.
- Diariamente antes de cada turno de trabajo.
- Según sea necesario durante cada turno de trabajo.
- Después de llover o de cualquier otro acontecimiento que pueda elevar los riesgos (por ejemplo, el que vehículos o equipos se acerquen al borde de una excavación).

Las inspecciones debe llevarlas a cabo una persona competente que:

- Haya recibido adiestramiento en el análisis de suelo.
- Haya recibido adiestramiento en el uso de sistemas de protección.
- Tenga la autoridad y el conocimiento para eliminar riesgos inmediatamente.

## 1.9 Almacenaje y manipuleo

### Transporte y recepción del producto

#### Transporte

- El transporte de los tubos se debe realizar sin provocar daños al producto.
- Los tubos se aseguran de manera que se impida el movimiento, acomodándolos en estibas con campanas alternas y calzado sobre piezas de madera que eviten el contacto de las campanas con la superficie de apoyo.

#### Recepción

Sin bajar el producto del camión:

- Comprobar la cantidad y el tipo de tubería contra la orden de entrega.
- Inspeccionar el producto. Si existen grietas visibles, estas no deben extenderse a través de la pared y la anchura no debe ser superior a 0,15 mm.

#### Descarga del producto

- Las tuberías deben levantarse con medios mecánicos. No deben ser “empujadas” o lanzadas.

Tabla 1.24 Carga máxima de tubería ASTM C76 clase III por tipo de transporte									
Diámetro nominal mm	Lu	Lt	W	T	Pick up	Mediano	Camión	Tándem	Trailer
300	2500	2590	213	406	13	24	42	63	115
400	1250	1340	349	520	12	12	26	39	70
	2500	2590	551	510	5	5	16	24	44
500	1250	1340	393	640	9	9	23	34	62
	2500	2590	760	615	5	5	12	18	32
600	1250	1340	517	750	5	5	18	26	47
	2500	2590	995	720	3	3	9	13	25
700	1250	1340	678	870	5	5	13	20	36
	2500	2590	1306	825	3	3	7	10	19
800	1250	1340	857	930	3	3	9	16	26
	2500	2590	1656	948	1	1	5	6	11
	2500	2590	1714	930	1	1	5	6	11
900	1250	1340	997	1100	2	2	8	12	20
	2500	2590	1937	1054	1	1	4	6	10
	2500	2590	1994	1035	1	1	4	6	10
1000	2500	2600	2195	1220	1	1	4	5	9
1200	2500	2600	3239	1450	1	1	3	4	7
	2500	2615	3122.1	1450	1	1	3	4	7
1350	2500	6368.65	3868.65	1629	1	1	3	3	5
1370	2000	2120	2304	1652	1	1	3	4	7
1500	2500	7174	4674	1803	1	1	2	2	4
1520	1250	1370	2449	1828	1	2	3	4	6
1520	2000	2120	3902	1828	1	1	2	3	6
1680	1250	1350	3126	2006	1	2	3	3	6
1800	2500	2500	6519	2153		1	1	1	3
1830	1250	1350	3458	2184		1	2	3	5
2130	1250	1350	4546	2540			2	2	4
2440	1250	1350	6000	2900			1	2	4

- Cuando se utiliza equipo para descargar, el elemento debe izarse por el cuerpo para no dañar sus bordes y se pueden usar cadenas o eslingas.
- Cuando el levantamiento se realiza con excavadoras o retroexcavadoras, no debe superarse la carga de seguridad del equipo.

### Almacenamiento

Aunque las tuberías son fuertes, los extremos son particularmente susceptibles a los daños. Por lo tanto, al apilar tuberías es importante tener en cuenta lo siguiente:

- El producto debe ubicarse lo más cercano al sitio de instalación en el lado opuesto a las tierras de excavación. Verificar que se cuenta con el espacio disponible para manipular la tubería.
- El sitio de descarga debe estar nivelado, libre de escombros o lodo y tener capacidad para soportar el peso de las tuberías.
- Colocar los tubos en grupos de un mismo diámetro.
- Para el almacenamiento en varias hiladas, ubicar parales verticales y calzas a los extremos de la primera hilada de tubos para prevenir desplazamientos.
- En piso de concreto, ubicar piezas de madera bajo la tubería para evitar el contacto de la campana con la superficie de apoyo.
- En piso de lastre, excavar bajo las campanas para evitar su apoyo.
- La hilada siguiente se colocará de tal manera que todas las campanas estén al mismo lado y sobresalgan los machos de la hilada anterior (espigas y campanas alternas).
- Por seguridad, se recomienda no tener estibas mayores de 1,8 m.
- Los empaques deben almacenarse en un lugar fresco, seco y oscuro, manteniéndolos libres de polvo, grasas, aceites y, principalmente, los rayos del sol.

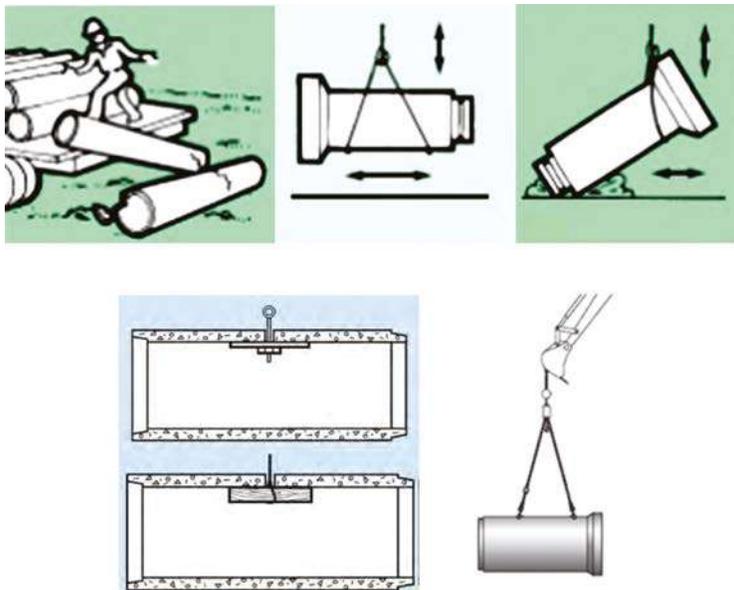


Figura 1.42 Descarga e izaje adecuado

Tabla 1.25 Peso máximo por tipo de transporte utilizado	
Transporte	Peso máximo (kg)
Pick up	4674
Mediano	6519
Camión	11606
Tándem	13712
Trailer	24875



Figura 1.43 Almacenamiento adecuado



## CAPÍTULO 2

# POSTES DE CONCRETO

Los postes de concreto son elementos preesforzados no segmentados de sección troncocónica o troncopiramidal, con un diámetro que varía a lo largo del elemento a razón de 1,5 cm por cada metro lineal.

Se utilizan principalmente como soportes estructurales de las líneas aéreas destinadas a los sistemas de energía eléctrica de media tensión, líneas de alta tensión, alumbrado público y telefonía. También se usan para otros fines, según requerimiento del cliente, para lo que se debe revisar la capacidad del elemento en cada caso particular.

Estos elementos prefabricados resisten las acciones de las cargas externas, ya que están compuestos de concretos de alta resistencia y armaduras tanto activas como pasivas.

La sección transversal del poste es hueca, excepto en su parte superior, la cúspide, donde el elemento es sólido en longitud entre 0,5 m y 1,5 m según el tipo. Todos los postes poseen orificios para llevar la puesta de tierra por el núcleo.

En general, los postes requieren anclajes adicionales, conocidos popularmente como "vientos". Sin embargo, algunos no los requieren y son los denominados autoportantes (PA).

### 2.1 Materiales y normativa vigente

Para la producción de los postes se utilizan materiales como concreto de alta resistencia inicial, acero de preesfuerzo en forma de torón, acero pasivo en forma de varilla corrugada y alambre de acero para espirales.

En función de las cargas y condiciones de suelo, se pueden requerir algunos de los siguientes elementos para la colocación del poste: fondo del poste, lastre, concreto pobre, anclas y bloques de anclajes, entre otros.

### Normativa vigente

- **Cemento:** el cemento cumple con las especificaciones del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agregados:** los agregados cumplen con la especificación INTE C15.
- **Refuerzo:** el acero de preesfuerzo cumple con las especificaciones ASTM A416 o ASTM A910. Las barras de acero corrugadas para el refuerzo de concreto cumplen con la especificación INTE C114 (ASTM A706). El alambre para la espiral de refuerzo de cortante cumple con la especificación ASTM A1064.

La metodología de diseño se rige por Guide for the design of prestressed concrete poles ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete Poles. PCI Journal, Vol. 42, N° 6, November-December 1997. Chicago Illinois, USA.

### 2.2 Criterios para uso y especificación

El diseño de los postes de concreto se enfoca en la capacidad del elemento para soportar las cargas laterales. De acuerdo con la capacidad a la flexión de la sección a nivel de empotramiento, se determina la carga lateral que puede soportar el poste. La distribución del refuerzo debe ser simétrica para garantizar la capacidad igual en todas direcciones.

La carga lateral a la que el poste estará sometido se determinará de acuerdo con su uso: la tensión en los cables de electricidad o telefonía, la distancia entre los postes, la carga de sismo, la carga de viento que actúa sobre el poste, la carga de viento que actúa sobre los elementos fijados en los postes (paneles, rótulos, cajas, etc.), las fuerzas en los cables de anclaje o cualquier otro elemento que puede resistir el viento o ejercer carga. A partir de esta carga, se calcula el momento en la sección de empotramiento. Una vez que se tiene este dato, se puede escoger un tipo de poste. En el elemento ya escogido se revisan los esfuerzos cortantes y las deflexiones y se diseña la cimentación.

Para la cimentación en suelos buenos se recomienda enterrar el poste en una longitud igual a  $10\% L_{total} + 0,5$  m. Cuando el suelo es de buena calidad, las cargas se transmiten por medio de bloque rígido. En el caso de que los suelos sean de una calidad no satisfactoria, se recomienda diseñar la fundación como un bloque rígido, aumentando su tamaño mediante la colocación del concreto en la porción enterrada de poste. También se puede diseñar una placa de fundación.

## 2.3 Tipos de postes y tablas de capacidades

La longitud en metros y el diámetro en la cúspide en centímetros definen cada tipo de poste. Por ejemplo, el poste 11 x 13 tiene 11 m de longitud y su diámetro de la cúspide es de 13 cm.

La capacidad de carga de los postes se confirma por medio de ensayos estructurales no destructivos y destructivos. En estos ensayos, el poste se coloca en una mesa de trabajo donde la parte inferior, en su longitud de empotramiento, se restringe de rotación y traslación. Usando dispositivos especiales, se aplica la carga en dirección perpendicular al eje longitudinal del poste distanciada a 50 cm desde su cúspide. Por medio de un teclé se aplica la carga, cuya magnitud se mide por medio de un dinamómetro. Se miden las deflexiones bajo la carga, las deflexiones permanentes al descargar el poste y se determina la carga de falla. Es obligatorio que el poste cumpla con los supuestos de diseño para que pueda ser despachado al cliente.

## 2.4 Almacenamiento y manipulación

Los postes pueden ser estibados de acuerdo con alguno de los tres métodos establecidos:

Al cargar el poste en el camión es necesario tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Se debe sujetar el poste con cadenas en la misma dirección y posición en que se ha puesto la madera para apoyarlo. Además, es importante colocar cuñas en las esquinas de las filas para evitar que los postes se muevan.

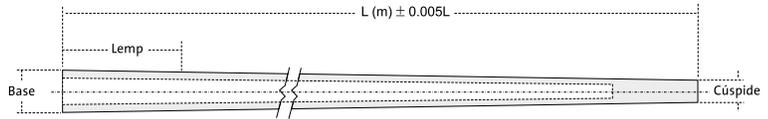


Figura 2.1 Sección longitudinal de poste

- Cuando se trate de postes con una longitud mayor a 15 m, se deben cargar en el camión utilizando una torre de izaje con el montacargas o grúa que impida la deformación del elemento.
- Si el poste se descarga con grúa, se debe tomar del centroide con el objetivo de nivelar las cargas en ambos lados.
- Si se descarga con montacargas, es necesario tomar el poste cerca del centroide para lograr el mismo objetivo anterior.

## 2.5 Instalación de los postes

La colocación de los postes empieza por la preparación de la cimentación. En el caso de la fundación estándar, se procede con los siguientes pasos:

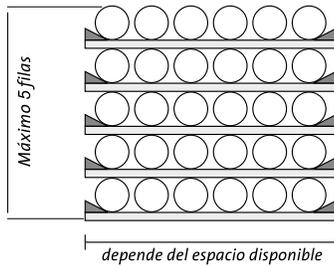
- Excavación del terreno
- Colocación de una capa de 10 cm de lastre compactado
- Colocación del fondo de concreto
- Colocación del poste en la excavación
- Relleno del espacio entre el poste y la pared de excavación con agregado compactado.

En la fase de instalación se recomienda colocar el poste cerca de la excavación preparada, sujetándolo por encima del centroide para colocarlo en ella.

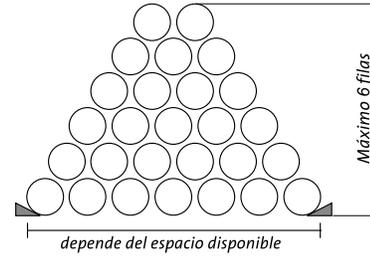
Tabla 2.1 Características técnicas y parámetros de instalación

Tipo de poste	Longitud (m)			Diámetro en la cúspide (cm)	Diámetro en la base (cm)	fMn (kg-m)	Posición del centroide medido desde la base (m)	Peso (kg)
	$L_{total}$	$L_{efectiva}$	$L_{empotramiento}$					
Po-08_13	8	6.7	1.3	13	25.0	3.499	3.36	530
Po-09_13	9	7.6	1.4	13	26.5	3.919	3.73	640
Po-09_16	9	7.6	1.4	16	29.5	4.919	3.94	700
Po-10_13	10	8.5	1.5	13	28.0	4.356	4.15	720
Po-11_13	11	9.4	1.6	13	29.5	4.815	4.49	820
Po-11_16	11	9.4	1.6	16	32.5	5.809	4.75	910
Po-12_13	12	10.3	1.7	13	31.0	5.284	4.80	960
Po-13_13	13	11.2	1.8	13	32.5	5.712	5.12	1100
Po-13_16	13	11.2	1.8	16	35.5	6.702	5.42	1230
Po-15_13	15	13.0	2.0	13	35.5	6.600	5.86	1480
Po-15_16	15	13.0	2.0	16	38.5	8.845	6.16	1600
Po-17_16	17	14.8	2.2	16	41.5	10.220	7.00	1706
PA-11_32	11	9.4	1.6	32	48.5	33.060	5.86	1985
PA-13_32	13	11.2	1.8	32	51.5	39.480	7.20	2385

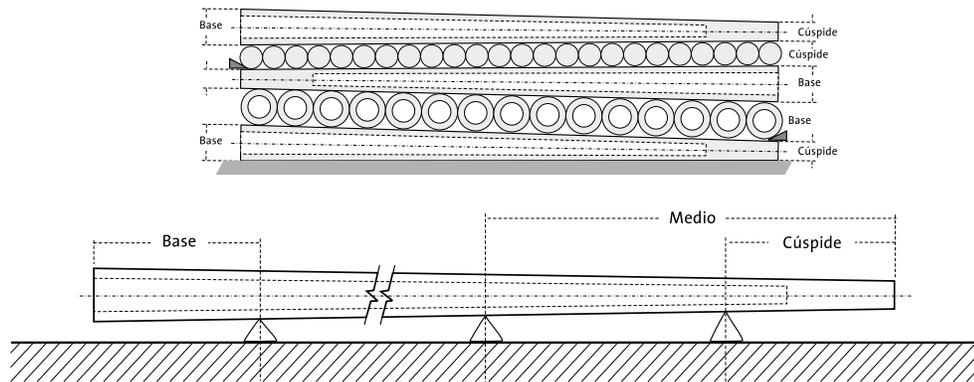
1. Estiba de postes ordenados horizontalmente  
(Sugerencia: máx. 5 filas)



2. Estiba de postes ordenado en forma de pirámide  
(Sugerencia: máx. 6 filas)



3. Estiba de postes ordenado en forma de reticula  
(Sugerencia: máx. 5 filas)



Para la estiba de postes orientados horizontalmente se deberán colocar a lo largo del poste los puntos de apoyo. Son necesarios 3 apoyos de los cuales dos se ponen a 50 cm de cada extremo y el tercero en el centro del poste. Los apoyos podrán tener una tolerancia de  $\pm 10$ cm.

Figura 2.2 Esquema de estiba para postes

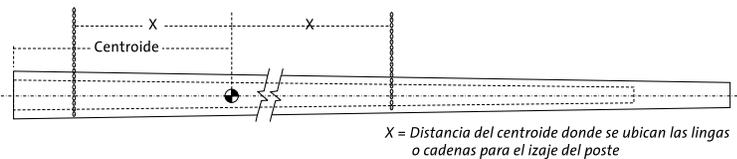


Figura 2.3 Puntos seguros para izaje del poste

Si la fundación del poste está diseñada para un caso específico, se recomienda seguir las instrucciones aportadas por el diseñador.

Una vez instalados y asegurados los postes en su sitio final, se pueden colocar los accesorios para los que fue diseñado.



## CAPÍTULO 3

# PILOTES PREFABRICADOS

**Los pilotes prefabricados son elementos prismáticos de concreto reforzado o preesforzado provistos de una punta en concreto.**

Son hincados en el terreno mediante el uso de equipo adecuado para tal fin, como martinetes de diésel o vapor. Pueden fabricarse con puntera metálica o con ducto para inyección de chorro de agua, cuando las condiciones del sitio así lo requieran.

### 3.1 Normativa vigente

El diseño y la proyección de cimentaciones con pilotes están regidos por la siguiente normativa:

- Código de Cimentaciones de Costa Rica. Establece los requisitos de diseño geotécnico de cimentaciones profundas de pilotes hincados para su uso en edificios.
- AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges. Establece los requisitos para el diseño estructural y geotécnico de cimentaciones con pilotes para subestructuras de puentes, según la metodología estándar de diseño.
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Establece los requisitos para el diseño estructural y geotécnico de cimentaciones con pilotes para subestructuras de puentes, según la metodología LRFD de diseño.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, tensión y cortante.
- CR-2010 Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes. Establece requisitos mínimos y condiciones para la contratación pública y construcción de cimentaciones profundas para estructuras de puentes. Incluye disposiciones mínimas que deben cumplir los equipos de hincado, así como las técnicas que deben emplearse para la verificación de la capacidad estructural, tales como el hincado de pilotes de prueba, la verificación mediante la fórmula dinámica de hinca y los casos en los que se requiere evaluar la ecuación de onda.

### 3.2 Criterios de selección de pilotes

Para la selección de los pilotes, el diseñador debe conocer las cargas que son transmitidas por la estructura y las propiedades mecánicas del suelo subyacente. Las dimensiones y cantidad de los pilotes requeridos estarán controladas por ambos criterios.

#### Carga axial de compresión

En general, los pilotes toman las cargas principalmente en compresión axial. La carga de la superestructura es transmitida por el pilote al suelo subyacente de varios modos: a) en forma directa a través de su punta, b) por medio de mecanismos de fricción con el suelo circundante en su fuste o c) por una combinación de ambos mecanismos.

El diseñador debe verificar que el suelo puede resistir la carga axial transmitida por el pilote y que este tenga la capacidad estructural necesaria para tomar dicha carga. Es frecuente, especialmente en el caso de pilotes de concreto prefabricado que trabajan por fricción y están sometidos solo a carga axial, que la capacidad de suelo sea la que controle el diseño. No obstante, la capacidad estructural del pilote puede ser crítica cuando existan cargas laterales o en fundaciones sobre roca con capacidad de punta muy elevada.

#### Carga lateral y flexocompresión

Hay numerosos ejemplos en los cuales los pilotes han sido empleados para tomar carga lateral, como en el caso de subestructuras de puentes, anclajes para muelles y marinas, muros de retención compuestos por pantallas de pilotes y otras estructuras que transmiten fuerzas cortantes elevadas a sus fundaciones.

Por otro lado, el proceso de transporte, descarga e izaje de los pilotes también puede producir momentos flectores y cortantes. Por todo esto, la resistencia a las fuerzas cortantes y la resistencia a la flexocompresión son características que el diseñador debe conocer. En la siguiente sección se presentan los diagramas de interacción y propiedades de las secciones de pilotes preesforzados que se utilizan con mayor frecuencia.

## Resistencia a la tensión

La resistencia de los pilotes a la tensión también es una variable relevante. En ocasiones, el pilote puede estar sujeto a fuerzas de extracción (por diseño), que son resistidas por la fricción que se desarrolla en el fuste. Cuando una sobrecarga externa consolida el suelo blando que circunda al pilote, puede presentarse el fenómeno de fricción negativa, que induce un arrastre hacia abajo en él. En pilotes con carga axial baja, esto puede implicar la aparición de tensiones netas en el pilote.

Por último, pero no menos importante, la operación de hincado de los pilotes provoca compresiones y tensiones axiales dinámicas y temporales a lo largo del pilote. Como la resistencia del concreto a la tensión es del orden de un 10 % de su resistencia a la compresión, con frecuencia se recurre al uso del concreto preesforzado para introducir una precompresión efectiva sobre la sección de concreto. El uso del preesfuerzo, adecuadamente diseñado, puede minimizar y hasta inhibir la aparición de fisuras por tensión durante el proceso de hincado.

## Otras consideraciones

Las normas de diseño de pilotes incluyen múltiples consideraciones para la adecuada proyección de una fundación profunda. Entre otras cosas, el diseñador debe prever un anclaje adecuado de los pilotes a la estructura y considerar el impacto que la separación entre ellos tiene en su capacidad individual y como grupo.

## 3.3 Tipos de pilotes

La tabla 3.1 muestra las propiedades de los distintos tipos de pilotes estándar. En todos los casos se trata de pilotes de sección cuadrada llena, que se han fabricado con longitudes de hasta 18 m.

Los pilotes pueden fabricarse con un ducto interno para la inyección de agua, cuando así se requiera para el hincado en arenas.

A continuación se presentan los diagramas de interacción de los tres tipos de pilotes de sección estándar (30x30 cm, 35x35 cm, 45x45 cm). Estos diagramas de interacción se han desarrollado para el refuerzo mediante acero de preesfuerzo que se encuentra a todo lo largo del pilote. Se ha despreciado la contribución de los cabos de acero de refuerzo longitudinal que se proveen en la punta y en la cabeza para el detallado y para facilitar la conexión.

Los pilotes pueden prefabricarse con capacidades mayores a las indicadas. Para proyectos especiales pueden fabricarse en secciones no estándar.

Tabla 3.1 Características de los pilotes prefabricados

Sección del pilote (DxD, en cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Perímetro P0 (m)	Módulo de sección S (cm <sup>4</sup> )	Peso (kg/m)	Largo máximo (m)
30 x 30	900	1.2	4500	225	14.0
35 x 35	1225	1.4	7146	306	15.5
45 x 45	2025	1.8	15188	506	15.5

La longitud máxima se estimó mediante el cálculo de los esfuerzos de erección durante la hinca, suponiendo que el pilote se levanta de un solo punto, a 2.0 m del extremo superior.

En el caso de que se levante de dos o más puntos, esta longitud puede aumentarse. El diseñador debe tomar en cuenta que es factible realizar acoples a los pilotes prefabricados, de manera que puedan instalarse pilotes muchos más largos.

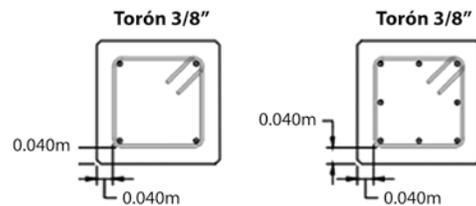


Figura 3.1 Configuración de torones para la sección de 30cm x 30cm

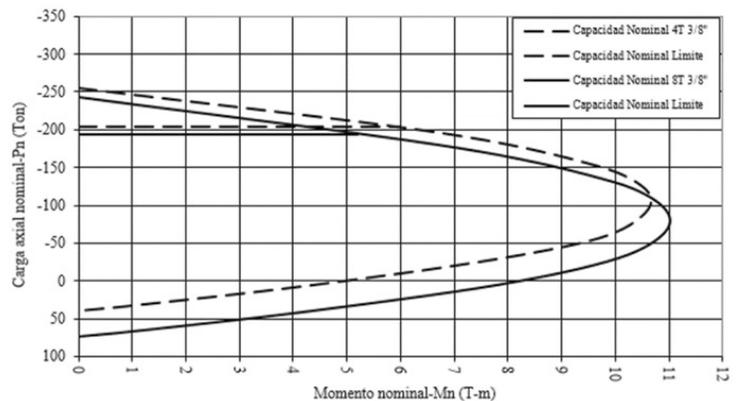


Figura 3.2 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con  $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

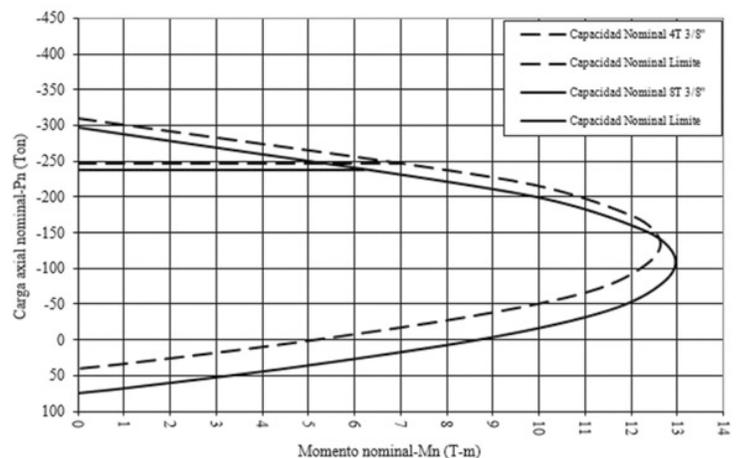


Figura 3.3 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 3.2 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 30cmx30cm con  $f'c=350\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			8 torones de 3/8"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-255.70	0.00	0.65	-242.81	0.00	0.65
-195.64	6.82	0.65	-176.24	7.01	0.65
-151.17	9.74	0.65	-130.14	9.99	0.65
-120.98	10.58	0.65	-98.33	10.88	0.65
-89.98	10.56	0.65	-64.88	10.93	0.65
-57.35	9.72	0.74	-29.91	10.04	0.74
-27.07	7.60	0.90	0.00	8.19	0.90
0.00	4.92	0.90	40.17	4.28	0.90
31.95	1.04	0.90	66.38	1.04	0.90
39.09	0.00	0.90	73.52	0.00	0.90

**Tabla 3.3 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 30cmx30cm con  $f'c=420\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			8 torones de 3/8"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-309.29	0.00	0.65	-296.50	0.00	0.65
-222.45	9.43	0.65	-203.16	9.62	0.65
-172.63	12.06	0.65	-151.71	12.30	0.65
-138.87	12.64	0.65	-116.32	12.93	0.65
-104.30	12.30	0.65	-79.31	12.67	0.65
-68.10	11.10	0.74	-40.32	11.47	0.74
-34.10	8.58	0.90	0.00	8.70	0.90
0.00	5.07	0.90	37.19	4.83	0.90
31.32	1.17	0.90	66.52	1.17	0.90
39.35	0.00	0.90	74.55	0.00	0.90

**Tabla 3.4 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 30cmx30cm con  $f'c=550\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			8 torones de 3/8"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-413.73	0.00	0.65	-401.10	0.00	0.65
-279.51	13.80	0.65	-260.37	14.00	0.65
-218.29	16.22	0.65	-197.51	16.47	0.65
-176.93	16.48	0.65	-154.53	16.77	0.65
-134.76	15.67	0.65	-109.91	16.04	0.65
-90.96	13.85	0.74	-62.68	14.28	0.74
-49.14	10.59	0.90	-16.64	10.89	0.90
0.00	5.29	0.90	0.00	9.31	0.90
29.80	1.46	0.90	66.13	1.46	0.90
39.73	0.00	0.90	76.06	0.00	0.90

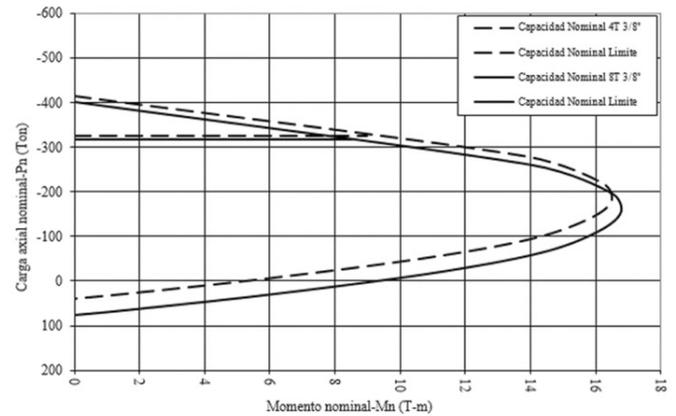


Figura 3.4 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con  $f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$

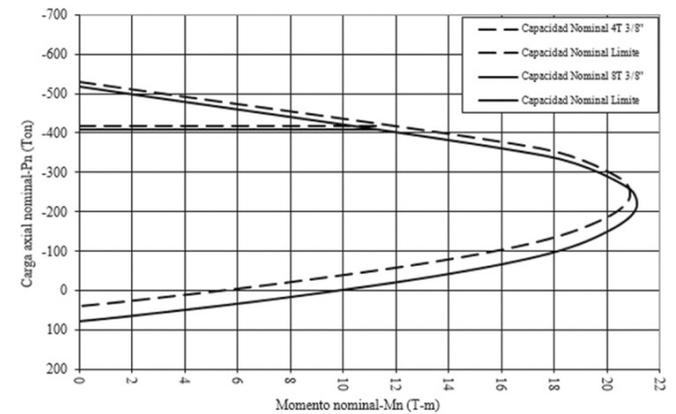


Figura 3.5 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con  $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$

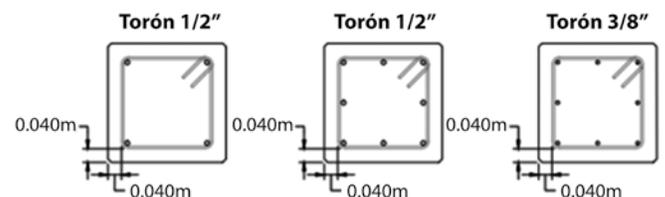
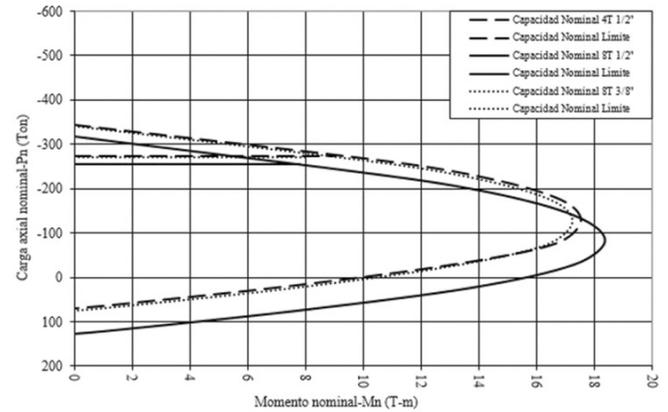


Figura 3.6 Configuración de torones para la sección de 35 cm x 35 cm

**Tabla 3.5 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 30cmx30cm con  $f'c=700\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			8 torones de 3/8"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-529.87	0.00	0.65	-517.35	0.00	0.65
-360.82	17.46	0.65	-341.79	17.65	0.65
-283.34	20.51	0.65	-262.68	20.76	0.65
-231.15	20.81	0.65	-208.86	21.11	0.65
-178.14	19.75	0.65	-153.41	20.12	0.65
-123.50	17.36	0.74	-94.74	17.85	0.74
-70.65	13.25	0.90	-37.86	13.59	0.90
0.00	5.50	0.90	0.00	9.82	0.90
27.45	1.85	0.90	64.88	1.85	0.90
40.09	0.00	0.90	77.52	0.00	0.90



*Figura 3.7 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$*

**Tabla 3.6 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 35cmx35cm con  $f'c=350\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			4 torones de 1/2"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-339.94	0.00	0.65	-342.49	0.00	0.65	-318.53	0.00	0.65
-254.03	11.01	0.65	-257.88	11.17	0.65	-222.20	11.65	0.65
-210.21	14.68	0.65	-214.27	14.87	0.65	-176.64	15.43	0.65
-165.53	16.74	0.65	-169.89	16.97	0.65	-129.51	17.64	0.65
-119.32	17.23	0.65	-124.13	17.52	0.65	-79.66	18.36	0.65
-70.07	16.24	0.73	-75.64	16.62	0.73	-28.26	17.27	0.73
-22.65	12.93	0.90	-31.26	13.31	0.90	0.00	15.53	0.84
0.00	10.70	0.90	0.00	9.88	0.90	74.70	7.81	0.90
67.88	1.42	0.90	60.89	1.42	0.90	119.33	1.42	0.90
76.21	0.00	0.90	69.22	0.00	0.90	127.66	0.00	0.90

**Tabla 3.7 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 35cmx35cm con  $f'c=420\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 3/8"			4 torones de 1/2"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-412.94	0.00	0.65	-415.46	0.00	0.65	-391.77	0.00	0.65
-290.59	15.15	0.65	-294.41	15.31	0.65	-258.99	15.80	0.65
-241.56	18.51	0.65	-245.60	18.70	0.65	-208.22	19.26	0.65
-191.66	20.16	0.65	-196.00	20.39	0.65	-155.90	21.06	0.65
-140.25	20.15	0.65	-145.04	20.43	0.65	-100.83	21.28	0.65
-85.80	18.57	0.73	-91.35	18.94	0.73	-43.20	19.72	0.73
-32.85	14.61	0.90	-41.42	14.99	0.90	0.00	16.67	0.90
0.00	11.12	0.90	0.00	10.21	0.90	70.86	8.80	0.90
67.58	1.60	0.90	60.45	1.60	0.90	120.69	1.60	0.90
76.95	0.00	0.90	69.82	0.00	0.90	130.06	0.00	0.90

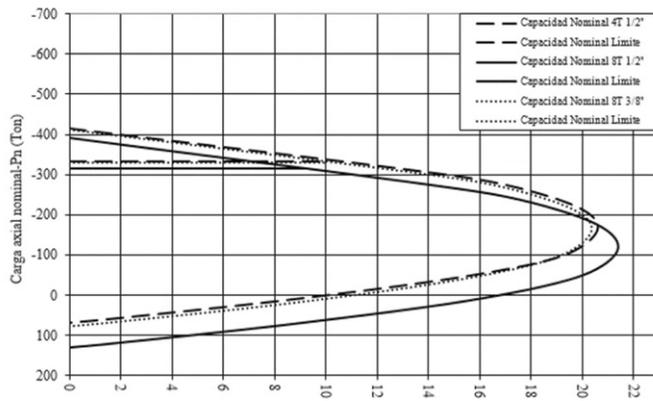


Figura 3.8 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con  $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$

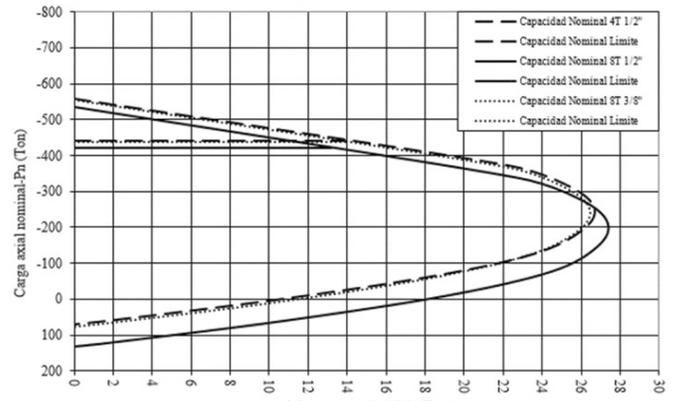


Figura 3.9 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con  $f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 3.8 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 35cmx35cm con  $f'c=550\text{kg/cm}^2$

4 torones de 3/8"			4 torones de 1/2"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-555.18	0.00	0.65	-557.68	0.00	0.65	-534.33	0.00	0.65
-368.33	22.10	0.65	-372.13	22.26	0.65	-337.05	22.74	0.65
-308.22	25.27	0.65	-312.23	25.46	0.65	-275.20	26.02	0.65
-247.24	26.47	0.65	-251.55	26.70	0.65	-211.79	27.38	0.65
-184.74	25.74	0.65	-189.50	26.02	0.65	-145.64	26.87	0.65
-119.20	23.17	0.73	-124.72	23.55	0.73	-75.44	24.50	0.73
-54.71	18.00	0.90	-63.22	18.39	0.90	0.00	18.36	0.90
0.00	11.69	0.90	0.00	10.67	0.90	61.78	10.78	0.90
66.43	1.99	0.90	59.11	1.99	0.90	121.96	1.99	0.90
78.02	0.00	0.90	70.70	0.00	0.90	133.55	0.00	0.90

Tabla 3.9 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 35cmx35cm con  $f'c=700\text{kg/cm}^2$

4 torones de 3/8"			4 torones de 1/2"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-713.32	0.00	0.65	-715.79	0.00	0.65	-692.72	0.00	0.65
-479.06	27.90	0.65	-482.83	28.07	0.65	-448.04	28.55	0.65
-403.15	31.91	0.65	-407.13	32.10	0.65	-370.38	32.66	0.65
-326.36	33.39	0.65	-330.65	33.61	0.65	-291.16	34.29	0.65
-248.06	32.38	0.65	-252.81	32.66	0.65	-209.21	33.51	0.65
-166.72	28.98	0.73	-172.22	29.35	0.73	-121.81	30.48	0.73
-86.00	22.48	0.90	-94.45	22.87	0.90	-38.00	23.64	0.90
0.00	12.17	0.90	0.00	11.08	0.90	0.00	19.62	0.90
64.31	2.53	0.90	56.79	2.53	0.90	122.16	2.53	0.90
79.06	0.00	0.90	71.54	0.00	0.90	136.91	0.00	0.90

**Tabla 3.10 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 45cmx45cm con  $f'c=350\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 0.6"			4 torones de 1/2" + 4 torones de 3/8"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-571.80	0.00	0.65	-568.39	0.00	0.65	-558.12	0.00	0.65
-434.84	23.75	0.65	-429.67	23.57	0.65	-414.18	23.89	0.65
-368.04	31.21	0.65	-362.61	30.99	0.65	-346.31	31.37	0.65
-294.63	35.93	0.65	-288.78	35.67	0.65	-271.29	36.12	0.65
-219.31	37.27	0.65	-212.85	36.95	0.65	-193.55	37.51	0.65
-140.19	35.47	0.74	-132.72	35.04	0.74	-111.23	35.65	0.74
-67.37	28.59	0.90	-56.80	28.12	0.90	-32.28	28.61	0.90
0.00	18.75	0.90	0.00	20.34	0.90	0.00	24.66	0.90
87.93	2.37	0.90	97.72	2.37	0.90	125.93	2.37	0.90
98.64	0.00	0.90	108.43	0.00	0.90	136.64	0.00	0.90

**Tabla 3.11 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 45cmx45cm con  $f'c=420\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 0.6"			4 torones de 1/2" + 4 Torones de 3/8"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-692.40	0.00	0.65	-689.01	0.00	0.65	-678.82	0.00	0.65
-495.19	32.57	0.65	-490.04	32.38	0.65	-474.64	32.70	0.65
-420.36	39.39	0.65	-414.94	39.17	0.65	-398.73	39.55	0.65
-338.24	43.24	0.65	-332.42	42.98	0.65	-315.01	43.44	0.65
-254.22	43.52	0.65	-247.79	43.19	0.65	-228.57	43.76	0.65
-166.40	40.45	0.74	-158.95	40.02	0.74	-136.95	40.74	0.74
-84.48	32.17	0.90	-73.93	31.70	0.90	-49.30	32.23	0.90
0.00	19.25	0.90	0.00	20.97	0.90	0.00	25.65	0.90
87.28	2.67	0.90	97.23	2.67	0.90	125.99	2.67	0.90
99.33	0.00	0.90	109.28	0.00	0.90	138.04	0.00	0.90

**Tabla 3.12 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 45cmx45cm con  $f'c=550\text{kg/cm}^2$**

4 torones de 0.6"			4 torones de 1/2" + 4 Torones de 3/8"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-927.43	0.00	0.65	-924.08	0.00	0.65	-914.00	0.00	0.65
-623.61	47.32	0.65	-618.50	47.14	0.65	-603.20	47.46	0.65
-531.68	53.81	0.65	-526.29	53.59	0.65	-510.19	53.97	0.65
-431.03	56.73	0.65	-425.24	56.47	0.65	-407.93	56.93	0.65
-328.48	55.49	0.65	-322.08	55.16	0.65	-302.97	55.73	0.65
-222.12	50.31	0.74	-214.71	49.88	0.74	-192.59	50.63	0.74
-121.11	39.43	0.90	-110.58	38.96	0.90	-85.77	39.54	0.90
0.00	19.96	0.90	0.00	21.83	0.90	0.00	26.99	0.90
85.44	3.30	0.90	95.61	3.30	0.90	125.18	3.30	0.90
100.34	0.00	0.90	110.51	0.00	0.90	140.08	0.00	0.90

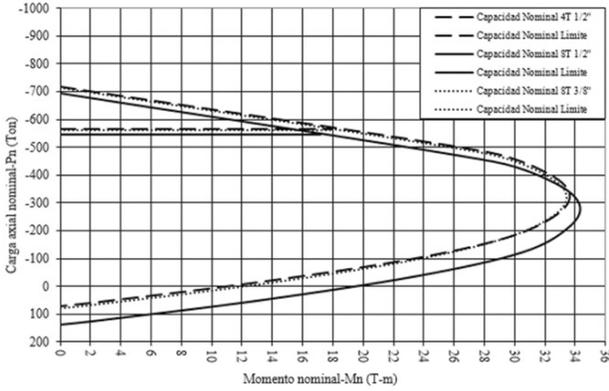


Figura 3.10 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con  $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$

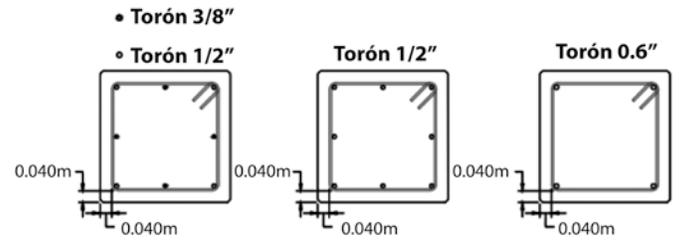


Figura 3.11 Configuración de torones para la sección de 45 cm x 45 cm

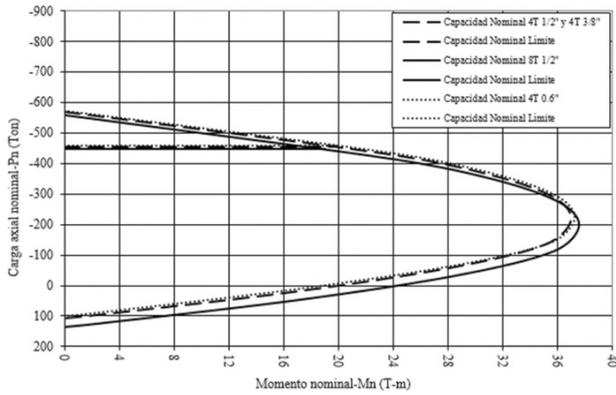


Figura 3.12 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con  $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

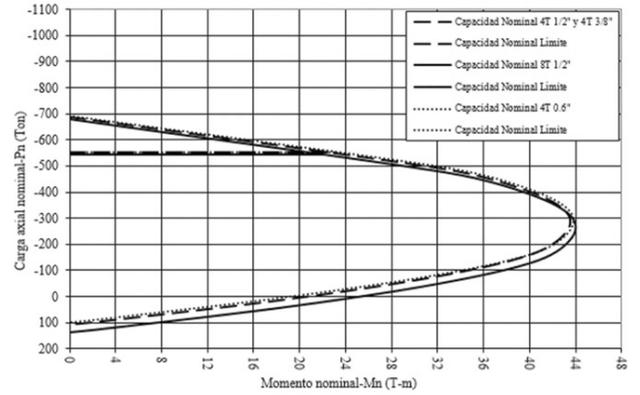


Figura 3.13 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$

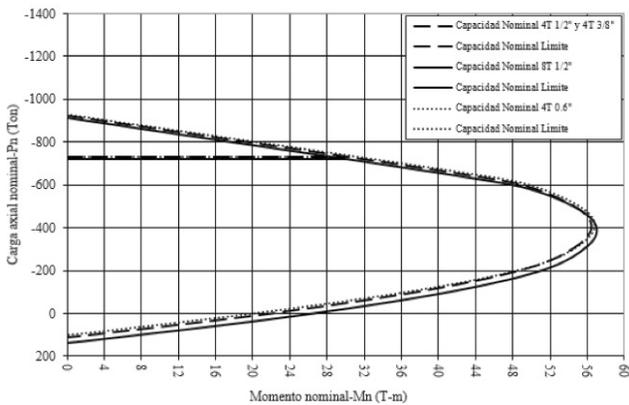


Figura 3.14 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con  $f_c = 550 \text{ kg/cm}^2$

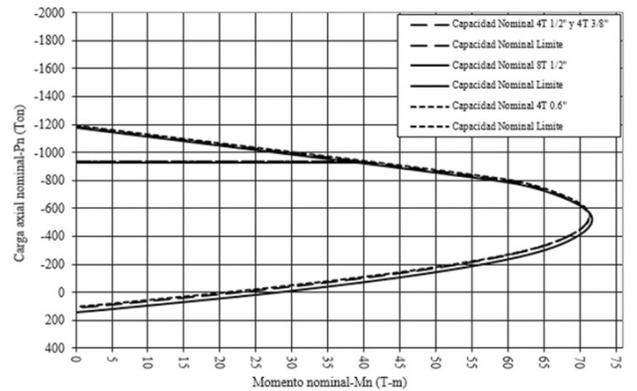


Figura 3.15 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con  $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 3.13 Valores para obtener el diagrama de interacción reducido del pilote de 45cmx45cm con  $f'c=700\text{kg/cm}^2$

4 torones de 0.6"			4 torones de 1/2" + 4 torones de 3/8"			8 torones de 1/2"		
Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	$\phi$ (ACI 318S-14)
-1188.77	0.00	0.65	-1185.44	0.00	0.65	-1175.44	0.00	0.65
-806.58	59.67	0.65	-801.49	59.48	0.65	-786.28	59.81	0.65
-690.26	67.84	0.65	-684.90	67.62	0.65	-668.89	68.00	0.65
-563.20	71.43	0.65	-557.43	71.17	0.65	-540.22	71.62	0.65
-434.24	69.64	0.65	-427.86	69.32	0.65	-408.84	69.89	0.65
-301.47	62.73	0.74	-294.08	62.30	0.74	-272.05	63.05	0.74
-173.50	49.00	0.90	-163.00	48.53	0.90	-137.99	49.16	0.90
0.00	20.57	0.90	0.00	22.54	0.90	0.00	28.06	0.90
82.34	4.20	0.90	92.73	4.20	0.90	123.08	4.20	0.90
101.30	0.00	0.90	111.69	0.00	0.90	142.04	0.00	0.90

### Diseño geotécnico

Las tablas 3.14 y 3.15 presentan una estimación de la capacidad de carga de los pilotes estándar para su uso en suelos granulares y cohesivos. Están calculados según los procedimientos descritos en el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009). Al pie de cada tabla se indican los supuestos empleados. La resistencia a la fricción se ha estimado en todos los casos para un suelo con propiedades mecánicas uniformes a todo lo largo del fuste del pilote. Para el diseño final es importante considerar el aporte a la resistencia de cada estrato de suelo.

*Advertencia: Las siguientes tablas sólo deben ser utilizadas para una estimación preliminar de la cantidad y longitud de pilotes requeridos, y nunca para diseño final.*

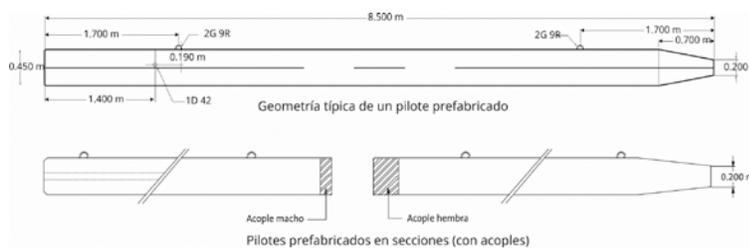


Figura 3.16 Geometría de los pilotes prefabricados

Para pilotes que trabajan por punta y por fricción, debe estimarse la capacidad por punta con las propiedades mecánicas del suelo en la punta y la capacidad por fricción con las propiedades mecánicas del suelo que rodea al fuste.

La capacidad obtenida es última y nominal, por lo que debe ser reducida por los factores de reducción apropiados según lo establece el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009). Del mismo modo, las cargas deben ser mayoradas con los factores de carga apropiados.

*Nota: Debe considerarse el impacto que la separación entre los pilotes tiene en su capacidad como grupo.*

$$Q_n = Q_p + Q_f$$

$$Q_u \leq f Q_n$$

### 3.4 La construcción con pilotes hincados

Según AASHTO LRFD en su versión 2012, el espaciamiento centro a centro entre pilotes no debe ser menor que 76 cm o 2,5 veces el diámetro del pilote. El espacio libre desde la cara del pilote hasta el borde más próximo de la placa cabezal no debe ser menor que 23 cm.

Después del descabezado, los pilotes deben anclarse a la placa cabezal al menos con cuatro varillas; el porcentaje de acero debe ser como mínimo el 0,5 % y deben desarrollar 1,25 (fyAs). El pilote debe quedar embebido en la placa cabezal no menos de 16 cm.

En el caso en el que no se dejan varillas de anclaje a 90 grados embebidas en la placa cabezal colada en sitio, después de remover la parte dañada del pilote este debe quedar embebido al menos 31 cm dentro del cabezal.

La resistencia mínima que debe utilizarse en el concreto de los pilotes prefabricados debe ser de 350 kg/cm<sup>2</sup>.

El recubrimiento mínimo del acero debe ser de 7,5 cm en la placa cabezal construida en sitio y 4 cm en el pilote prefabricado, según el ACI 318S-14.

Los pilotes prefabricados se deben descabezar y doblar el refuerzo a 90° dándole las dimensiones requeridas para el desarrollo, según se indica en la tabla 3.16.

**Tabla 3.14 Capacidad de carga nominal  $Q_n$  para pilotes hincados de concreto presforzado en suelos cohesivos para uso en edificaciones (con base en el Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2ª ed.)**

		Pilotes de 30 x 30 cm			Pilotes de 35 x 35 cm			Pilotes de 45 x 45 cm		
cu (Ton/m)	L (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	S (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	S (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	S (m)
1	4	4	0.8	0.5	5	1.1	0.6	6	1.9	0.8
	6	6	0.8	0.5	7	1.1	0.6	10	1.9	0.8
	8	9	0.8	0.5	10	1.1	0.6	13	1.9	0.8
	10	11	0.8	0.5	12	1.1	0.6	16	1.9	0.8
	12	13	0.8	0.5	15	1.1	0.6	19	1.9	0.8
	14	15	0.8	0.5	17	1.1	0.6	22	1.9	0.8
	16	17	0.8	0.5	20	1.1	0.6	26	1.9	0.8
4	4	17	3.3	0.5	20	4.5	0.6	26	7.4	0.8
	6	26	3.3	0.5	30	4.5	0.6	39	7.4	0.8
	8	34	3.3	0.5	40	4.5	0.6	51	7.4	0.8
	10	43	3.3	0.5	50	4.5	0.6	64	7.4	0.8
	12	51	3.3	0.5	60	4.5	0.6	77	7.4	0.8
	14	60	3.3	0.5	70	4.5	0.6	90	7.4	0.8
	16	69	3.3	0.5	80	4.5	0.6	103	7.4	0.8
8	4	22	6.6	0.5	26	9.0	0.6	33	15	0.8
	6	33	6.6	0.5	39	9.0	0.6	50	15	0.8
	8	44	6.6	0.5	51	9.0	0.6	66	15	0.8
	10	55	6.6	0.5	64	9.0	0.6	83	15	0.8
	12	66	6.6	0.5	77	9.0	0.6	99	15	0.8
	14	77	6.6	0.5	90	9.0	0.6	116	15	0.8
	16	88	6.6	0.5	103	9.0	0.6	132	15	0.8
15	4	34	12	0.5	40	17	0.6	51	28	0.8
	6	51	12	0.5	60	17	0.6	77	28	0.8
	8	69	12	0.5	80	17	0.6	103	28	0.8
	10	86	12	0.5	100	17	0.6	128	28	0.8
	12	103	12	0.5	120	17	0.6	154	28	0.8
	14	120	12	0.5	140	17	0.6	180	28	0.8
	16	137	12	0.5	160	17	0.6	206	28	0.8

cu: resistencia al corte no drenado del suelo.

La capacidad por punta se ha calculado con el factor de capacidad de carga para cimentaciones profundas en arcilla  $Nq^* = 9.0$ .

El valor de cu debe ser el valor ponderado a una profundidad bajo la base del pilote igual a S.

El valor de cu empleado para estimar la capacidad por fricción debe ser el valor ponderado a lo largo del fuste.

Estas tablas sólo deben ser empleadas para una estimación preliminar de tipo de pilotes y cantidad y nunca para un diseño final. El diseñador debe realizar un cálculo detallado con base en la propiedad mecánica de los distintos estratos de suelo por los que pasa el pilote. Además, toda cimentación con pilotes hincados requiere de verificación de la longitud requerida de pilote y de su capacidad in situ, usualmente mediante el hincado de pilotes de prueba.

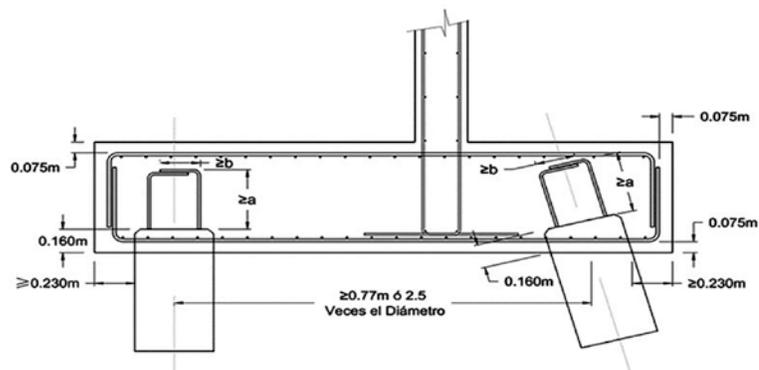


Figura 3.17 Detalle típico de conexión

**Tabla 3.15 Capacidad de carga nominal  $Q_n$  para pilotes hincados de concreto presforzado en suelos granulares para uso en edificaciones (con base en el Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2ª ed.)**

		Pilotes de 30 x 30 cm			Pilotes de 35 x 35 cm			Pilotes de 45 x 45 cm		
cu (Ton/m)	L (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	D (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	D (m)	$Q_F$ (Ton)	$Q_P$ (Ton)	D (m)
15	4	4	0.7	1.6	5	1.0	1.8	6	1.7	2.3
	6	9	0.7	1.6	11	1.0	1.8	14	1.7	2.3
	8	14	0.7	1.6	17	1.0	1.8	25	1.7	2.3
	10	18	0.7	1.6	24	1.0	1.8	35	1.7	2.3
	12	23	0.7	1.6	30	1.0	1.8	46	1.7	2.3
	14	28	0.7	1.6	37	1.0	1.8	57	1.7	2.3
	16	33	0.7	1.6	43	1.0	1.8	68	1.7	2.3
20	4	5	1.8	1.7	6	2.5	2.0	8	4.1	2.6
	6	11	1.8	1.7	13	2.5	2.0	17	4.1	2.6
	8	16	1.8	1.7	21	2.5	2.0	30	4.1	2.6
	10	22	1.8	1.7	29	2.5	2.0	43	4.1	2.6
	12	28	1.8	1.7	36	2.5	2.0	55	4.1	2.6
	14	34	1.8	1.7	44	2.5	2.0	68	4.1	2.6
	16	39	1.8	1.7	52	2.5	2.0	81	4.1	2.6
25	4	6	5.3	1.9	7	7.3	2.2	9	12.0	2.8
	6	12	5.3	1.9	15	7.3	2.2	19	12.0	2.8
	8	18	5.3	1.9	23	7.3	2.2	33	12.0	2.8
	10	25	5.3	1.9	32	7.3	2.2	48	12.0	2.8
	12	31	5.3	1.9	41	7.3	2.2	62	12.0	2.8
	14	38	5.3	1.9	49	7.3	2.2	76	12.0	2.8
	16	44	5.3	1.9	58	7.3	2.2	91	12.0	2.8
30	4	6	16	2.1	7	22	2.4	9	36	3.1
	6	13	16	2.1	16	22	2.4	20	36	3.1
	8	20	16	2.1	25	22	2.4	35	36	3.1
	10	26	16	2.1	34	22	2.4	51	36	3.1
	12	33	16	2.1	43	22	2.4	66	36	3.1
	14	40	16	2.1	53	22	2.4	81	36	3.1
	16	47	16	2.1	62	22	2.4	97	36	3.1
35	4	6	38	2.3	7	52	2.7	9	87	3.5
	6	13	38	2.3	16	52	2.7	21	87	3.5
	8	20	38	2.3	26	52	2.7	36	87	3.5
	10	27	38	2.3	35	52	2.7	52	87	3.5
	12	34	38	2.3	45	52	2.7	68	87	3.5
	14	41	38	2.3	54	52	2.7	83	87	3.5
	16	48	38	2.3	64	52	2.7	99	87	3.5

La capacidad por punta se ha calculado con el factor de capacidad de carga para cimentaciones profundas  $N_q^*$  desarrollado por Meyerhof (1976). Deberá garantizarse que el pilote ingrese una distancia  $D$  en la capa de apoyo.

La capacidad por fricción se ha desarrollado bajo el supuesto de un estrato de suelo único con un ángulo de fricción igual a  $f$  y un peso específico de 1.65 Ton/m<sup>3</sup>. Los resultados de capacidad por fricción pueden escalarse en función del peso específico real del suelo. Se consideran pilotes de alto desplazamiento ( $K/K_0=1.5$ ) y pilotes de concreto liso prefabricado ( $d=0.9f$ ).

Estas tablas sólo deben ser empleadas para una estimación preliminar de tipo de pilotes y cantidad y nunca para un diseño final. El diseñador debe realizar un cálculo detallado con base en la propiedades mecánicas de los distintos estratos de suelo por los que pasa el pilote. Además toda cimentación con pilotes hincados requiere de verificación de la longitud requerida de pilote y de su capacidad in situ, usualmente mediante el hincado de pilotes de prueba.

Tabla 3.16 Longitud de desarrollo requerida según resistencia del concreto para acero grado 60

Sección del pilote	Varillas de anclaje	f'c = 350 kg/cm <sup>2</sup>		f'c = 420 kg/cm <sup>2</sup>		f'c = 550 kg/cm <sup>2</sup>		f'c = 700 kg/cm <sup>2</sup>	
		a (cm)	b (cm)						
30cm x 30cm	4#4	22	16	20	16	22	16	18	16
35cm x 35cm	4#5	27	20	25	20	27	20	22	20
40cm x 40cm	4#6	33	23	30	23	33	23	26	23

### 3.5 Pilotes de concreto hincados en suelos duros

La puntera metálica es una alternativa cuando se requiera hincar pilotes en zonas donde el suelo es de consistencia dura o existe presencia de rocas, con el objetivo de evitar el daño de la sección de concreto durante el proceso.

La puntera debe ser de acero estructural y debe estar debidamente conectada al pilote de concreto, mediante barras transversales que atraviesan la sección del mismo en ambas direcciones ortogonales y se sueldan a la lámina metálica que recubre la punta (figura 3.18).

El espesor de la lámina de acero, el grado del acero, las varillas que conectan la puntera con el pilote y los demás detalles específicos deben ser definidos por el profesional responsable.

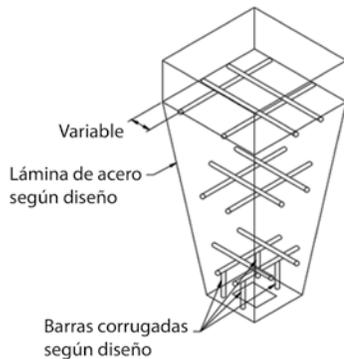


Figura 3.18 Puntera metálica para pilote de concreto

### 3.6 Conexiones para pilotes largos

En los casos en los que se dificulte la producción, transporte o hincado del pilote completo debido a su longitud, este se puede producir en varias partes, que se unen en el sitio mediante conexiones debidamente diseñadas según los requerimientos de resistencia en cada caso específico.

La conexión debe ser capaz de soportar y transmitir las fuerzas internas a las que estará sometido el pilote (carga axial, flexión y cortante).

En la figura 3.19 se muestra un detalle de acople, que puede variar según las características requeridas por el diseñador y la variedad disponible en el mercado.

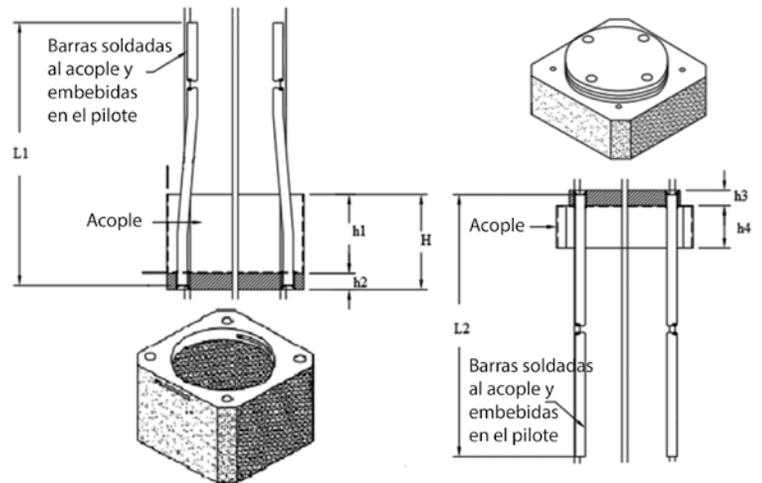


Figura 3.19 Detalle de acople



## CAPÍTULO 4

# BARRERAS DE CONCRETO

**Las barreras de concreto son elementos que se colocan a los lados de las carreteras y puentes con el propósito de proteger a los usuarios de las vías**

Deben ser capaces de contener y redireccionar los automóviles ante un choque, sin poner en peligro a sus ocupantes, camiones y otros vehículos o peatones que se encuentren cerca.

### 4.1 Geometría

Se pueden definir tres tipos de barreras según su ubicación:

- Laterales
- Laterales con faldón (puentes)
- Centrales

La diferencia principal entre ellas es su geometría, que se define según la posición requerida en la vía.

Las barreras laterales se utilizan en los extremos de la vía y pueden separar el tránsito vehicular de las zonas peatonales. Las barreras laterales con faldón se utilizan en puentes cuando, por razones estéticas, se quiere cubrir una zona de la superestructura. Las barreras centrales se utilizan para separar carriles entre sí. En la figura 4.1 se muestra la sección transversal de cada una.

Generalmente, los tres tipos de barreras se fabrican en elementos de 2 o 3 m de largo, sin embargo, se pueden diseñar piezas de ajuste para coincidir con la longitud requerida.

### 4.2 Materiales

Para la fabricación de las barreras se utilizan los siguientes materiales:

- Concreto con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días
- Acero según la norma ASTM A706

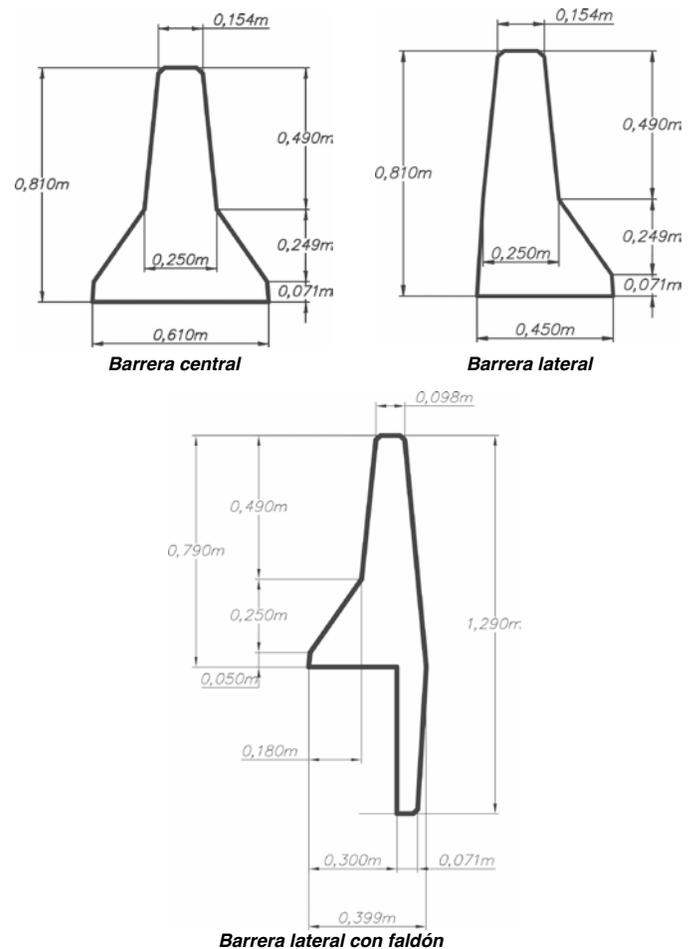


Figura 4.1 Sección de las barreras de concreto

### 4.3 Normas

La AASHTO, en su documento de diseño AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2010), clasifica las barreras según la fuerza de una colisión y define una altura mínima para cada tipo.

La fuerza que se produce en la colisión depende del tipo de vehículo involucrado y de la velocidad a la que viaja.

La clasificación va desde barreras que soportan colisiones para tránsito liviano (TL-01), cuya altura mínima es de 0,69 m, hasta aquellas que soportan colisiones de remolques cisterna (TL-06), con una altura mínima de 2,30 m.

La geometría de las barreras mostradas en la figura 6.1 cumple con los requisitos de las barreras tipo TL-01, TL-02, TL-03 y TL-04 según AASHTO LRFD. Esto significa que están diseñadas para soportar una colisión de automóviles.



Figura 4.2 Delimitación central de carretera por medio de barreras de concreto.

Si se requiere una barrera con una clasificación diferente, se deberá hacer el diseño particular siguiendo los lineamientos de AASHTO LRFD.

#### 4.4 Conexiones

##### Conexión entre barreras

Tradicionalmente se han utilizado dos tipos de conexiones. El primer tiempo es una unión colada en sitio. Las barreras que son diseñadas para conectarse de esta forma llevan otras previstas en los extremos y un bajo relieve, el cual se rellena con concreto para lograr la junta.

El segundo tipo de conexión y una alternativa a la opción colada en sitio, es unir las barreras mediante un cable de acero. Este cable se enhebra en los elementos por un ducto previsto para este fin.

##### Conexión barrera - Superficie de rodamiento

La conexión de la barrera con la superficie de rodamiento consiste en una varilla anclada en la superficie. La varilla es enhebrada en las barreras en una cajita detallada para tal fin y se fija, ya sea mediante una placa soldada o atornillada (figura 4.3).

Tradicionalmente, para barreras tipo TL-04 y menores se han utilizado varillas #6 para el anclaje.

Posteriormente, se debe rellenar con concreto la caja donde queda ubicado este anclaje, con el fin de protegerlo de la corrosión.

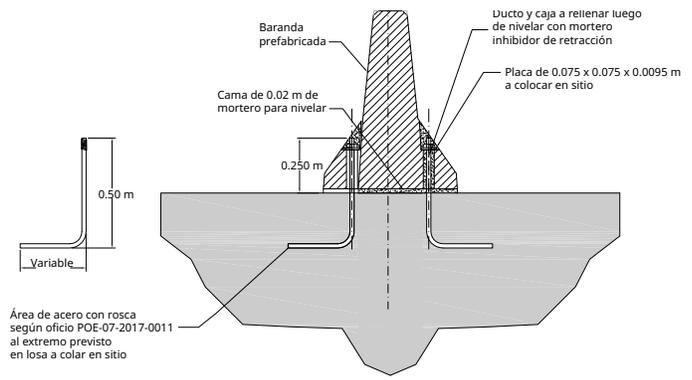
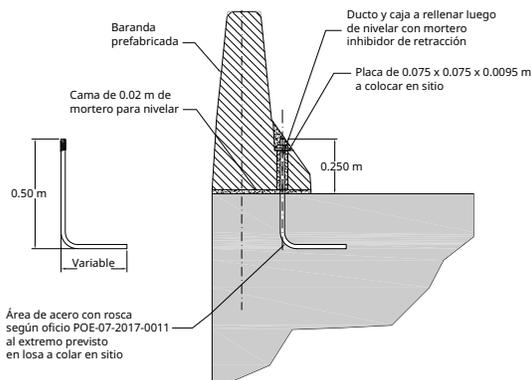


Figura 4.3 Detalle de anclaje de las barreras



## CAPÍTULO 5

# DURMIENTES DE CONCRETO

Los durmientes son elementos que se utilizan en las líneas de ferrocarril. Se colocan sobre una capa de material granular llamado balastro y sirven de apoyo para los rieles de acero.

Su función principal consiste en transmitir al balastro las cargas producidas por el paso del ferrocarril.

Holcim Modular Solutions fabrica durmientes de un solo bloque de concreto pretensado. A pesar de que existen durmientes de dos bloques, estos son los más económicos y apropiados por el tipo de ferrocarril que se usa en Costa Rica. El durmiente de concreto presenta mayor durabilidad con respecto al de madera, lo cual disminuye los costos de mantenimiento y restauración de vías.

### 5.1 Normativa vigente

La Asociación Americana de Ingeniería y Mantenimiento Ferroviarios (AREMA, por sus siglas en inglés) ha hecho diversas publicaciones sobre las prácticas recomendadas para el diseño y construcción de estructuras relacionadas con la ingeniería ferroviaria. En particular, el capítulo 30 de su publicación Manual for Railway Engineering (2008) resume el tema de durmientes.

Además, en el diseño de durmientes pretensados se deben tomar en cuenta los lineamientos aplicables del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14.

### 5.2 Materiales

Para fabricar los durmientes de concreto pretensado se utiliza:

- Concreto  $f'_c$ : 600 kg/cm<sup>2</sup>
- Alambres de preesfuerzo libres de esfuerzos residuales de 7 mm de diámetro (ASTM A421)

### 5.3 Características de la sección

#### Propiedades bajo el riel

Área transversal:	329,7 cm <sup>2</sup>
Inercia:	11 614 cm <sup>4</sup>
Centroide:	9,49 cm

#### Propiedades en el centro

Área transversal:	248,0 cm <sup>2</sup>
Inercia:	4302 cm <sup>4</sup>
Centroide:	6,84 cm
Largo del durmiente:	2,0 m
Peso del durmiente:	140 kg

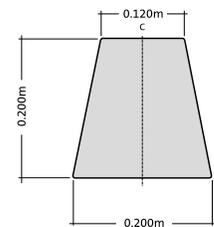


Figura 5.1 Sección de durmiente bajo el riel

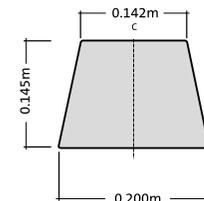


Figura 5.2 Sección durmiente al centro

### 5.4 Cargas de diseño

Las cargas a las que están sometidos los durmientes son el resultado de varios factores definidos en el sistema de ferrocarriles. A continuación, se enumera cada uno de ellos.

### 5.5 Espaciamiento entre durmientes

El espaciamiento entre los durmientes afecta los esfuerzos de flexión de los rieles, los esfuerzos de compresión sobre el balastro y los esfuerzos de flexión sobre los mismos durmientes.

Para el sistema nacional de ferrocarriles se ha utilizado una separación típica de 70 cm.

### 5.6 Factor de impacto

El factor de impacto incrementa en determinado porcentaje la carga estática vertical, con el fin de tomar en consideración el efecto dinámico del paso del ferrocarril y las irregularidades en las vías. Este factor puede rondar entre 150 % y 200 %, sin sobrepasar estos valores límite.

## 5.7 Distribución de la carga

Se ha confirmado, mediante pruebas de campo, que la carga que el ferrocarril ejerce sobre las vías se distribuye entre varios durmientes. La distribución de la carga depende del espaciamiento entre los durmientes, la reacción en el balastro y la subbase y la rigidez del riel.

El capítulo 30 del manual de la AREMA incluye una tabla que, de manera simplificada, muestra los valores de distribución de la carga en función únicamente del espaciamiento entre durmientes. Para la separación típica antes mencionada de 70 cm, el porcentaje de distribución es cercano al 56 %.

## 5.8 Carga del eje

Esta es la carga que transmite el ferrocarril a las vías y es especificada por el cliente, pues depende del tipo de máquina. La carga del eje se transmite a ambos rieles por igual, de modo que le llega la mitad a cada uno.

## 5.9 Guía de diseño

### 5.9.1 Revisión de la presión máxima sobre el balastro

Si bien la presión ejercida por el durmiente sobre el balastro no es uniforme, se puede calcular rápidamente un valor promedio. Para balastros de alta calidad y resistentes a la abrasión, la presión no debe exceder las 60 ton/m<sup>2</sup>. Para dicho cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

Donde:

$$\sigma_b = \frac{P_{\text{eje}} \cdot (1 + FI) \cdot FD}{A_d}$$

$\sigma_b$ : presión promedio en el balastro

$P_{\text{eje}}$ : carga en el eje

FI: factor de Impacto

FD: factor de distribución

$A_d$ : área de contacto entre el durmiente y el balastro

### 5.9.2 Carga transmitida por cada riel

La carga transmitida a cada durmiente en el punto de apoyo del riel se calcula mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$$P_{\text{riel}} = \frac{P_{\text{eje}}}{2} \cdot (1 + FI) \cdot FD$$

$P_{\text{riel}}$ : carga puntual en el apoyo de cada riel en el durmiente

$P_{\text{eje}}$ : carga en el eje

FI: factor de impacto

FD: factor de distribución

### 5.9.3 Límites de esfuerzos en el durmiente

Como consideración de diseño, los durmientes deben cumplir con todo lo indicado en el ACI 318S-14. Se recomienda además que la mayor precompresión después de todas las pérdidas en cualquier punto de la sección transversal no exceda los 17,2 MPa (1754,4 kg/cm<sup>2</sup>) (AREMA, 2008). Más allá de esto, debe haber un esfuerzo mínimo de precompresión en cualquier sección transversal vertical a lo largo del sentadero del riel de 3,5 MPa (35,7 kg/cm<sup>2</sup>) después de todas las pérdidas y sin carga externa aplicada.

## 5.10 Pruebas de laboratorio

Existe una serie de pruebas que se le pueden realizar a los durmientes para verificar su capacidad estructural. A continuación, se nombran algunas de ellas. Para una explicación más detallada, se recomienda revisar el capítulo 30 del manual de AREMA.

- Prueba de carga vertical en el apoyo del riel
- Prueba de momento negativo en el centro del durmiente
- Prueba de momento positivo en el centro del durmiente
- Prueba de carga repetida en el apoyo del riel
- Prueba de longitud de desarrollo, anclaje de alambres y carga última

## 5.11 Sistema de fijación entre el durmiente y el riel

La fijación entre el durmiente y los rieles del ferrocarril se realiza mediante clips metálicos que se aseguran por medio de un elemento de hierro fundido denominado shoulder, embebido en el elemento. Además, se utiliza una almohadilla como amortiguador entre el riel y el durmiente, llamada rail pad. Dicha almohadilla puede estar compuesta de HDPE, EVA o neopreno, según las cargas a las que esté sometido el durmiente. Así mismo, lleva unos aisladores laterales que sujetan el riel y lo aíslan eléctricamente.



Figura 5.3 Detalle de fijación mediante clips metálicos

## 5.12 Especificaciones actuales del Incofer

La superficie inferior de la traviesa deberá tener un acabado brusco a plancha. La superficie que sea acabado de molde debe estar libre de hormigueros y vacíos.

Todas las aristas superiores tendrán un ochavo de 5 a 10 mm o un redondeado de 5 mm de radio (tablas 5.1, 5.2 y 5.3).



Figura 5.4 Durmientes prefabricados en la planta de producción de Holcim Modular Solutions

Tabla 5.1 Características generales de la vía férrea	
Ancho de vía	1066.8 mm
Ancho de vía en inicio de curva (42 ¼")	1073.15 mm
Ancho de vía en curva (42 ½")	1079.5 mm
Radio típico de las curvas	100 m
Radio mínimo de las curvas	80 m

*Traviesas de concreto para ser utilizadas bajo rieles de 85 libras/yardas (A.S.C.E)*

Tabla 5.2 Condiciones de operación	
Operación típica ferroviaria	Industrial (Carga) Urbano (pasajeros)
Velocidad máxima	80 km/h
Carga de diseño por eje (sin factor)	160 kN
Carga Máxima por eje	180 kN
Fuerza aplicada en la base del riel por la sujeción e-clip	900 kgf (nominal toe load)
Fuerza total perpendicular al asiento del riel, ejercida por el conjunto de sujeción elástica, aplicada en el pie del riel	11 kN (clamping forcé) Norma EN 13146-7:2012
Resistencia a la deformación por fluencia	7 kN (creep resistance) Norma EN 13146-1:2012
Resistencia eléctrica	5kΩ Norma EN 13146-5:2012

Tabla 5.3 Características de las traviesas de concreto pretensadas	
Separación entre las traviesas	700 mm
Carga de diseño por eje	160 kN
Distribución de la carga por eje a cada traviesa	0.56
Factor de impacto	1.5
Alambres de refuerzo, conforme a la norma	ASTM A421
Volumen estimado de concreto	59 L
Peso estimado de la traviesa	140 kg (± 58 kg)
Largo de la traviesa	2000 mm ± 3 mm
Ancho máximo	200 mm ± 3 mm
Altura máxima	208 mm ± 3 mm
Tolerancia dimensionales adicionales	Conforme PCI MNL 135
Refuerzo, conforme a la norma de diseño	AREMA Cap. 30



## CAPÍTULO 6

# ENTREPISOS PRETENSADOS

Los sistemas de entrepisos compuestos por elementos pretensados de concreto prefabricado constituyen una de las formas más eficientes y rápidas de construir pisos y áreas útiles por encima del nivel del terreno.

En comparación con los colados en sitio u otros prefabricados no pretensados, todos los sistemas prefabricados de Holcim Modular Solutions comparten cuatro grandes ventajas:

1. Minimizan las deflexiones en condiciones de servicio: los entrepisos son elementos de concreto pretensado, por lo que cuentan con una contraflecha que se contrapone a la deflexión ocasionada por las cargas externas. Esto da la sensación de seguridad.
2. Son más eficientes para la misma luz: el pretensado garantiza un comportamiento elástico sin agrietar para cargas de servicio.
3. Su peso es menor que otros sistemas, por lo que se puede instalar manualmente o con equipo liviano. Además, permiten una reducción de las cargas sobre columnas, muros y fundaciones.
4. Minimizan o eliminan por completo el uso de formaleta y obra falsa y facilitan y aceleran la construcción de grandes áreas útiles.

En todos los casos, deberá colarse una sobrelosa estructural para garantizar la acción del diafragma rígido del entrepiso.

A continuación se describen los sistemas constructivos disponibles.

### 6.1 Sistemas para entrepisos

#### Viguetas y bloques

Son entrepisos pretensados con espesores totales de 20 cm y 25 cm que permiten una gran variedad de combinaciones de luces y cargas. Existen tres secciones estandarizadas de viguetas: de 12 cm, 15 cm y 20 cm de altura. El rango de luces en el que el entrepiso es eficiente varía desde 0,5 m hasta 7,5 m según las cargas impuestas.

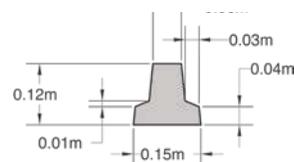
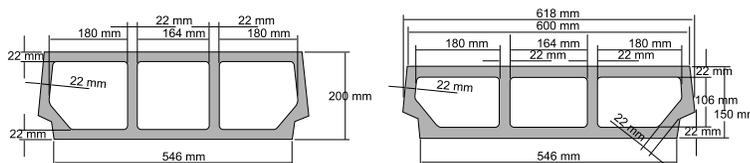


Figura 6.1 Detalle de vigueta de 12 cm



Ambos bloques tienen una profundidad de 20 cm

Figura 6.2 Bloque tipo A

Figura 6.3 Bloque tipo O

#### Ventajas adicionales de utilizar entrepisos de viguetas HMS

- Mayor separación entre viguetas (70 cm) en comparación con otros sistemas.
- Reducción del volumen de concreto ( $m^3/m^2$ ) en obra
- Menor peso total por metro cuadrado
- Bloques más livianos, lo que disminuye el uso de mano de obra
- No requiere equipo pesado para la instalación
- Buen aislamiento acústico y térmico
- Los bloques se pueden repellar
- Resistente al fuego, aísla vapores gracias a los vacíos de los bloques de concreto
- No es consumido por los insectos y no sufre corrosión
- Flexibilidad en el diseño modular y mecánico
- No requiere mantenimiento

## Sistema Losa Lex

Este sistema de entrepiso consiste en paneles con secciones huecas, en módulos de 1,22 m de ancho. Los paneles tienen espesores de 8 cm, 15 cm, 20 cm y 25 cm, que se pueden utilizar para claros entre vigas de hasta 12,0 m. La Losa Lex es versátil y económica y permite el desarrollo de numerosos tipos de proyectos. Constituye una solución segura y avanzada en proyectos con elevados requisitos arquitectónicos e ingenieriles.

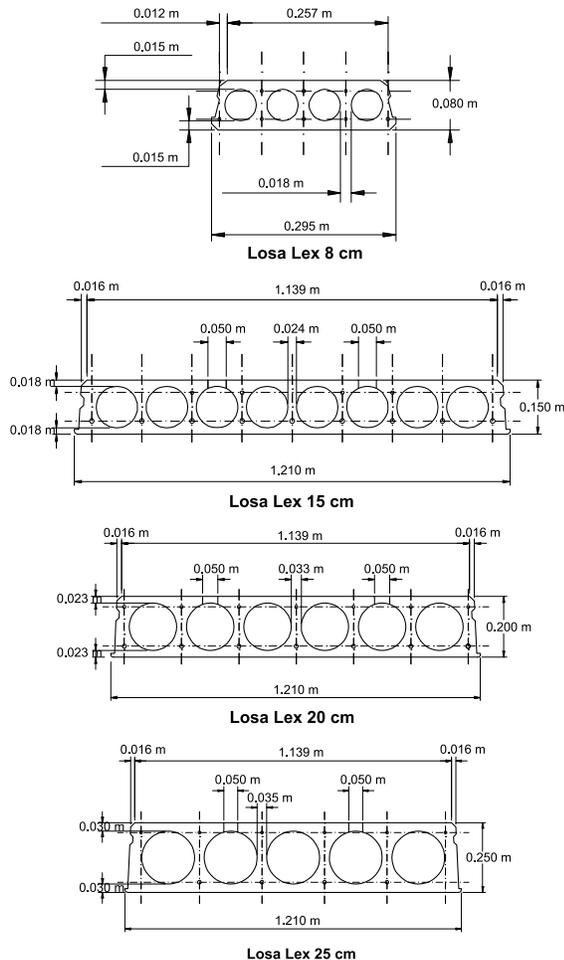


Figura 6.4 Detalle de los tipos de Losa Lex

### Ventajas adicionales de utilizar entrepiso Losa Lex

- Funcionalidad arquitectónica.
- Los entrepisos construidos a partir de elementos de Losa Lex permiten acabados planos por debajo y optimización del espacio.
- Mayor facilidad en la instalación eléctrica y mecánica, ya que los orificios de Losa Lex forman una ruta conveniente para colocar la tubería eléctrica y mecánica. Esta es una manera económica de eliminar instalaciones en la superficie.

- En numerosos edificios es posible utilizar los orificios de Losa Lex como ventilación y ductos para el aire acondicionado. Esto ofrece un ambiente agradable, atractiva apariencia y bajos costos de construcción.
- Fácil instalación en construcción donde se utilicen grúas.
- Construcción en el menor tiempo posible y al mejor costo.
- Versátil y flexible, puede usarse con cualquier sistema constructivo.
- Rapidez de construcción en cualquier condición climática.
- Facilidades para la instalación de acabados en cielos y pisos.
- Confort para los usuarios por su aislamiento acústico y térmico.
- Rápida entrega en obra.
- No requiere mantenimiento.
- Seguridad por su alta calidad, resistencia estructural y resistencia al fuego.

## Sistema doble te y canaleta

Este sistema de entrepiso consiste en losas nervadas en una dirección, específicamente en el sentido paralelo a su colocación. El peralte de los elementos va desde 15,0 cm hasta 50,5 cm y el ancho puede variar según la modulación del entrepiso, desde 1,06 m hasta 1,83 m.

### Ventajas al utilizar sistema de doble te y canaleta

- Fácil instalación en construcción en la que se utilicen grúas.
- Rapidez de construcción en cualquier condición climática.
- Buen aislamiento acústico y térmico.
- Puede ser utilizado en grandes luces.
- Soporta altas cargas de servicio, tales como cargas móviles pesadas (camiones de bomberos, buses de turismo e incluso camiones de diseño según la AASHTO).

## 6.2 Materiales y normativa vigente

- **Concreto:** el concreto utilizado en Losa Lex tiene una resistencia mínima a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup> al momento de destensar el preesfuerzo y de 420 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Por su parte, el concreto de las viguetas, canaletas y doble te tiene una resistencia a los 28 días de 700 kg/cm<sup>2</sup> y como mínimo de 280 kg/cm<sup>2</sup> a la hora del desencofrado.
- **Cemento:** el cemento cumple con las especificaciones del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agregados:** los agregados cumplen con la especificación INTE C15 (ASTM C33).
- **Refuerzo:** el acero de preesfuerzo cumple con las especificaciones ASTM A416 o ASTM A910.

### Normativa vigente

Los sistemas de entrepiso preesforzados tipo HMS están diseñados acorde con las normas y códigos mencionados a continuación:

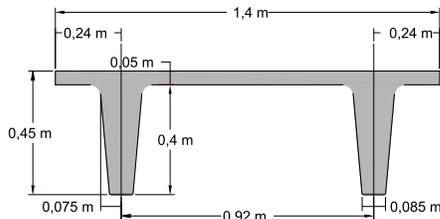


Figura 6.5 Sistema de canaleta

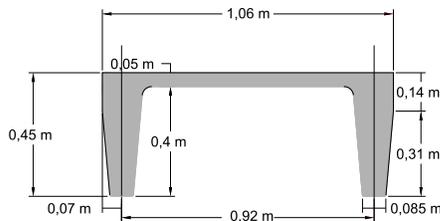


Figura 6.6 Sistema de doble te

- Código Sísmico de Costa Rica 2010, revisión 2014 (CSCR-2010). Establece las cargas vivas mínimas, los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados y los criterios de diseño de diafragmas de entrepiso.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, tensión y cortante.
- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE/SEI 37-14).
- Métodos de ensayo estándar para ensayos contra el fuego de materiales para la construcción (ASTM E119).

- Método estándar para el cálculo de protección estructural contra el fuego (ASCE/SEI/SPF 29-05).
- Método normalizado para determinar la resistencia al fuego de las construcciones de concreto y mampostería (ACI 216.1-14/TMS 0216.1-14).
- Manual de Diseño. Concreto prefabricado y presforzado. (PCI Design Handbook) 7 ed. 2014. Chicago, Illinois. USA. Capítulo 9, sección 9.3.
- Manual for the design of hollow core slabs. (1998). Chapter 6. PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute).

### 6.3 Criterios de selección

Para escoger el sistema de entrepiso más conveniente, es necesario conocer las cargas que actúan sobre él. En las tablas de selección se muestra la columna llamada sobrecarga, que es la suma de la carga viva (CV) seleccionada según el uso de la obra (tabla 6.1 del CSCR-2010) y la carga muerta adicional (CMadic).

Para ingresar a las tablas no se emplean factores de carga. La carga muerta adicional (CMadic) es toda la carga muerta de diseño, con excepción del peso del sistema estructural, que ya está incluido en el desarrollo de las tablas. El peso del sistema estructural incluye el peso de los elementos pretensados, los bloques de entrepiso (si existieran), los rellenos de concreto y la sobrelosa.

Una vez conocido el valor de la sobrecarga, es posible evaluar el claro libre máximo permitido para cada sistema de entrepiso y así seleccionar el más conveniente según el caso.

En todos los casos se consideran los criterios de esfuerzos de trabajo para las etapas de carga constructiva, capacidad última a flexión y cortante, deflexiones de servicio y cortante horizontal entre el prefabricado y la sobrelosa.

Las siguientes notas se utilizan para identificar de forma precisa cada uno de los sistemas de entrepiso, así como su refuerzo.

Tabla 6.1 Detalle para identificar sistemas de entrepiso y su refuerzo

<b>VIG 15-A</b>	Tipo de bloque: A y O Altura del elemento pretensado (cm) Tipo de elemento: vigueta pretensada
<b>Lex 20-2N/5H</b>	Cantidad y tipo de torones inferiores: N = torón de 9.53 mm; D = torón de 12.70 mm; H = torón de 15.24 mm Cantidad y tipo de torones superiores: N = torón de 9.53 mm; D = torón de 12.70 mm; H = torón de 15.24 mm Altura del elemento pretensado (cm) Tipo de elemento: Losa Lex
<b>DT 140-45.5 2N/5H</b>	Cantidad y tipo de torones inferiores: N = torón de 9.53 mm; D = torón de 12.70 mm; H = torón de 15.24 mm Cantidad y tipo de torones superiores: N = torón de 9.53 mm; D = torón de 12.70 mm; H = torón de 15.24 mm Peralte del elemento pretensado (cm) Ancho superior del elemento pretensado (cm) Tipo de elemento: Doble T
<b>7280kgf/15000kgf</b>	Fuerza de pretensión de los torones inferiores Fuerza de pretensión de los torones superiores
	Longitud de la Losa Lex (m) Contraflecha inicial (cm)

## Carga muerta adicional ( $CM_{adic}$ )

Esta carga comprende las siguientes acciones:

- Peso de acabados de piso
- Peso de instalación electromecánica
- Peso de cielos
- Peso de paredes internas
- Cualquier otra carga permanente adicional.

Las siguientes figuras muestran en forma general la efectividad de cada uno de los sistemas de entrepiso en función de la longitud libre del entrepiso.

Las tablas de diseño han sido desarrolladas para varios espesores típicos de sobrelosa, de acuerdo con la práctica común en cada sistema constructivo.

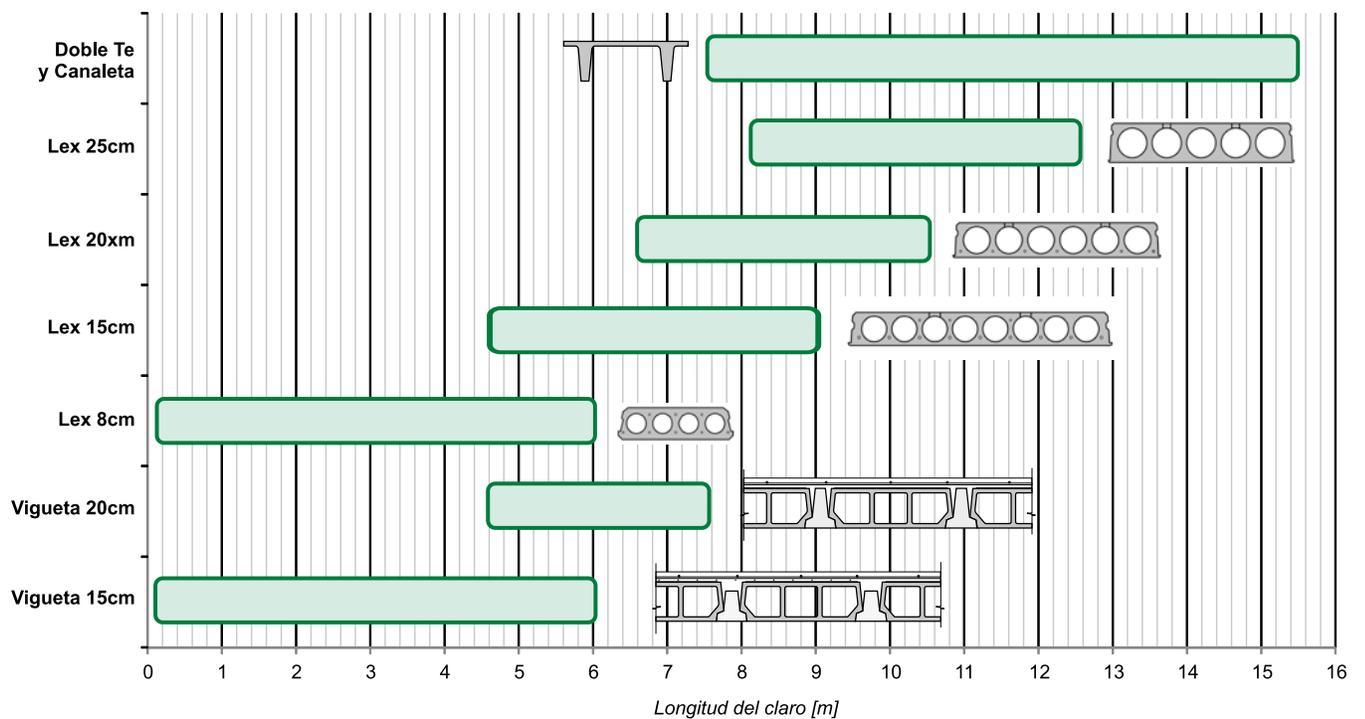


Figura 6.7 Efectividad de los sistemas de entrepiso en función de la longitud libre

*Advertencia: Si el espesor de sobrelosa que se empleará es mucho mayor que el indicado en la tabla, no se recomienda adicionarlo a la carga permanente adicional para manipular el resultado de las tablas. En sistemas sin apuntalamiento no hay garantía de estar del lado de la seguridad en el instante de colado del concreto y en sistemas apuntalados se corre el riesgo de terminar con un sistema con acero a flexión por debajo del mínimo permitido en los códigos. En estos casos realice la consulta específica al departamento de Ingeniería.*

## Tipologías estructurales

### Vigueta y bloque de concreto con sobrelosa en sitio

El sistema de viguetas y bloques es ideal para construcciones con claros menores o iguales a 7,5 m. Los diferentes ejemplos de montaje se presentan a continuación e incluyen el concreto de sobrelosa de 5,0 cm, las viguetas y los bloques.

Las tablas 6.2 y 6.3 se han desarrollado para sobrelosas de 5,0 cm y de 7,5 cm.

#### TIPO PC2: 1211-O

Basado en viguetas pretensadas de 12 cm de altura, con bloques tipo "O" de 15 cm de altura y 20 cm de profundidad, para un espesor total de 20 cm (incluye sobrelosa de 5 cm de espesor).

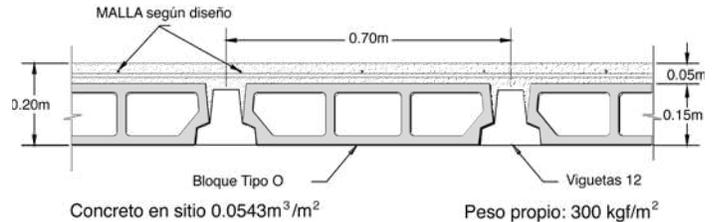


Figura 6.8 Detalle típico de entrepisos de vigueta de 12 cm con bloque tipo O

#### Tipo VIG15-O

Basado en viguetas pretensadas de 15 cm de altura, con bloques tipo "O" de 15 cm de altura y 20 cm de profundidad, para un espesor total de 20 cm (incluye sobrelosa de 5 cm de espesor).

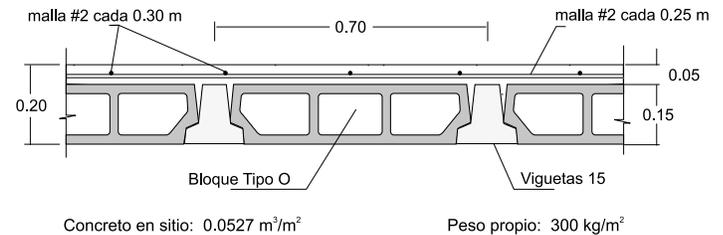


Figura 6.9 Detalle típico de entrepiso de vigueta de 15 cm con bloque tipo O

#### Tipo VIG15-A

Basado en viguetas pretensadas de 15 cm de altura y 20 cm de profundidad, con bloques tipo "A" de 20 cm de altura, para un espesor total de 25 cm (incluye sobrelosa de 5 cm de espesor).

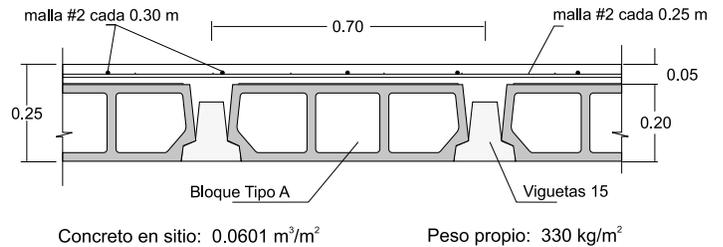


Figura 6.10 Detalle típico de entrepiso de vigueta de 15 cm con bloque tipo A

#### Tipo VIG20-A

Basado en viguetas pretensadas de 20 cm de altura y 20 cm de profundidad, con bloques tipo "A" de 20 cm de altura, para un espesor total de 25 cm (incluye sobrelosa de 5 cm de espesor).

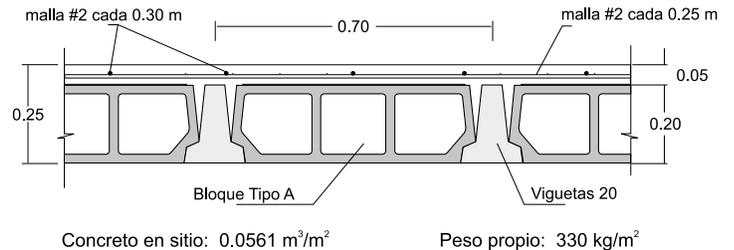


Figura 6.11 Detalle típico de entrepiso de vigueta de 20 cm con bloque tipo A

#### Tipo VIG20-U

Basado en viguetas pretensadas de 20 cm de altura, con bloques tipo "U" de 25 cm de altura, para un espesor total de 30 cm (incluye losa de 5 cm de espesor).

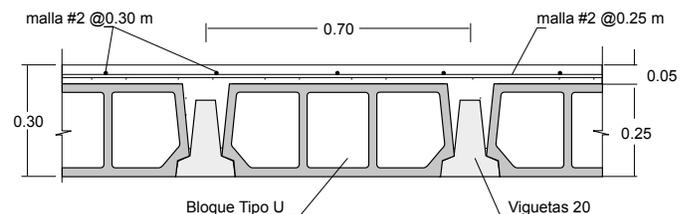


Figura 6.12 Detalle típico de entrepiso de vigueta de 20 cm con bloque tipo U

Tabla 6.2 Entrepisos de vigueta con sobrelosa de 5 cm y con resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup>								
Tipo de vigueta	VIG 15 O		VIG 15 A		VIG 20 A		VIG 20 U	
Peso de las viguetas	49 kg/m <sup>2</sup>		49 kg/m <sup>2</sup>		58 kg/m <sup>2</sup>		58 kg/m <sup>2</sup>	
Peso del concreto*	126 kg/m <sup>2</sup>		144 kg/m <sup>2</sup>		135 kg/m <sup>2</sup>		154 kg/m <sup>2</sup>	
Peso de los bloques	124 kg/m <sup>2</sup>		137 kg/m <sup>2</sup>		137 kg/m <sup>2</sup>		161 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	7280 kgf	7280 kgf						
Sobrecarga**	CLARO (m)	CLARO (m)						
CM <sub>adic</sub> + CV (kg/m <sup>2</sup> )	sin apunt.	con apunt.						
200	5.18	6.00	4.98	6.50	6.36	7.50	6.04	7.50
250	5.07	6.00	4.98	6.50	6.36	7.50	6.04	7.50
300	4.95	5.83	4.98	6.50	6.34	7.50	6.04	7.50
350	4.83	5.60	4.92	6.29	6.20	7.28	6.04	7.50
400	4.73	5.39	4.84	6.07	6.07	7.02	6.04	7.50
450	4.63	5.21	4.77	5.88	5.94	6.79	5.99	7.45
500	4.54	5.04	4.70	5.70	5.82	6.59	5.91	7.24
550	4.45	4.89	4.64	5.53	5.71	6.40	5.82	7.04
600	4.37	4.76	4.58	5.38	5.60	6.22	5.74	6.86
650	4.29	4.63	4.52	5.24	5.50	6.06	5.66	6.69
700	4.22	4.51	4.46	5.11	5.41	5.91	5.59	6.53
750	4.15	4.40	4.41	4.99	5.32	5.67	5.51	6.38
800	4.08	4.30	4.35	4.88	5.23	5.42	5.45	6.24
850	4.02	4.21	4.30	4.78	5.15	5.19	5.38	6.12
900	3.96	4.12	4.25	4.68	4.98	4.98	5.31	5.89
950	3.90	4.03	4.20	4.59	4.79	4.79	5.25	5.67
1000	3.85	3.96	4.16	4.50	4.61	4.61	5.19	5.46

Tabla 6.3 Entrepisos de vigueta con sobrelosa de 7.5 cm y con resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup>								
Tipo de vigueta	VIG 15 O		VIG 15 A		VIG 20 A		VIG 20 U	
Peso de las viguetas	49 kg/m <sup>2</sup>		49 kg/m <sup>2</sup>		58 kg/m <sup>2</sup>		58 kg/m <sup>2</sup>	
Peso del concreto*	186 kg/m <sup>2</sup>		204 kg/m <sup>2</sup>		195 kg/m <sup>2</sup>		214 kg/m <sup>2</sup>	
Peso de los bloques	124 kg/m <sup>2</sup>		137 kg/m <sup>2</sup>		137 kg/m <sup>2</sup>		161 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	7280 kgf	7280 kgf						
Sobrecarga**	CLARO (m)	CLARO (m)						
CM <sub>adic</sub> + CV (kg/m <sup>2</sup> )	sin apunt.	con apunt.						
200	4.81	6.00	4.65	6.50	5.94	7.50	5.67	7.50
250	4.81	6.00	4.65	6.50	5.94	7.50	5.67	7.50
300	4.73	5.99	4.65	6.50	5.94	7.50	5.67	7.50
350	4.65	5.77	4.65	6.39	5.94	7.44	5.67	7.50
400	4.58	5.58	4.61	6.18	5.87	7.20	5.67	7.50
450	4.50	5.40	4.56	6.00	5.78	6.98	5.67	7.50
500	4.43	5.24	4.51	5.83	5.68	6.78	5.67	7.37
550	4.37	5.10	4.46	5.67	5.59	6.60	5.63	7.18
600	4.30	4.96	4.41	5.52	5.51	6.43	5.57	7.00
650	4.24	4.84	4.37	5.39	5.43	6.27	5.51	6.84
700	4.19	4.72	4.32	5.26	5.35	6.13	5.45	6.69
750	4.13	4.62	4.28	5.15	5.28	5.91	5.39	6.54
800	4.08	4.51	4.24	5.04	5.21	5.66	5.33	6.41
850	4.02	4.42	4.20	4.94	5.14	5.44	5.28	6.28
900	3.97	4.33	4.16	4.84	5.07	5.23	5.23	6.16
950	3.93	4.25	4.12	4.75	5.01	5.03	5.17	5.97
1000	3.88	4.17	4.08	4.66	4.85	4.85	5.12	5.77

\* Contempla el peso de la sobrelosa y de los completamientos colados sobre las viguetas.

\*\* Contempla la carga temporal y las cargas permanentes adicionales al peso propio del sistema de entrepiso (sin factorar)

Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre-losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-14. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318S-14, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 24.5.2.1.

Se consideran los criterios de: - Capacidad última a flexión y cortante. - Esfuerzos elásticos. - Deflexiones al centro del claro.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M)-Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva. Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**

Vigueta desmolde f'<sub>ci</sub>=280kg/cm<sup>2</sup>

Vigueta f'<sub>c</sub>=420 kg/cm<sup>2</sup>

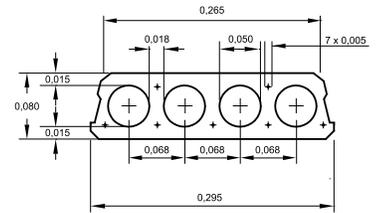
Sobrelosa en sitio f'<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>

Los entrepisos con vigueta de 20 cm o 15 cm y bloques tipo "A" con luces libres mayores de 6.00 m pueden experimentar vibraciones perceptibles según el uso.

Los entrepisos con vigueta de 15 cm y bloques tipo "O" con luces libres mayores de 5,50 m pueden experimentar vibraciones perceptibles según el uso.

**Tabla 6.4 Entrepisos con Losa Lex de 8 cm**

Con sobrelosa de 5 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>						
Tipo de losa	LEX 8-0R/3R		LEX 8-0N/4R		LEX 8-2R/5R	
Peso Losa Lex	117 kg/m <sup>2</sup>		117 kg/m <sup>2</sup>		117 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	138 kg/m <sup>2</sup>		138 kg/m <sup>2</sup>		138 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/2100 kgf		0/2100 kgf		2000/2100 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	4.80	6.00	4.95	6.00	4.96	6.00
250	4.80	5.75	4.95	6.00	4.96	6.00
300	4.80	5.52	4.95	6.00	4.96	5.93
350	4.76	5.32	4.95	5.87	4.96	5.81
400	4.63	5.14	4.95	5.66	4.96	5.70
450	4.51	4.94	4.95	5.48	4.96	5.60
500	4.39	4.76	4.82	5.31	4.92	5.48
550	4.29	4.60	4.71	5.16	4.86	5.33
600	4.19	4.45	4.60	5.01	4.77	5.19
650	4.10	4.31	4.50	4.88	4.67	5.06
700	4.02	4.19	4.40	4.75	4.58	4.94
750	3.94	4.08	4.31	4.62	4.49	4.83
800	3.86	3.97	4.23	4.50	4.40	4.72
850	3.79	3.88	4.15	4.39	4.32	4.62
900	3.72	3.79	4.08	4.29	4.24	4.53
950	3.66	3.70	4.01	4.19	4.17	4.40
1000	3.60	3.63	3.94	4.11	4.10	4.28
Contraflechas iniciales	$\Delta_{4.5m} = -1.2$ cm		$\Delta_{5.0m} = -2.1$ cm		$\Delta_{5.0m} = -1.0$ cm	



Losa de concreto de 8 cm, mostrando el máximo # de torones

Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 143,24
- Peso (kg/m): 34,00
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 117,00
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 1050

Figura 6.13 Losa Lex con sobrelosa en sitio de 8 cm

Con sobrelosa de 6 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>						
Tipo de losa	LEX 8-0R/3R		LEX 8-0N/4R		LEX 8-2R/5R	
Peso Losa Lex	117 kg/m <sup>2</sup>		117 kg/m <sup>2</sup>		117 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	162 kg/m <sup>2</sup>		162 kg/m <sup>2</sup>		162 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/2100 kgf		0/2100 kgf		2000/2100 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	4.70	6.00	4.87	6.00	4.90	6.00
250	4.70	5.90	4.87	6.00	4.90	6.00
300	4.70	5.69	4.87	6.00	4.90	6.00
350	4.70	5.49	4.87	6.00	4.90	5.98
400	4.62	5.32	4.87	5.87	4.90	5.88
450	4.52	5.11	4.87	5.69	4.90	5.79
500	4.42	4.93	4.85	5.52	4.90	5.69
550	4.33	4.76	4.75	5.37	4.87	5.54
600	4.24	4.61	4.65	5.23	4.82	5.40
650	4.16	4.48	4.56	5.08	4.73	5.27
700	4.08	4.35	4.47	4.94	4.64	5.15
750	4.00	4.24	4.39	4.81	4.56	5.04
800	3.94	4.13	4.31	4.68	4.48	4.93
850	3.87	4.03	4.24	4.57	4.41	4.84
900	3.81	3.94	4.17	4.47	4.34	4.74
950	3.75	3.85	4.10	4.37	4.27	4.65
1000	3.69	3.77	4.04	4.28	4.20	4.54
Contraflechas iniciales	$\Delta_{4.5m} = -1.2$ cm		$\Delta_{5.0m} = -2.1$ cm		$\Delta_{5.0m} = -1.0$ cm	

La tabla 6.4 se ha desarrollado para sobrelosas de 5,0 cm, 6,0 cm y 7,5 cm.

Notas:

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre losas lex y el peso de la sobre losa de 5, 6 y 7.5 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-14. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318S-14, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 24.5.2.1

Se consideran los criterios de:

- Capacidad última a flexión y cortante.
- Esfuerzos elásticos.
- Deflexiones al centro del claro.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.

Producto de pruebas realizadas por PC se encontró que por variaciones en el módulo de elasticidad y por efectos del flujo plástico ante la pretensión la contra-flecha teórica debe corregirse por un factor de 1.9 para calcular la contra-flecha real.

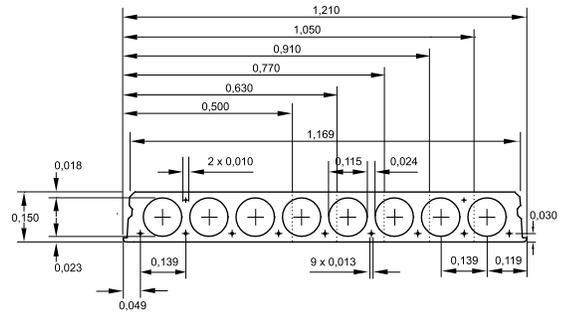
Las contra-flechas iniciales incluyen el factor de 1.9, y se muestran como parámetro de referencia, no como un dato exacto para cada caso analizado.

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**  
 Losa Lex al desmolde f'ci=280kg/cm<sup>2</sup>  
 Losa Lex f'c=420 kg/cm<sup>2</sup>  
 Sobrelosa en sitio f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>

Con sobrelosa de 7.5 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>			
Tipo de losa	LEX 8-0R/3R	LEX 8-0N/4R	LEX 8-2R/5R
Peso Losa Lex	117 kg/m <sup>2</sup>	117 kg/m <sup>2</sup>	117 kg/m <sup>2</sup>
Peso concreto colado en sitio**	198 kg/m <sup>2</sup>	198 kg/m <sup>2</sup>	198 kg/m <sup>2</sup>
Fuerza de pretensión	0/2100 kgf	0/2100 kgf	2000/2100 kgf
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	6.00	6.00	6.00
250	5.88	6.00	6.00
300	5.69	6.00	6.00
350	5.51	6.00	6.00
400	5.35	5.90	6.00
450	5.21	5.73	6.00
500	5.07	5.58	5.97
550	4.95	5.44	5.83
600	4.83	5.31	5.70
650	4.69	5.18	5.57
700	4.57	5.07	5.46
750	4.45	4.96	5.35
800	4.34	4.86	5.24
850	4.24	4.77	5.14
900	4.14	4.68	5.05
950	4.06	4.59	4.96
1000	3.97	4.51	4.88
Contraflechas iniciales	$\Delta_{4.5m} = -0.9$ cm	$\Delta_{5.0m} = -1.6$ cm	$\Delta_{5.0m} = -1.0$ cm

**Tabla 6.5 Entrepisos con Losa Lex de 15 cm**

Con sobrelosa de 6 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>						
Tipo de losa	LEX 15-0N/8N		LEX 15-0N/9N		LEX 15-2N/8D	
Peso Losa Lex	187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	155 kg/m <sup>2</sup>		155 kg/m <sup>2</sup>		155 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/6500 kgf		0/7280 kgf		7280/10500 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	7.43	9.00	7.54	9.00	8.14	9.00
250	7.43	9.00	7.54	9.00	8.14	9.00
300	7.43	8.94	7.54	9.00	8.14	9.00
350	7.43	8.64	7.54	9.00	8.14	9.00
400	7.43	8.37	7.54	8.73	8.14	9.00
450	7.43	8.11	7.54	8.47	8.14	9.00
500	7.43	7.84	7.54	8.23	8.14	8.79
550	7.30	7.59	7.54	7.98	8.12	8.56
600	7.14	7.37	7.43	7.74	7.93	8.34
650	6.98	7.16	7.27	7.52	7.76	8.14
700	6.84	6.97	7.11	7.33	7.59	7.93
750	6.70	6.80	6.97	7.14	7.44	7.67
800	6.57	6.63	6.84	6.97	7.27	7.43
850	6.45	6.48	6.71	6.81	7.06	7.21
900	6.33	6.34	6.59	6.66	6.87	7.01
950	6.21	6.21	6.43	6.52	6.69	6.82
1000	6.08	6.08	6.27	6.38	6.52	6.65
Contraflechas iniciales	$\Delta_{7.5m} = -1.4$ cm		$\Delta_{8.0m} = -2.3$ cm		$\Delta_{8.5m} = -2.4$ cm	



Losa de concreto de 15 cm, mostrando el máximo # de torones

Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 930.40
- Peso (kg/m): 223.00
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 187.00
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 26240

Figura 6.14 Losa Lex con sobrelosa en sitio de 15 cm

Con sobrelosa de 8 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>						
Tipo de losa	LEX 15-0N/8N		LEX 15-0N/9N		LEX 15-2N/8D	
Peso Losa Lex	187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	203 kg/m <sup>2</sup>		203 kg/m <sup>2</sup>		203 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/6500 kgf		0/6500 kgf		7280/10500 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	7.09	9.00	7.19	9.00	7.77	9.00
250	7.09	9.00	7.19	9.00	7.77	9.00
300	7.09	8.77	7.19	9.00	7.77	9.00
350	7.09	8.50	7.19	8.86	7.77	9.00
400	7.09	8.26	7.19	8.60	7.77	9.00
450	7.09	8.04	7.19	8.37	7.77	9.00
500	7.09	7.83	7.19	8.16	7.77	9.00
550	7.02	7.64	7.19	7.96	7.77	8.85
600	6.89	7.47	7.16	7.77	7.77	8.65
650	6.76	7.30	7.02	7.60	7.77	8.45
700	6.63	7.15	6.90	7.43	7.66	8.27
750	6.52	7.00	6.77	7.28	7.53	8.10
800	6.41	6.86	6.66	7.14	7.40	7.88
850	6.30	6.74	6.55	7.00	7.27	7.65
900	6.20	6.61	6.44	6.88	7.16	7.44
950	6.10	6.50	6.34	6.75	7.01	7.25
1000	6.01	6.38	6.25	6.60	6.84	7.07
Contraflechas iniciales	$\Delta_{7.5m} = -1.82$ cm		$\Delta_{7.5m} = -1.82$ cm		$\Delta_{8.5m} = -2.44$ cm	

La tabla 6.5 se ha desarrollado para sobrelosas de 6 cm, 8 cm y 10 cm.

Notas:

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre losas lex y el peso de la sobre losa de 6, 8 y 10 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-02. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 18.3.3.

Se consideran los criterios de:

- Capacidad última a flexión y cortante.
- Esfuerzos elásticos.
- Deflexiones al centro del claro.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.

Producto de pruebas realizadas por PC se encontró que por variaciones en el módulo de elasticidad y por efectos del flujo plástico ante la pretensión la contra-flecha teórica debe corregirse por un factor de 1.9 para calcular la contra-flecha real.

Las contra-flechas iniciales incluyen el factor de 1.9, y se muestran como parámetro de referencia, no como un dato exacto para cada caso analizado.

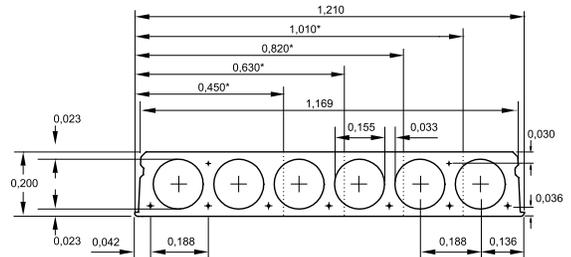
Con sobrelosa de 10 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>						
Tipo de losa	LEX 15-0N/8N		LEX 15-0N/9N		LEX 15-2N/8D	
Peso Losa Lex	187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>		187 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	251 kg/m <sup>2</sup>		251 kg/m <sup>2</sup>		251 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/6500 kgf		0/6500 kgf		7280/10500 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento					
200	6.78	9.00	6.88	9.00	7.43	9.00
250	6.78	9.00	6.88	9.00	7.43	9.00
300	6.78	8.94	6.88	9.00	7.43	9.00
350	6.78	8.70	6.88	9.00	7.43	9.00
400	6.78	8.47	6.88	8.83	7.43	9.00
450	6.78	8.26	6.88	8.61	7.43	9.00
500	6.78	8.07	6.88	8.41	7.43	9.00
550	6.78	7.89	6.88	8.21	7.43	9.00
600	6.78	7.72	6.88	8.04	7.43	8.95
650	6.75	7.56	6.88	7.87	7.43	8.76
700	6.64	7.41	6.88	7.71	7.43	8.59
750	6.54	7.27	6.80	7.57	7.43	8.42
800	6.44	7.14	6.70	7.43	7.43	8.26
850	6.35	7.01	6.60	7.29	7.34	8.08
900	6.26	6.89	6.51	7.17	7.23	7.87
950	6.18	6.78	6.42	7.05	7.13	7.67
1000	6.09	6.65	6.33	6.94	7.04	7.48
Contraflechas iniciales	$\Delta_{7.0m} = -1.4$ cm		$\Delta_{7.5m} = -1.8$ cm		$\Delta_{8.5m} = -2.5$ cm	

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**

- Losa Lex al desmolde f'ci=280kg/cm<sup>2</sup>
- Losa Lex f'c=420 kg/cm<sup>2</sup>
- Sobrelosa en sitio f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 6.6 Entrepisos con Losa Lex de 20 cm**

Con sobrelosa de 6 cm con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$						
Tipo de losa	LEX 20-0N/7N		LEX 20-0N/5D		LEX 20-2N/7D	
Peso Losa Lex	245 kg/m <sup>2</sup>		245 kg/m <sup>2</sup>		245 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	155 kg/m <sup>2</sup>		155 kg/m <sup>2</sup>		155 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/6000 kgf		0/12000 kgf		7280/13100 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	9.15	9.92	9.54	10.50	10.50	10.50
250	9.11	9.57	9.54	10.50	10.50	10.50
300	8.83	9.24	9.54	10.50	10.50	10.50
350	8.58	8.95	9.54	10.50	10.50	10.50
400	8.34	8.69	9.36	9.76	10.50	10.50
450	8.13	8.45	9.12	9.48	10.50	10.50
500	7.93	8.22	8.89	9.23	10.50	10.50
550	7.74	8.02	8.68	8.98	9.93	10.50
600	7.57	7.80	8.48	8.73	9.70	10.50
650	7.41	7.60	8.30	8.50	9.49	9.80
700	7.25	7.40	8.13	8.28	9.29	9.55
750	7.11	7.22	7.96	8.08	9.11	9.25
800	6.98	7.06	7.81	7.90	8.84	8.98
850	6.85	6.90	7.67	7.72	8.60	8.72
900	6.73	6.76	7.53	7.56	8.37	8.49
950	6.61	6.62	7.40	7.41	8.16	8.27
1000	6.49	6.49	7.25	7.26	7.96	8.07
Contraflechas iniciales	$\Delta_{8,1 \text{ m}} = -0.6 \text{ cm}$		$\Delta_{9,1 \text{ m}} = -1.6 \text{ cm}$		$\Delta_{10,4 \text{ m}} = -2.5 \text{ cm}$	



Losa de Concreto de 20 cm, mostrando el máximo # de torones

Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 1218,00
- Peso (kg/m): 299,00
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 245,00
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 61430

Figura 6.15 Losa Lex con sobrelosa en sitio de 20 cm

Con sobrelosa de 8 cm con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$						
Tipo de losa	LEX 20-0N/7N		LEX 20-0N/5D		LEX 20-2N/7D	
Peso Losa Lex	245 kg/m <sup>2</sup>		245 kg/m <sup>2</sup>		245 kg/m <sup>2</sup>	
Peso concreto colado en sitio**	203 kg/m <sup>2</sup>		203 kg/m <sup>2</sup>		203 kg/m <sup>2</sup>	
Fuerza de pretensión	0/6000 kgf		0/12000 kgf		7280/13100 kgf	
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento	CLARO (m) con sistema de apuntalamiento
200	8.77	9.92	9.14	10.50	9.77	10.50
250	8.77	9.60	9.14	10.50	9.77	10.50
300	8.65	9.31	9.14	10.50	9.77	10.50
350	8.44	9.05	9.14	10.50	9.77	10.50
400	8.24	8.80	9.14	9.90	9.77	10.50
450	8.05	8.58	9.04	9.64	9.77	10.50
500	7.88	8.37	8.84	9.40	9.77	10.50
550	7.72	8.17	8.66	9.18	9.77	10.50
600	7.56	7.99	8.48	8.97	9.70	10.50
650	7.42	7.81	8.32	8.75	9.51	10.50
700	7.28	7.62	8.16	8.54	9.33	9.83
750	7.15	7.44	8.02	8.34	9.17	9.62
800	7.03	7.28	7.88	8.15	9.01	9.35
850	6.91	7.12	7.74	7.98	8.86	9.09
900	6.80	6.98	7.62	7.82	8.65	8.86
950	6.70	6.84	7.50	7.66	8.44	8.64
1000	6.60	6.71	7.38	7.52	8.24	8.43
Contraflechas iniciales	$\Delta_{8,0 \text{ m}} = -0.65 \text{ cm}$		$\Delta_{9,0 \text{ m}} = -1.6 \text{ cm}$		$\Delta_{10,3 \text{ m}} = -2.6 \text{ cm}$	

La tabla 6.6 se ha desarrollado para sobrelosas de 6 cm, 8 cm y 10 cm.

Notas:

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre losas lex y el peso de la sobre losa de 6, 8 y 10 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-02. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 18.3.3.

Se consideran los criterios de:

- Capacidad última a flexión y cortante.
- Esfuerzos elásticos.
- Deflexiones al centro del claro.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.

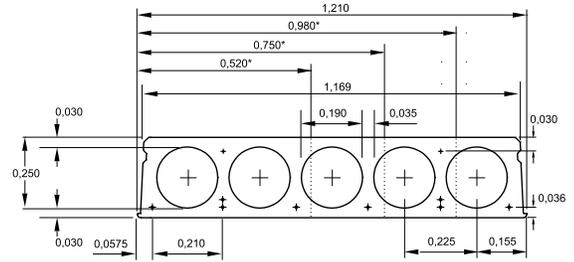
Producto de pruebas realizadas por PC se encontró que por variaciones en el módulo de elasticidad y por efectos del flujo plástico ante la pretensión la contra-flecha teórica debe corregirse por un factor de 1.9 para calcular la contra-flecha real.

Las contra-flechas iniciales incluyen el factor de 1.9, y se muestran como parámetro de referencia, no como un dato exacto para cada caso analizado.

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**  
 Losa Lex al desmolde  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$   
 Losa Lex  $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$   
 Sobrelosa en sitio  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 6.7 Entrepisos con Losa Lex de 25 cm**

Con sobrelosa de 6 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>										
Tipo de losa	LEX 25-0D/5D	LEX 25-0D/7D	LEX 25-0H/4H	LEX 25-2N/5H	LEX 25-0H/5H					
Peso Losa Lex	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>					
Peso concreto colado en sitio**	163 kg/m <sup>2</sup>	163 kg/m <sup>2</sup>	163 kg/m <sup>2</sup>	163 kg/m <sup>2</sup>	163 kg/m <sup>2</sup>					
Fuerza de pretensión	0/11500 kgf	0/12000 kgf	0/16000 kgf	7280 kgf /15000 kgf	0/16000 kgf					
Sobrecarga CMadic + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento									
200	11.70	12.24	12.50	12.50	12.12	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
250	11.35	11.83	12.50	12.50	11.77	12.27	12.50	12.50	12.50	12.50
300	11.02	11.46	12.50	12.50	11.42	11.88	12.50	12.50	12.35	12.50
350	10.72	11.12	12.20	12.50	11.11	11.53	12.20	12.50	12.00	12.46
400	10.44	10.75	11.87	12.31	10.81	11.20	11.89	12.30	11.67	12.10
450	10.18	10.41	11.57	11.97	10.54	10.90	11.59	11.98	11.38	11.77
500	9.94	10.09	11.29	11.66	10.29	10.63	11.32	11.68	11.10	11.47
550	9.72	9.81	11.03	11.37	10.06	10.33	11.07	11.40	10.84	11.18
600	9.51	9.55	10.78	11.06	9.84	10.06	10.83	11.13	10.60	10.92
650	9.30	9.30	10.56	10.78	9.64	9.80	10.61	10.85	10.38	10.68
700	9.08	9.08	10.34	10.52	9.44	9.56	10.40	10.55	10.17	10.39
750	8.87	8.87	10.06	10.20	9.26	9.34	10.10	10.24	9.94	10.07
800	8.67	8.67	9.78	9.91	9.09	9.14	9.82	9.95	9.65	9.78
850	8.49	8.49	9.51	9.64	8.93	8.94	9.56	9.69	9.39	9.51
900	8.32	8.32	9.27	9.39	8.70	8.76	9.32	9.44	9.15	9.26
950	8.16	8.16	9.04	9.15	8.48	8.58	9.10	9.21	8.92	9.03
1000	8.00	8.00	8.83	8.94	8.28	8.37	8.89	9.00	8.71	8.82
Contraflechas iniciales	Δ <sub>0.7 m</sub> = -0.99 cm	Δ <sub>1.1 m</sub> = -2.48 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -1.32 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -1.53 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -2.24 cm					



Losa de concreto de 25 cm, mostrando el máximo # de torones

Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 1485
- Peso (kg/m): 363
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 298
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 117510

Figura 6.16 Losa Lex con sobrelosa en sitio. Losa de concreto de 25 cm.

Con sobrelosa de 8 cm con f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>										
Tipo de losa	LEX 25-0D/5D	LEX 25-0D/7D	LEX 25-0H/4H	LEX 25-2N/5H	LEX 25-0H/5H					
Peso Losa Lex	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>	298 kg/m <sup>2</sup>					
Peso concreto colado en sitio**	211 kg/m <sup>2</sup>	211 kg/m <sup>2</sup>	211 kg/m <sup>2</sup>	211 kg/m <sup>2</sup>	211 kg/m <sup>2</sup>					
Fuerza de pretensión	0/11000 kgf	0/12000 kgf	0/16000 kgf	7280 kgf /15000 kgf	0/16000 kgf					
Sobrecarga CMadic + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento									
200	11.07	12.02	12.33	12.50	11.63	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
250	10.93	11.65	12.33	12.50	11.49	12.26	12.50	12.50	12.43	12.50
300	10.65	11.32	12.31	12.50	11.20	11.91	12.30	12.50	12.11	12.50
350	10.39	11.01	12.00	12.50	10.92	11.58	12.00	12.50	11.80	12.50
400	10.16	10.73	11.72	12.40	10.67	11.28	11.73	12.38	11.52	12.20
450	9.93	10.47	11.45	12.09	10.43	11.00	11.47	12.08	11.26	11.89
500	9.72	10.22	11.20	11.80	10.21	10.74	11.23	11.80	11.02	11.60
550	9.53	9.99	10.97	11.53	10.00	10.50	11.00	11.54	10.79	11.33
600	9.34	9.74	10.75	11.27	9.81	10.26	10.79	11.29	10.57	11.08
650	9.17	9.50	10.54	11.03	9.62	10.01	10.59	11.06	10.37	10.85
700	9.00	9.27	10.35	10.77	9.45	9.78	10.40	10.84	10.18	10.63
750	8.84	9.07	10.17	10.50	9.28	9.56	10.22	10.53	9.99	10.37
800	8.70	8.87	9.99	10.21	9.12	9.35	10.03	10.25	9.82	10.08
850	8.55	8.69	9.73	9.94	8.98	9.16	9.77	9.98	9.61	9.82
900	8.42	8.52	9.49	9.69	8.83	8.98	9.54	9.73	9.37	9.57
950	8.29	8.36	9.27	9.46	8.70	8.81	9.32	9.50	9.15	9.33
1000	8.17	8.21	9.06	9.24	8.50	8.65	9.11	9.29	8.94	9.12
Contraflechas iniciales	Δ <sub>0.7 m</sub> = -0.90 cm	Δ <sub>1.1 m</sub> = -2.48 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -1.32 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -1.53 cm	Δ <sub>1.0 m</sub> = -2.24 cm					

La tabla 6.7 se ha desarrollado para sobrelosas de 6 cm, 8 cm y 10 cm.

Notas:

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre losas lex y el peso de la sobre losa de 6, 8 y 10 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-02. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 18.3.3.

Se consideran los criterios de:

- Capacidad última a flexión y cortante.
- Esfuerzos elásticos.
- Deflexiones al centro del claro.

No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.

Producto de pruebas realizadas por PC se encontró que por variaciones en el módulo de elasticidad y por efectos del flujo plástico ante la pretensión la contra-flecha teórica debe corregirse por un factor de 1.9 para calcular la contra-flecha real.

Las contra-flechas iniciales incluyen el factor de 1.9, y se muestran como parámetro de referencia, no como un dato exacto para cada caso analizado.

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**  
 Losa Lex al desmolde f'ci=280kg/cm<sup>2</sup>  
 Losa Lex f'c=420 kg/cm<sup>2</sup>  
 Sobrelosa en sitio f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>

Tabla 6.8 Entrepisos doble te con sobrelosa en sitio				
Con sobrelosa de 5 cm con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$				
Tipo de entrepiso	DT 140-45.5 2N/2H	DT 140-45.5 2N/4D	DT 140-45.5 2N/2H	DT 140-45.5 2N/4D
Peso Doble Te	286 kg/m <sup>2</sup>	286 kg/m <sup>2</sup>	286 kg/m <sup>2</sup>	286 kg/m <sup>2</sup>
Espesor de sobrelosa	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
Peso concreto colado en sitio**	120 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>	192 kg/m <sup>2</sup>	192 kg/m <sup>2</sup>
Fuerza de pretensión	7280/18000 kgf	7280/13100 kgf	7280/17500 kgf	7280/13100 kgf
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento			
200	12.58	14.35	11.90	13.70
250	11.99	13.80	11.53	13.26
300	11.49	13.30	11.20	12.86
350	11.04	12.82	10.89	12.49
400	10.64	12.36	10.61	12.16
450	10.28	11.94	10.34	11.85
500	9.96	11.56	10.06	11.56
550	9.66	11.22	9.78	11.29
600	9.39	10.90	9.52	11.04
650	9.14	10.62	9.28	10.77
700	8.91	10.35	9.06	10.51
750	8.70	10.10	8.85	10.27
800	8.50	9.87	8.66	10.05
850	8.31	9.65	8.48	9.84
900	8.14	9.45	8.31	9.64
950	7.97	9.26	8.15	9.46
1000	7.82	9.08	8.00	9.28

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre doble te y el peso de la sobre losa de 5 y 8 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-02. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 18.3.3. Se consideran los criterios de capacidad última a flexión y cortante, esfuerzos elásticos y deflexiones al centro del claro.

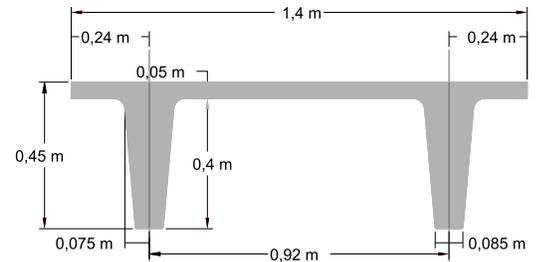
No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.



Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 1672
- Peso (kg/m): 400
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 286
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 300000

Figura 6.17 Doble te con sobrelosa en sitio

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**  
 Doble Te al desmolde  $f'ci=280\text{kg/cm}^2$   
 Doble Te  $f'c=700 \text{ kg/cm}^2$   
 Sobrelosa en sitio  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 6.9 Entrepisos de canaleta con sobrelosa en sitio				
Con sobrelosa de 5 cm con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$				
Tipo de entrepiso	DT 106-45.5 2N/2H	DT 106-45.5 2N/4D	DT 106-45.5 2N/2H	DT 106-45.5 2N/4D
Peso canaleta	338 kg/m <sup>2</sup>	338 kg/m <sup>2</sup>	338 kg/m <sup>2</sup>	338 kg/m <sup>2</sup>
Espesor de sobrelosa	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
Peso concreto colado en sitio**	120 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>	192 kg/m <sup>2</sup>	192 kg/m <sup>2</sup>
Fuerza de pretensión	7280/18000 kgf	7280/13100 kgf	7280/17500 kgf	7280/13100 kgf
Sobrecarga CMadric + CV (kg/m <sup>2</sup> )	CLARO (m) sin sistema de apuntalamiento			
200	13.48	15.39	12.91	14.75
250	13.01	14.85	12.54	14.31
300	12.60	14.35	12.20	13.90
350	12.14	13.90	11.88	13.53
400	11.73	13.49	11.59	13.19
450	11.35	13.12	11.32	12.87
500	11.01	12.77	11.07	12.57
550	10.69	12.41	10.83	12.30
600	10.41	12.08	10.58	12.04
650	10.14	11.77	10.32	11.79
700	9.89	11.48	10.09	11.56
750	9.66	11.22	9.86	11.35
800	9.45	10.97	9.65	11.14
850	9.25	10.73	9.46	10.95
900	9.06	10.52	9.27	10.73
950	8.88	10.31	9.10	10.53
1000	8.72	10.12	8.94	10.34

\*\* El "peso de concreto colado en sitio" incluye el peso de los completamientos entre la canaleta y el peso de la sobre losa de 5 y 8 cm respectivamente. Se consideró una condición temporal durante el diseño que contempla el concreto de sobre losa fresco y una carga constructiva de 120 kg/cm<sup>2</sup> según SEI/ASCE 37-02. Todos los cálculos de acuerdo al código ACI 318-08, elementos pre-esforzados tipo U, ACI 18.3.3. Se consideran los criterios de capacidad última a flexión y cortante, esfuerzos elásticos y deflexiones al centro del claro.

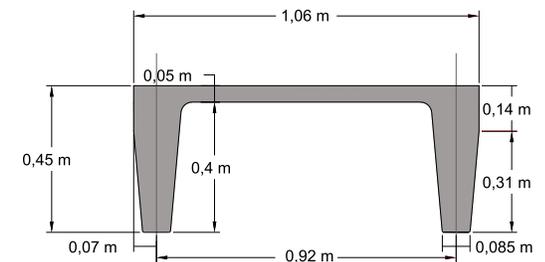
No se considera la contribución del acero en los apoyos (M-)

Se utilizó un factor de carga promedio de 1.6 para la carga superpuesta muerta y viva.

Los coeficientes de reducción son 0.9 para flexión y 0.75 para cortante.

Se supone una carga superpuesta sostenida de 100 kg/m<sup>2</sup> para el cálculo de las pérdidas por flujo plástico.

Se supone una humedad relativa promedio del 70% para el cálculo de las pérdidas por contracción del concreto.



Pesos y dimensiones:

- Área (cm<sup>2</sup>): 1491
- Peso (kg/m): 358
- Peso (kg/m<sup>2</sup>): 338
- Inercia (cm<sup>4</sup>): 270000

Figura 6.18 Detalle de canaleta con sobrelosa en sitio

**RESISTENCIA DE CONCRETOS:**  
 Canaleta al desmolde  $f'ci=280\text{kg/cm}^2$   
 Canaleta  $f'c=700 \text{ kg/cm}^2$   
 Sobrelosa en sitio  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

## 6.4 Transporte, manipulación y almacenamiento

### Condiciones seguras de transporte y almacenamiento de viguetas

Para transportar y almacenar las viguetas se pueden hacer estibas, colocándolas unas sobre otras con un espaciador de madera entre ellas, directamente sobre la zona de apoyo. No se deben colocar los espaciadores sobre las gazas de izaje (figuras 6.19 y 6.20). Hay que asegurarse de que los soportes de la primera capa sean firmes y no se deformen excesivamente.

Todos los soportes de madera y las calzas deben coincidir verticalmente uno sobre otro. No deben colocarse más de dos apoyos para soportar una viga.

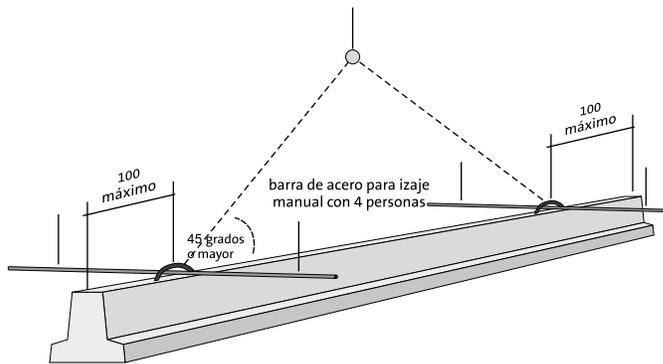


Figura 6.19 Izaje de viguetas pretensadas

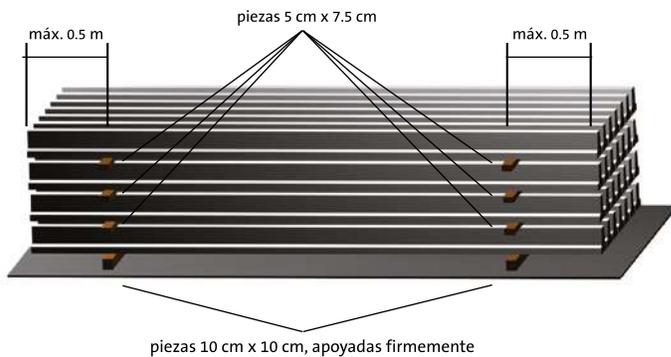


Figura 6.20 Almacenamiento de viguetas de entripiso

La cantidad máxima de hileras de viguetas que se recomienda estibar en forma vertical, según su peralte (suponiendo que se utilizan espaciadores en madera semidura tipo "pilón" o similar, con resistencia a la compresión de 34 kg/cm<sup>2</sup>), se muestra en la tabla 6.10.

En el caso de los bloques de entripiso, a continuación se describen las condiciones seguras de transporte y almacenamiento.

Tabla 6.10 Estiba vertical de viguetas		
	Vigueta de 15 cm de peralte	Vigueta de 20 cm de peralte
Cantidad de viguetas a estibar en forma vertical (unidades)	12	8

*Nota: en caso de que se utilice otro tipo de madera para los espaciadores, el cliente será responsable de revisar los esfuerzos en ésta para evitar su aplastamiento.*

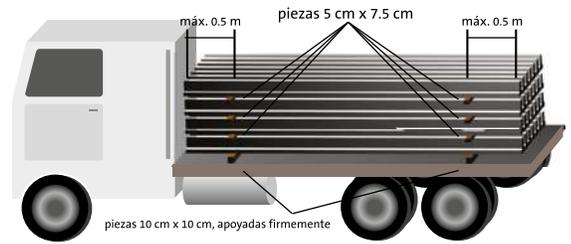


Figura 8.21 Transporte de viguetas de entripiso

Para el proceso de transporte, se recomienda que los bloques se estiben de la siguiente forma (siempre hay que tener en cuenta que debe respetarse la capacidad máxima de carga del camión, según corresponda):

- Cuatro filas de altura en camión.
- Cinco filas de altura cuando se trata de tándem.

Para los bloques de entripiso, la carreta debe contar con una superficie plana, sin abolladuras, deformidades ni huecos. Esto se debe a que, por sus paredes delgadas, dimensiones y pesos, el producto podría quebrarse.

Además, es importante que no haya otros elementos de madera o metal sobre la superficie de la carreta que dificulten la carga o produzcan esfuerzos puntuales.

Se recomienda que el producto se estibe en un sitio de acuerdo con el tipo de bloque, tal y como se muestra en la tabla 6.11.

Tabla 6.11 Arreglos de bloques de entripiso para estiba en sitio	
Tipo de bloque	Acomodo
A	7 filas de altura
O	7 filas de altura



Figura 6.22 Estiba de bloques de entripiso en sitio

La superficie donde serán almacenados los bloques debe ser totalmente plana, ya que el producto es de paredes muy delgadas. Se recomienda que el producto se almacene en pavimento de concreto o adoquines.

No es aconsejable colocar el pie sobre el producto para estibar filas superiores.

### Condiciones seguras de manipuleo de viguetas

Todas las viguetas tienen ganchos o estribos de alambre en la parte superior, cerca de los extremos, y que se utilizan para moverlas, según se indica en la figura 6.19.

Las viguetas no se deben izar del centro, ni de más de dos puntos simultáneamente. Para el montaje con grúa se requiere el uso de cables de acero (eslingas), los cuales deben formar un ángulo de 45° o mayor.

### Bloques de entrepiso

Hay dos formas de manipular los bloques de entrepiso de manera segura, tal y como se describe a continuación (figura 6.23).

1. Cuando el bloque está almacenado de "canto", lo correcto es tomarlo por las paredes externas y proceder a cargarlo.
2. Cuando se va a instalar el bloque, lo correcto es tomarlo de los dos nervios internos, para colocarlo en la posición horizontal final.

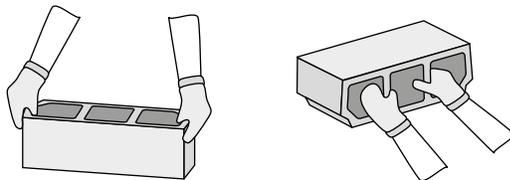


Figura 6.23 Manipulación de los bloques



Figura 6.24 Transporte de los bloques de entrepiso



Figura 6.24 Colocación de bloques de entrepiso en las viguetas

### Condiciones seguras de transporte y almacenamiento de losa LEX

Cuando sea necesario apilar Losa Lex en el sitio de trabajo, son esenciales los siguientes procedimientos:

- No utilizar nunca apoyos en medio o cerca de la zona central de una losa, dado que provocan una inversión de los esfuerzos y muy posiblemente fisuras en la pieza.
- La zona de almacenamiento debe estar limpia, para evitar que las losas se contaminen con materiales que pueden provocar problemas de adherencia entre el concreto prefabricado y el que se ha de colar en sitio.
- Cuando se apilen varias losas, los espaciadores deberán estar ubicados de tal modo que formen una línea vertical con los demás.
- Los espaciadores del terreno (para piso) deberán extenderse al ancho completo de la losa y estar paralelos y nivelados, para evitar el alabeo y rotura del elemento debido a torsión.
- Los espaciadores para piso deberán ser del ancho suficiente para prevenir hundimiento en el terreno. El contacto con el terreno podría dañar la losa.
- Los espaciadores deberán ubicarse en un rango de entre 0,30 m y 0,60 m de cada extremo de la losa.
- Como dimensiones mínimas se definen las siguientes:
  - 2 espaciadores de piso: madera semidura (34 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a compresión), cuadrado con 9,84 cm de lado (3" y 7/8").
  - 2 espaciadores típicos: madera semidura (34 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a compresión), cuadrado con 4,45 cm de lado (1" y 3/4").
- No apilar más de 12 losas de 20 cm, ni más de nueve losas de 25 cm en altura y solamente si el suelo está firme.
- No apilar más de una losa sobre otra que haya sido montada en la estructura.
- Las losas de corte oblicuo deberán almacenarse usando un apoyo adicional, de modo que la punta no se doble hacia abajo y ocurran fisuras en la parte superior del elemento.

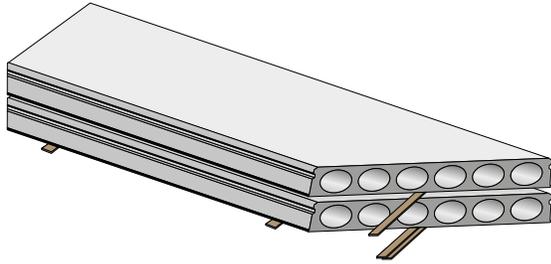


Figura 6.26 Almacenamiento de losas de corte oblicuo

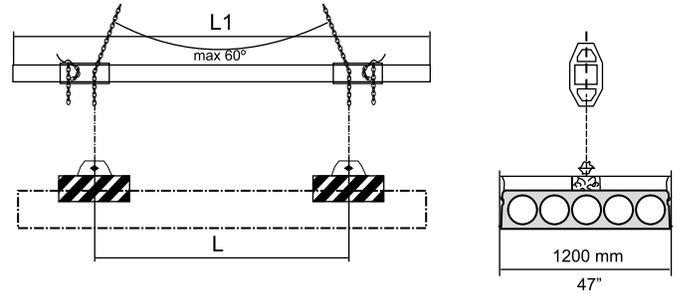


Figura 6.27 Detalle de dispositivo individual para izaje

## 6.5 Izaje y montaje de los elementos

Holcim Modular Solutions utiliza pinzas de montaje con cadenas de seguridad para las losas de ancho completo. En el caso de losas de ajuste, se manipulan con eslingas certificadas de nylon.

Para las losas de corte oblicuo, se procede según sea una losa de ancho completo o de ajuste.

En el sitio debe asegurarse que la pinza esté nivelada y el sobre relieve de esta esté bien ubicado dentro de la llave de cortante de la losa, antes de manipularla.

Cualquier procedimiento de izaje diferente al recomendado puede inducir fallas locales en el material e incluso el deterioro del elemento hasta causarle fallas estructurales irreparables.

Es necesario levantar la losa cerca de los extremos. Levantar las losas desde otra ubicación podría resultar en una rotura inmediata.

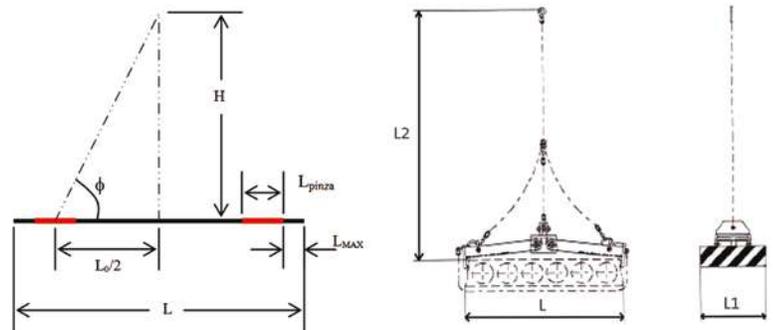


Figura 6.28 Detalle de dispositivos para izaje

### Condiciones seguras para el izaje

#### Dispositivo individual

El borde del dispositivo de izaje se deberá colocar como mínimo a 65 cm del extremo de la losa hasta una distancia máxima de  $0,2 \times L$  o 1,8 m, la menor de las dos.

#### Dispositivo en pares

Losas menores o iguales a 8,5 m de longitud.

El ángulo que forma con las líneas de izaje no debe ser menor que  $70^\circ$ .

La distancia entre el gancho y la losa (H) se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H = L_r/2 * \tan(\phi)$$

donde:

$$L_r = L - 2(L - 2(L/2)) \text{ max pinza}$$

L = longitud de la losa  $L_{ex}$

$\phi$  = ángulo que se forma entre la línea de izaje y la losa

$L_{m\acute{a}x}$  = distancia máxima permitida desde el extremo de la losa para ubicar el dispositivo de sujeción

L = longitud del dispositivo de izaje



Figura 6.29 Detalle de dispositivo en pares para izaje

#### Distribución y colocación de viguetas y bloques

Las viguetas deben colocarse de acuerdo con el plano preparado por una oficina de ingeniería. Holcim Modular Solutions ofrece el servicio de modulación.

Estos planos deben ser preparados siguiendo los siguientes lineamientos:

1. Comenzar colocando un bloque y luego una vigueta a partir de uno de los lados del área a cubrir.

- Si al llegar al otro extremo cabe un bloque pero no la vigueta, se debe colocar una tabla de formaleta por debajo del bloque y pasar una varilla #3 corrida, amarrada a la armadura de la viga por medio de ganchos #2 cada 20 cm.
- Si al llegar al otro extremo no cabe un bloque entero pero existe la opción de medio bloque o más, los bloques se cortan en sitio y se colocan. Si cabe menos de medio bloque, es preferible rellenar con concreto este espacio.
- Ante la presencia de paredes en el mismo sentido de las viguetas, debe colocarse doble vigueta. En estos casos, debe usarse una viga de diafragma para mejorar la distribución de la carga concentrada.
- Si la pared se apoya sobre el sentido de las viguetas en un extremo de la sección de entrepiso, se construye un bocel o viga terminal de 5 cm armada con la misma malla de la losa, doblándola en escuadra.

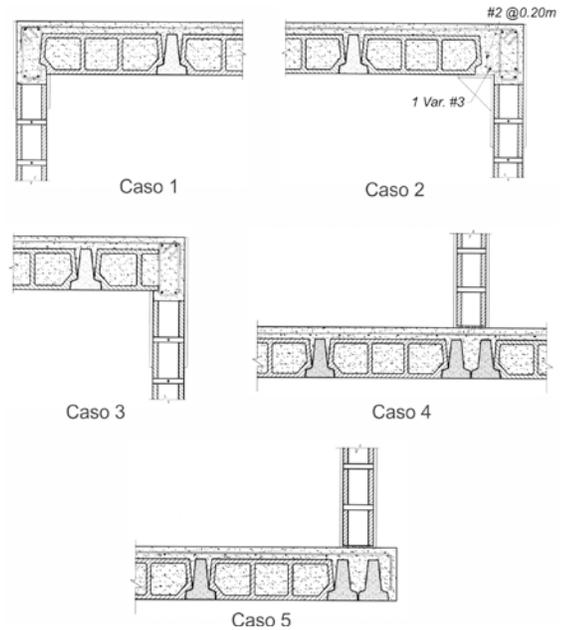


Figura 6.30 Detalle de colocación de viguetas y bloques

Tabla 6.12 Ubicación del dispositivo de izaje desde el extremo de la losa

Longitud LEX (m)	Criterios L <sub>max</sub>		L <sub>max</sub> resultante desde extremo (m)	Lmin desde extremo (m)
	Primer criterio L <sub>max</sub> = 0.2 x L	Segundo criterio L <sub>max</sub> = 1.8 m		
5.0	1.00	1.80	1.00	0.65
5.5	1.10	1.80	1.10	0.65
6.0	1.20	1.80	1.20	0.65
6.5	1.30	1.80	1.30	0.65
7.0	1.40	1.80	1.40	0.65
7.5	1.50	1.80	1.50	0.65
8.0	1.60	1.80	1.60	0.65
8.5	1.70	1.80	1.70	0.65
9.0	1.80	1.80	1.80	0.65
9.5	1.90	1.80	1.80	0.65
10.0	2.00	1.80	1.80	0.65
10.5	2.10	1.80	1.80	0.65
11.0	2.20	1.80	1.80	0.65
11.5	2.30	1.80	1.80	0.65
12.0	2.40	1.80	1.80	0.65
12.5	2.50	1.80	1.80	0.65

Tabla 6.13 Distancia entre losa y gancho de grúa (H)

Longitud L <sub>lex</sub> (m)	Longitud lateral pinza L <sub>pinza</sub> = 0.71 m	L <sub>max</sub> desde extremo (m)	Longitud libre/2, L <sub>o</sub> /2 (m)	$\tan(\phi^* \pi / 180)$ $\phi = 70$	Distancia H (m)
5.0	1.00	1.80	1.00	0.65	3.1
5.5	1.10	1.80	1.10	0.65	3.6
6.0	1.20	1.80	1.20	0.65	4.0
6.5	1.30	1.80	1.30	0.65	4.4
7.0	1.40	1.80	1.40	0.65	4.8
7.5	1.50	1.80	1.50	0.65	5.2
8.0	1.60	1.80	1.60	0.65	5.6
8.5	1.70	1.80	1.70	0.65	6.0

### Instalación de las viguetas sobre las formaletas

Las viguetas pretensadas se apoyan usualmente sobre las formaletas de las vigas de carga, que a su vez están soportadas por puntales.

Estos puntales deben calcularse de manera que resistan la carga muerta total del entrepiso más el peso de la viga de carga. Es conveniente que los costados de la formaleta de la viga de carga estén montados sobre cuñas u otro dispositivo que permita removerlos con facilidad al momento de quitar la formaleta del concreto, para así poder usarlos en forma repetida.

Apoyos intermedios provisionales: en algunas ocasiones se especifica el uso de una hilera de puntales en el centro del claro para apoyar las viguetas provisionalmente.

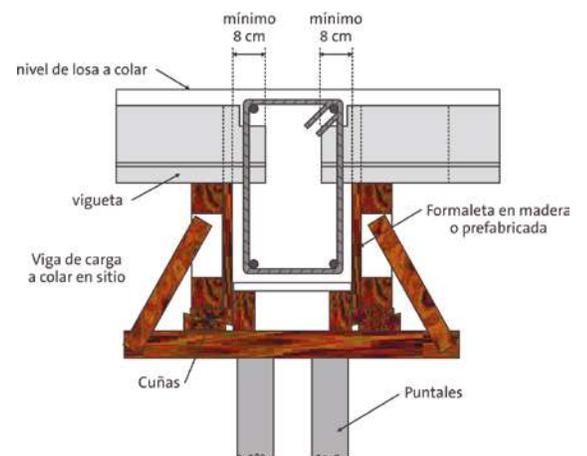


Figura 6.31 Apoyo de viguetas en viga de carga

Estos puntales deben instalarse antes de colocar los bloques y vaciar el concreto de la losa, además se debe corroborar que toquen la vigueta sin forzarla hacia arriba y sin dejar luz entre el puntal y la vigueta.

Cuando se especifica viga de diafragma, los puntales deberán colocarse debajo de esta, en las intersecciones con las viguetas.

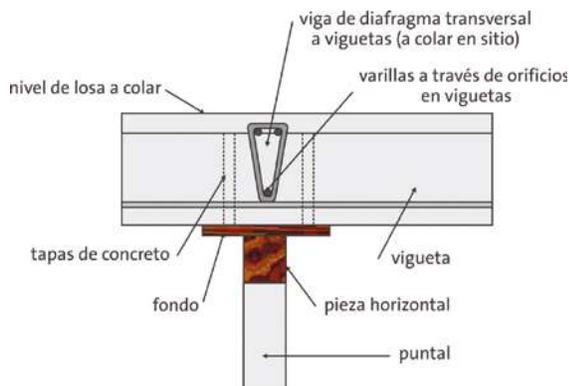


Figura 6.32 Detalle de apoyo de viga de diafragma

### Condiciones seguras de instalación

Para la instalación segura de bloques, se recomienda tomar las siguientes medidas:

- Los bloques deben colocarse de uno en uno.
- No caminar ni apoyarse sobre los bloques del entrepiso, únicamente debe hacerse sobre las viguetas.
- Es necesario colocar “tapas” en los extremos de cada hilera de bloques, para evitar cargas no previstas en el diseño.
- Para trabajos en alturas superiores a 1,8 m sobre el nivel del piso, usar dispositivos de seguridad tipo arnés para evitar caídas.
- Para la instalación de bloques, los operarios deben utilizar fajas de seguridad para cargas altas, a fin de evitar daños en la columna.

### Condiciones seguras de instalación de la Losa Lex

Las losas Lex deberán tener un apoyo de entre 6,5 cm y 7,5 cm. Este apoyo puede estar dentro de la sección rectangular de la viga o puede proveerse una ménsula para tal efecto, tanto en vigas coladas in situ como en las prefabricadas.

La superficie de apoyo de las losas deberá estar lisa y a nivel, ya que la presencia de irregularidades podría causar concentraciones de esfuerzos y eso se traducirá en agrietamiento y deterioro del elemento prefabricado en sus apoyos o en un nivel de montaje diferente al indicado en los planos.

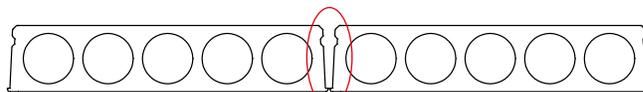


Figura 6.33 Apoyo de Losa Lex sobre la viga

En ningún momento debe haber personal situado por debajo de la losa que está siendo levantada, ni sobre la carreta al iniciarse el izaje.

No se debe desatar la eslinga de seguridad hasta que la losa esté cerca de su posición final de montaje. Esto se aplica solamente cuando se utiliza la pinza para losas de ancho completo.

Se debe jalar la losa extruida cómodamente hacia la losa adyacente que está montada y soltar las pinzas de izaje, después de que se aflojen las líneas de la grúa. La cadena de seguridad se libera después de soltar la pinza de izaje.



La forma de la llave lateral permite colocar una losa a la par de la otra, de tal modo que la cara inferior es casi una superficie continua.

Figura 6.34 Correcta colocación de losas

Las aberturas de la losa deben taparse para evitar que entre el concreto de la sobrelosa dentro de la Lex. Se debe tener cuidado de no desplazar el cerramiento cuando se utilice el vibrador para el concreto. En las aberturas donde se coloca el refuerzo, el cerramiento se ubicará a 0,75 m desde el extremo de la losa con el fin que el concreto de la sobrelosa complete el volumen donde se encuentra el acero, pero que no entre en la Lex.

Existen varias opciones para formar este bloqueo, por ejemplo:

- Concreto
- Tapas plásticas especiales para este fin
- Sacos de cemento
- Tapas de cartón
- Espuma de polietileno



Relleno de celdas con sacos de cemento



Relleno de celdas con cartón



Relleno de celdas con concreto Tapa plástica

Figura 6.35 Correcta colocación de losas

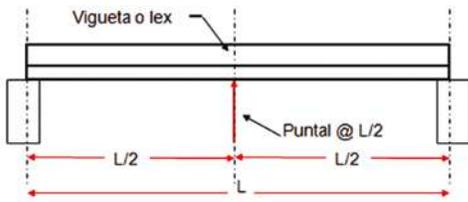


Figura 6.36 Correcto apuntalamiento de vigueta

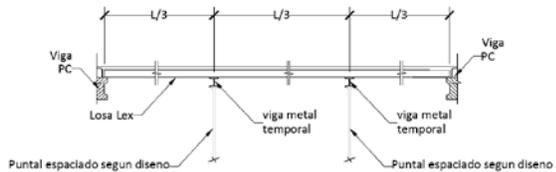


Figura 6.37 Detalle de apuntalamiento de Losa Lex

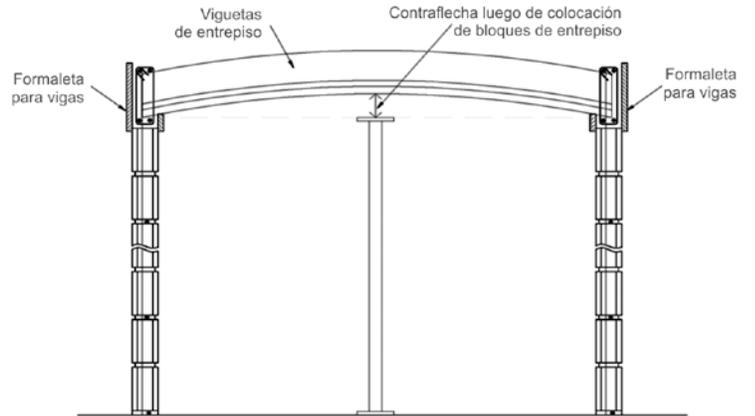


Figura 6.38 Apoyo incorrecto de los puntales en elementos pre-esforzados, sean viguetas, doble te o Losa Lex

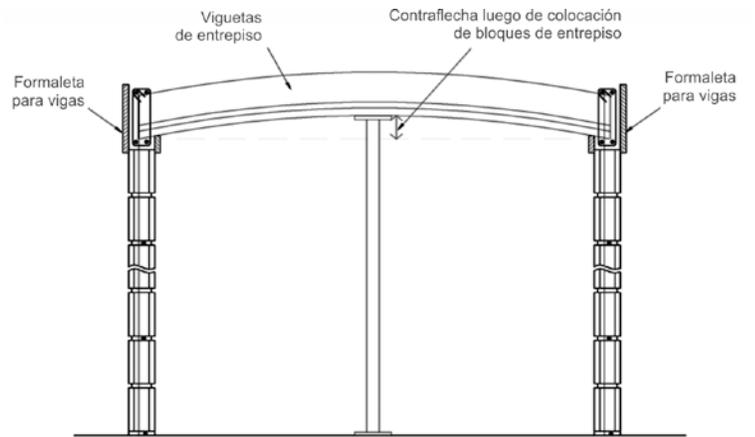


Figura 6.39 Apoyo correcto de los puntales en elementos pre-esforzados, sean viguetas, doble te o Losa Lex

## 6.6 Integridad estructural: diafragmas y detallado sísmico

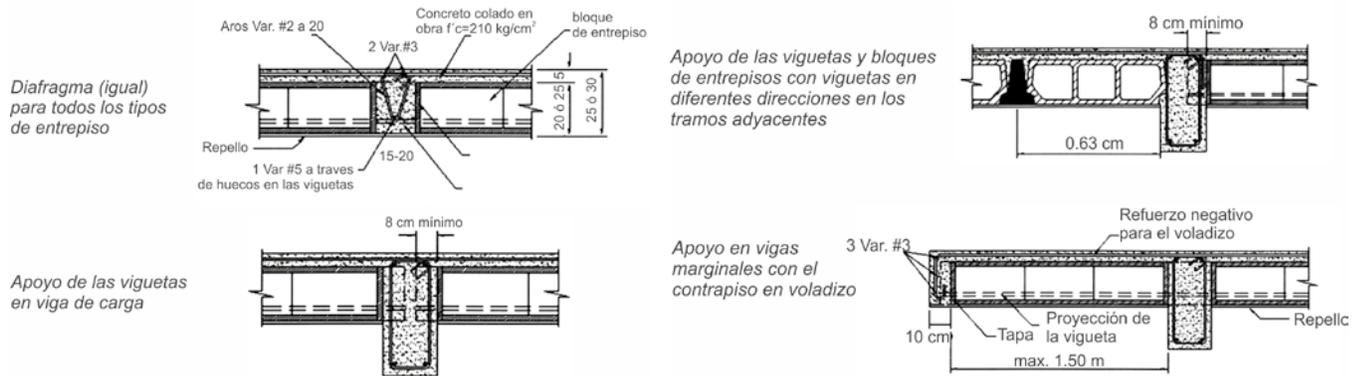


Figura 6.40 Detalles constructivos de viguetas pretensadas

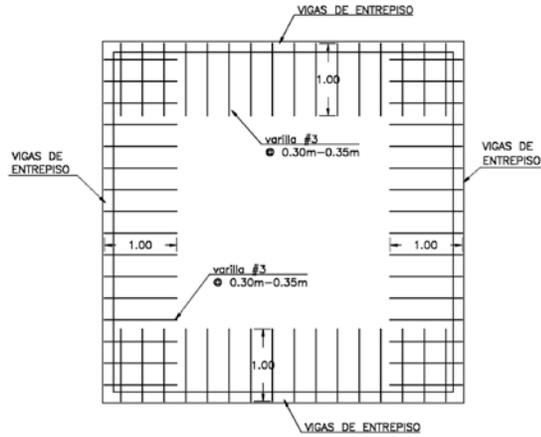


Figura 6.41 Vista en planta de refuerzo sísmico de entepiso

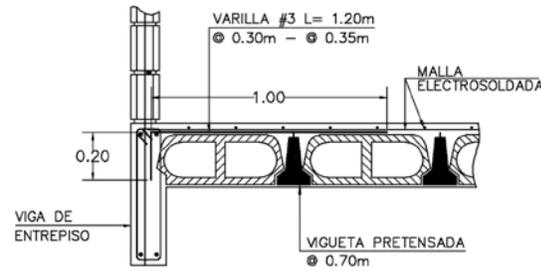


Figura 6.42 Detalle de refuerzo sísmico perpendicular a las viguetas

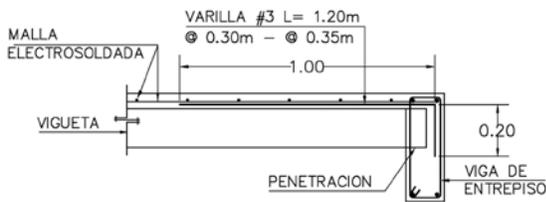


Figura 6.43 Detalle de refuerzo sísmico paralelo a las viguetas

Tabla 6.14 Tabla de dimensiones V-1, V-2 y V-4		
Dimensión	A	# varilla
Lex - 15	0.16 m	4
Lex - 20	0.21 m	4
Lex - 25	0.26 m	4

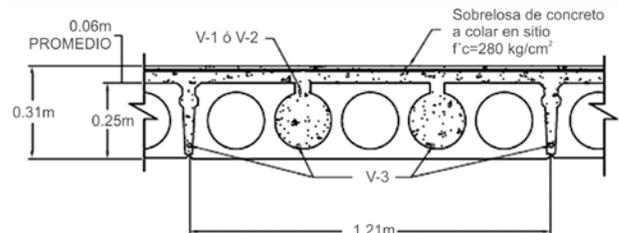
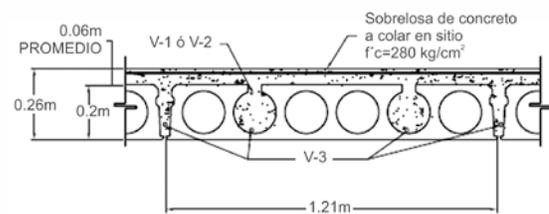
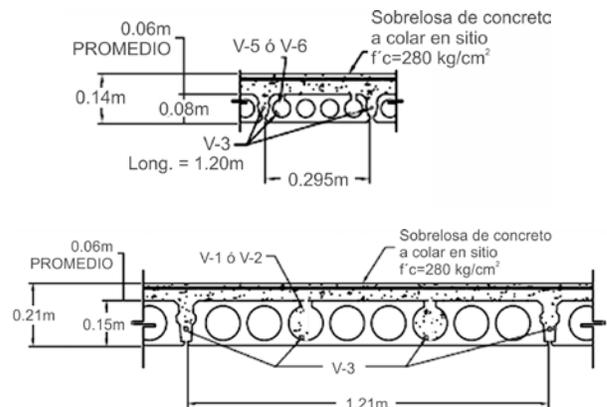
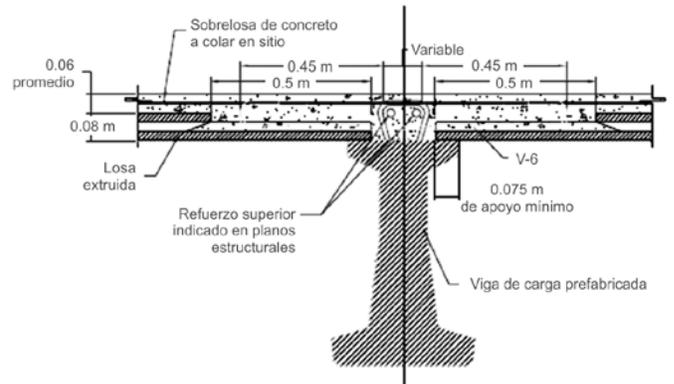
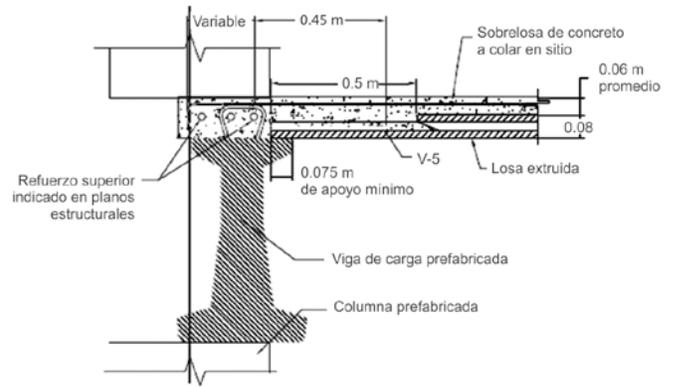


Figura 6.44 Detalles constructivos de Losa Lex

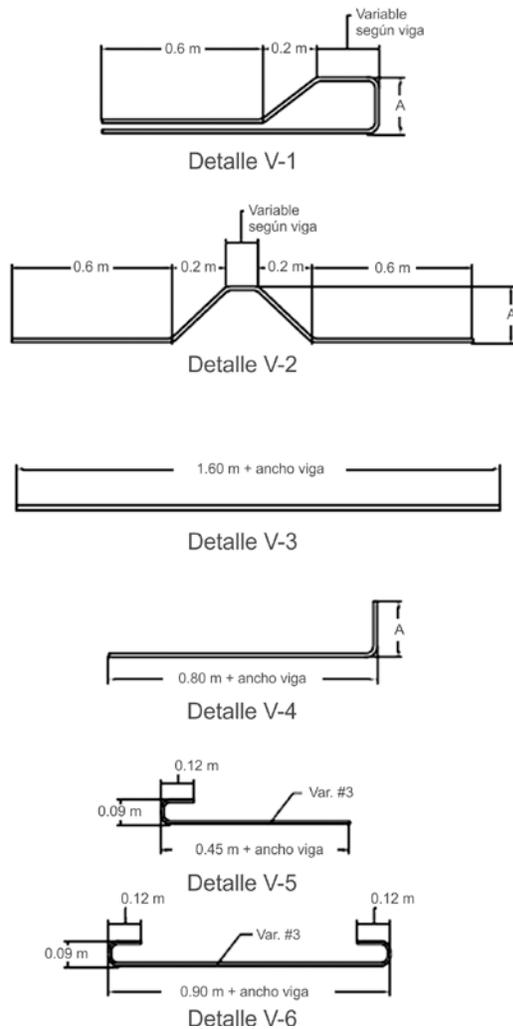


Figura 6.44 Detalles constructivos de Losa Lex (continuación)

## 6.7 Resistencia al fuego y transmisión de calor de entresijos

Cuando se evalúa la resistencia al fuego, se debe distinguir entre los conceptos de reacción al fuego, resistencia a la transmisión de calor y resistencia estructural al fuego.

### La reacción al fuego

El concepto de reacción al fuego corresponde a la capacidad del material de inflamarse o no. Según esta propensión a alimentar el incendio, el material se clasifica en una u otra categoría. Las normas europeas clasifican esta capacidad en siete clases denominadas euroclases.

- A1, A2 y B corresponden a las clases de productos no combustibles y poco combustibles. Caracterizan los productos de la construcción más eficaces en materia de seguridad contra incendios.

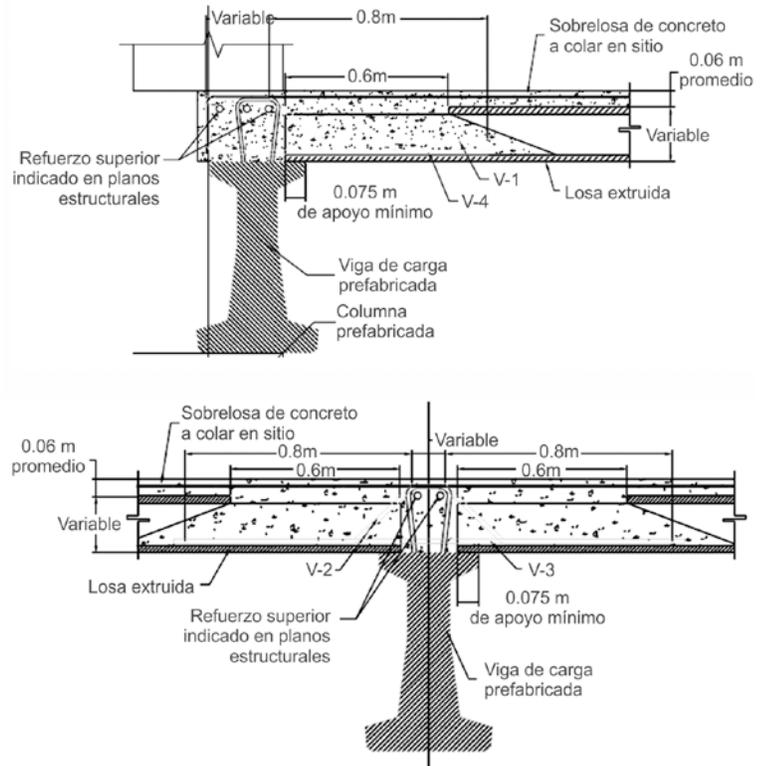


Figura 6.44 Detalles constructivos de Losa Lex (continuación)

- C, D y E corresponden a las clases de productos combustibles. Caracterizan los productos de la construcción más peligrosos en materia de comportamiento ante el fuego.
- F: el comportamiento de los productos no se somete a ninguna evaluación. Las clases complementarias se refieren a la producción de humos y al goteo de partículas incandescentes. Salvo en el caso de las A1 y F, las otras euroclases principales se complementan con dos subclasificaciones relativas a la liberación de humos y la producción de gotas o partículas incandescentes. Los niveles para estos dos parámetros son tres.
- En cuanto a la opacidad de los humos, se establecen los niveles s1, s2 y s3, que van del nivel más bajo al más elevado en cuanto a la cantidad y la velocidad de la liberación de humos.
- En cuanto a las gotas o partículas incandescentes, se establecen los niveles d0, d1 y d2 (presencia y duración de gotas o residuos incandescentes).

### La resistencia a la transmisión de calor

Es la capacidad de un sistema de construcción de actuar como pantalla protectora ante el desarrollo de un incendio o sus consecuencias.

La resistencia al fuego se expresa siempre en términos de duración. Según su ubicación, la ley exige que resista el tiempo necesario para salvaguardar vidas y las operaciones de rescate.

La resistencia al fuego incluye tres clasificaciones diferenciadas y progresivas.

Los métodos de ensayo se definen en el proyecto de norma experimental ENV 13381-1. La clasificación europea de los ensayos de resistencia al fuego de los productos se define en el proyecto de norma experimental EN13501-2.

### Métodos de ensayo

Los métodos de ensayo han sido elegidos para simular tres niveles de desarrollo de un incendio:

- El ataque puntual por la llama pequeña.
- Un objeto en llamas (una papelera o un mueble pequeño).
- Un fuego plenamente desarrollado en un local.

De este modo, se seleccionaron cuatro métodos de ensayo para evaluar la reacción al fuego de los productos de construcción. Su finalidad es responder a los tres escenarios descritos de desarrollo de un incendio, sabiendo que tres de esos cuatro métodos existían y ya estaban normalizados:

1. El ensayo de la llama pequeña está descrito en la norma EN ISO 11925-2.
2. El ensayo SBI (Single Burning Item, que significa "objeto aislado en llamas") es un nuevo método desarrollado en el marco de las euroclases. Está descrito en la norma UNE EN 13823.
3. El ensayo al horno de no combustibilidad, descrito en la norma UNE EN ISO 1182.
4. El ensayo de la medida del Poder Calorífico Superior (PCS), descrito en la norma UNE EN ISO 1716.

Tabla 6.15 Clasificación según resistencia al fuego		
Características definidas		
Estabilidad ante el fuego: EF Capacidad portante: R Duración: 1/4 h --> 15 min	Parallamas: PF Estanqueidad al fuego: E Duración: 1/2 h --> 30 min	Resistencia al fuego: RF Aislamiento térmico: I Duración: 1 h --> 60 min
Caracteriza la resistencia mecánica de un elemento de construcción ante la acción del incendio	Capacidad de resistir la exposición al fuego por el lado expuesto sin propagar las llamas ni emitir gases calientes que puedan generar un incendio en el lado no expuesto.	Capacidad de resistir al fuego por el lado expuesto sin transmitir temperaturas elevadas al lado no expuesto.

### La resistencia estructural al fuego

Es la capacidad de un elemento estructural de conservar su integridad o capacidad de transmitir cargas al estar sometido a un fuego de determinada temperatura durante cierto periodo de tiempo.

En el caso de las normas americanas aplicables al tema, se tienen las siguientes:

- ASTM E119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
- ASC E/SEI/SFPE 29-05 Standard Calculation.
- Methods for Structural Fire Protection.
- ACI 216.1-97/TMS 0216.1-14. Método normalizado para determinar la resistencia al fuego de las construcciones de hormigón y mampostería.
- Precast/Prestressed Concrete Institute. PCI Design Handbook (2004).
- PCI Design Handbook. Capítulo 9, sección 9.3.
- Precast/Prestressed Concrete Institute. Manual for the design of hollow core slabs. Chapter 6. (1998).

Tabla 6.16 Tiempo de resistencia al fuego para Losa Lex

Pieza	Resistencia*					Resistencia estructural (h)				Supuestos
						Piezas simplemente apoyadas		Piezas continuas con #4 grado 60 @ 25 cm		
Espesor de la Losa Lex (cm)	Losa Lex sola	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm	Losa Lex + Gypsum de 5/8in sin sobrelosa	Cielo de Gypsum X de 5/8in	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm +Gypsum de 5/8in	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm +Gypsum de 5/8in	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm	Losa Lex + sobrelosa de 5 cm +Gypsum de 5/8in	
8	0:25	2:30	1:10	1:00	3:30	< 00:30	< 01:30	2:00	3:00	Losa 4 m sobrecarga 300 kgf/m <sup>2</sup>
15	0:45	3:10	1:40	1:00	4:10	1:00	2:00	2:00	3:00	Losa 7 m sobrecarga 450 kgf/m <sup>2</sup>
20	1:20	4:00	2:20	1:00	5:00	1:00	2:00	2:00	3:00	Losa 8 m sobrecarga 550 kgf/m <sup>2</sup>
25	2:00	> 04:00	3:10	1:00	> 05:00	1:00	2:00	2:00	3:00	Losa 10 m sobrecarga 550 kgf/m <sup>2</sup>

\* Tiempo de protección contra fuego.  
 NOTAS: Los cálculos para la resistencia estructural asumen una Losa Lex de 20 cm con 7 torones de 1/2, una luz libre de 9.25 m, sobrelosa de 5 cm y una carga adicional al peso propio de 550 kgf/m<sup>2</sup>.  
 Los cálculos se hacen con base en agregados de tipo silíceo.

La resistencia estructural al fuego de los entresijos de concreto depende del refuerzo y su recubrimiento, así como de las cargas y luz. Para verificar tanto la resistencia estructural al fuego como la resistencia a la transmisión de calor, según lo definido en la nueva normativa de Bomberos (NFPA), favor dirigirse al documento "Resistencia al fuego de los entresijos de concreto", en la dirección [www.holcim.cr](http://www.holcim.cr)



## CAPÍTULO 7

# CERRAMIENTOS Y FACHADAS

**Los paneles de concreto precolados permiten resolver de forma estética y rápida las necesidades de cerramiento y protección de espacios internos para proyectos industriales y comerciales.**

Se pueden distinguir dos tipos de paneles para paredes: a) los de instalación vertical, que requieren de soporte o arriostramiento en su base y su borde superior; y b) los de instalación horizontal, que usualmente presentan una conexión machihembrada a elementos verticales de soporte.

Desde el punto de vista de diseño, pueden clasificarse como paneles estructurales (capaces de transmitir carga vertical o cargas laterales a la fundación) y paneles no estructurales (que por lo general solo deben soportar las acciones laterales ocasionadas por su propia área y masa). La metodología de diseño y el tipo de conexiones dependen del uso estructural que se les dé.

Desde el punto de vista arquitectónico, los paneles proporcionan bellas soluciones para la envolvente de edificios de varios pisos y naves industriales. Pueden fabricarse con textura y color integral, además en dimensiones estándar como las que se presentan en este manual o especiales para proyectos específicos.

La clave para la economía en una envolvente resuelta con paneles precolados está en la repetitividad y la modulación, de tal manera que se puedan optimizar los procesos en la línea de producción.

**Advertencia:** este capítulo no se refiere a paneles que deban funcionar como muros de retención. Para ese uso, refiérase al capítulo 8 de este manual. Los paneles aquí mostrados pueden ser empleados para retención de suelo en alturas pequeñas, pero usualmente requieren modificaciones a su refuerzo. Contacte al Departamento de Ingeniería de Holcim Modular Solutions para detalles sobre la solución específica de su proyecto.

Los sistemas de fachadas y paneles tienen todas las ventajas que ofrece la prefabricación:

- Ahorro de formaleta
- Reducción de mano de obra
- Reducción del plazo constructivo, así como de los costos financieros y administrativos asociados
- Estrictos controles y estándares de calidad, que además posibilitan el uso rutinario de concretos de alto desempeño, como: concretos de alta resistencia (CAD) de hasta  $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$  para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez y concretos autocompactantes (CAC) para la mejora de los acabados, optimización de las secciones, con resistencias de hasta  $f'c = 800 \text{ kg/cm}^2$ .
- Uso rutinario del concreto preesforzado para la solución económica de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: reducción de secciones, incremento de la capacidad a cortante, control de agrietamiento, control de rigidez y anclaje activo de los muros.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Posibilidad de usar el concreto expuesto, lo cual elimina el costo de los acabados.
- Posibilidad de diseñar para cumplir con la normativa de resistencia al fuego.

Las conexiones entre los componentes prefabricados pueden hacerse de acuerdo con los cuatro tipos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) en su capítulo 12: Estructuras y componentes prefabricados de concreto.

Los sistemas de fachadas de Holcim Modular Solutions usualmente emplean conexiones secas para paneles no estructurales y conexiones de tipo húmedo para paneles estructurales (para detalles acerca de los tipos de conexiones, se recomienda ver el capítulo 11, sobre sistema de edificios prefabricados).

### 7.1 Materiales y componentes

- Concreto: el concreto utilizado en la planta de Holcim Modular Solutions tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de  $280 \text{ kg/cm}^2$  para fundaciones reforzadas y de  $350 \text{ kg/cm}^2$  para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos

pretensados (con excepción de la Losa Lex), la resistencia a los 28 días es de 700 kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de la Losa Lex, la resistencia mínima a la compresión es de 420 kg/cm<sup>2</sup>.

- Cemento: el cemento cumple con las especificaciones del Reglamento técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- Refuerzo: el acero de preesfuerzo cumple con las especificaciones ASTM A886 o ASTM A416 (Grado 270). El acero de refuerzo cumple con las especificaciones ASTM A706 y ASTM A615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

## 7.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010). (2011). Establece las cargas vivas mínimas y los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados, muros de corte y sistemas y componentes no estructurales.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). Establece los requisitos de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y muros de retención.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, torsión, tensión y cortante.
- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE/SEI/SFPE).
- Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM).
- Normativa Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA).
- Manual de Diseño. Concreto prefabricado y preesforzado. (PCI Design Handbook) 7 ed. 2014. Chicago, Illinois. USA.



Figura 9.1 Edificio de la Clínica Bíblica, fachadas y estructuras prefabricadas

## 7.3 Criterios para uso y especificación

Los paneles de fachada suelen ser elementos esbeltos y de gran área. En general, las cargas más importantes para estos elementos son las perpendiculares al plano del panel. Los procesos de izaje, transporte y erección en sitio pueden inducir elevadas cargas sobre los paneles, especialmente si estos se producen o transportan en posición horizontal. Por esta razón, el proceso de construcción debe formar parte integral de las consideraciones de diseño estructural. Una vez en posición vertical, las cargas más importantes de los paneles suelen ser las laterales de viento y sismo.

Para los paneles no estructurales, la principal carga lateral producida por el sismo será fuera de su plano y deberán tomarse las consideraciones del caso para desligarlos adecuadamente de la estructura principal. Estos paneles deben diseñarse como componentes no estructurales, según la definición del Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011).

Para el diseño sísmico hay que tener en cuenta que la demanda sobre los componentes no estructurales debe incorporar el factor de importancia  $I_p$  de la tabla 4.1 del CSCR, a fin de reducir la vulnerabilidad de estos componentes. Las ecuaciones 14-1, 14-2 y 14-3 de dicho Código se emplean con los factores  $X_P$  y  $R_P$  que se muestran en la tabla 7.1.

Tipo de panel	$X_P$	$R_P$
Elementos en voladizo soportados por debajo de su centro de gravedad	2.5	2.5
Elementos en voladizo soportados por encima de su centro de gravedad, paredes internas no estructurales y divisiones	1.0	2.5

En el caso de los paneles estructurales, estos deberán conectarse y proporcionarse para resistir las cargas y acomodar los desplazamientos impuestos por ellas, según el análisis estructural realizado por el diseñador. El cálculo y dimensionamiento de los paneles estructurales escapa al alcance de este manual.

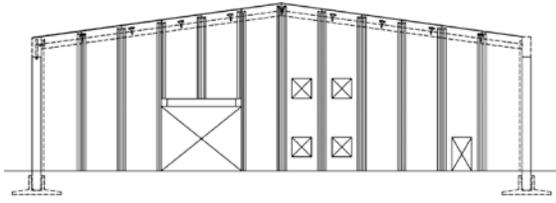
## 9.4 Ayudas de diseño

### Paneles verticales (PV)

Los paneles verticales son elementos pretensados de 2,31 m o 2,44 m de ancho y de hasta 18 m de altura que se usan principalmente para cerramiento de bodegas, naves industriales de concreto y de acero e instalaciones industriales de varias plantas.

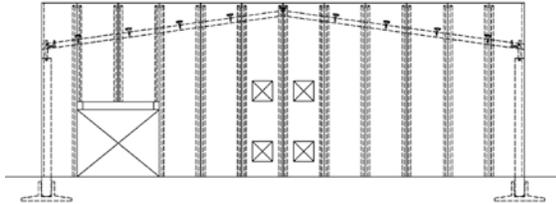
En su extremo inferior se apoyan en una placa de fundación corrida colada in situ o en un entrepiso por encima del nivel del terreno. En su extremo superior se apoyan en un entrepiso, en vigas de techo rígidas o diafragmas de techo.

Pueden fabricarse con una ménsula corrida en su extremo superior que conecta los paneles entre sí y sirve para el apoyo de largueros o clavadores. El borde superior del panel también puede ser horizontal o presentar la pendiente del techo.



Los paneles son colocados con las nervaduras hacia afuera. Ménsula y borde superior con la pendiente del techo.

Figura 7.2 Pared estándar de paneles verticales



Los paneles son colocados con las nervaduras hacia adentro, pueden detallarse con acabados especiales, como sisas. El borde superior es horizontal lo que produce una precinta que oculta la estructura de techo.

Figura 7.3 Pared de paneles verticales invertidos

Los paneles verticales presentan unas nervaduras que usualmente son visibles desde el exterior. También es posible utilizar los paneles con las nervaduras hacia adentro y darle algún tipo de acabado a la cara lisa expuesta, como el sisado.

El panel vertical se puede emplear como cerramiento no estructural o se puede integrar a la estructura principal como un muro de corte.

Para dejar buques de portones con anchos mayores a 1,80 m; se emplean vigas prefabricadas de concreto reforzado como se muestra en las siguientes figuras.

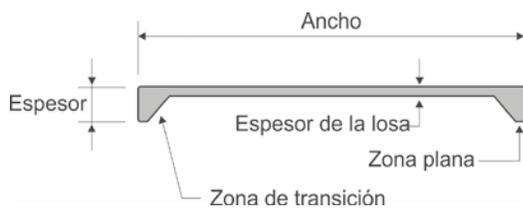


Figura 7.4 Sección transversal del PV típico o especial

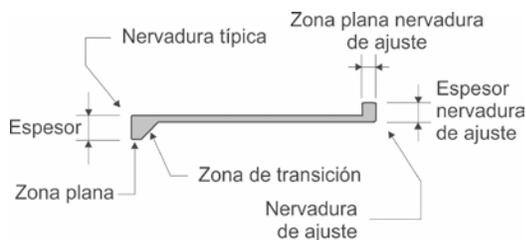


Figura 7.5 Sección transversal del PV tipo ajuste Zona plana nervadura

Tipos de panel	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor de losa (m)	Espesor de nervadura (m)
Típico	Variable (máximo 17 m)	2.310	0.06	0.21
Especial		2.445	0.06	0.21
Ajuste		mínimo 0.30 máximo 2.10	0.06	0.16

Ancho máximo de puerta	1.80 m
Altura máxima de puerta	4 m
Inicio buque de puerta	0.60 m desde parte inferior del panel
Refuerzo alrededor del buque	Primera varilla a 0.025 m del borde Segunda varilla a 0.05 m de la primera Diagonales en las esquinas
Corte de torones	Se cortan hasta que el PV esté montado en el sitio

Alto y ancho máximo	1.80 m x 1.80 m
Cantidad máxima	3 en un solo panel
Geometría de la ventana	Cuadrada o rectangular
Refuerzo alrededor del buque	Primera varilla a 0.025 m del borde Segunda varilla a 0.05 m de la primera Diagonales en las esquinas
Corte de torones	Se cortan hasta que el PV esté montado en el sitio

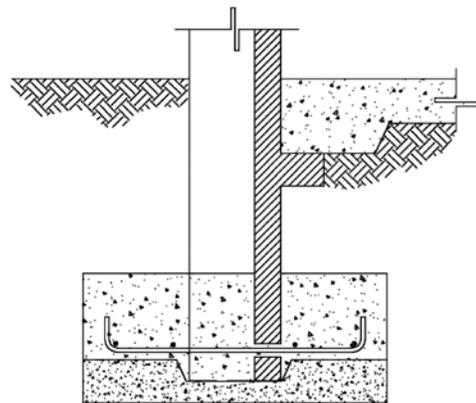


Figura 7.6 Detalle de fundación para naves industriales con paneles estándar

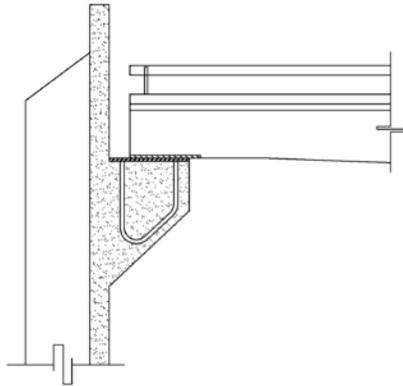


Figura 7.7 Detalle de apoyo de clavadores para naves industriales con paneles estándar

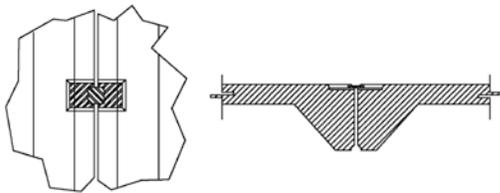


Figura 7.8 Detalle típico de unión temporal entre paneles verticales

### Paneles horizontales (PH)

Los paneles horizontales son elementos pretensados nervados con la misma sección del panel vertical, que pueden utilizarse en luces horizontales de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos unos sobre otros, apoyados en las llaves previstas en las columnas. La carga vertical se transmite en las llaves y, de ser necesario, en bloques de fundación intermedios.

Usualmente se fabrican en anchos de 2,31 m y 2,44 m. Se pueden elaborar con anchos menores (de ajuste) si es necesario para completar la modulación.

Pueden emplearse columnas de pared auxiliares que permiten proyectar buques de puerta de hasta 6 m de ancho contiguos a las columnas principales de las naves industriales de concreto o acero.



Figura 7.9 Pared de paneles horizontales soportados en columnas principales y con columna de pared intermedia

Estos paneles generalmente no se integran a la estructura, aunque es posible convertirlos en vigas medianeras a través del uso de acero de refuerzo que las conecte con las columnas principales. En este caso, es importante garantizar que la capacidad de las columnas sea mayor que la capacidad del panel y que no se generen columnas cortas.

### Panel horizontal Lex-panel

La Losa Lex puede emplearse como un elemento de cerramiento horizontal de hasta 12,5 m de longitud, del mismo modo que se hace con el panel horizontal. El ancho estándar de estos paneles de Losa Lex es de 1,22 m y típicamente se utilizan como componentes no estructurales.

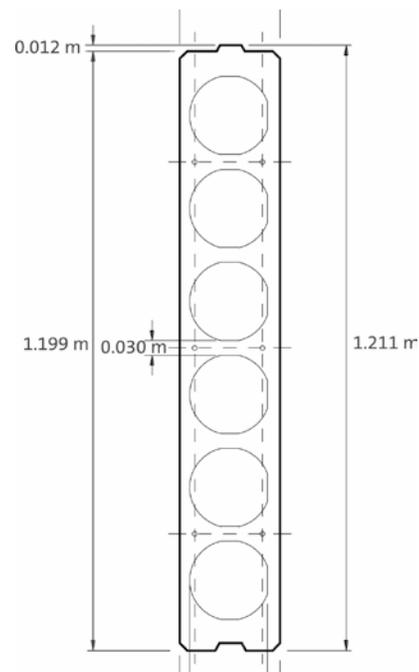
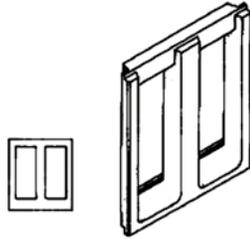


Figura 7.10 Detalle de Losa Lex para cerramiento horizontal

### Paneles de fachada para edificaciones

Es posible desarrollar soluciones de paneles de fachada a la medida para edificaciones. En estos casos, se recomienda que el arquitecto trabaje en estrecha colaboración con el Departamento de Ingeniería de Holcim Modular Solutions, para encontrar una solución que sea satisfactoria desde los puntos de vista estético, estructural, productivo y constructivo. Para obtener una solución limpia y sobre todo económica, deben seguirse algunas recomendaciones básicas:

Repetición: el diseño arquitectónico de las fachadas idealmente debe conducir a la definición de uno o varios módulos básicos dimensionales, así como patrones de forma, textura y color que se puedan repetir en la mayor cantidad de paneles posible. Es conveniente que los distintos módulos y patrones puedan integrarse en un molde maestro.



Panel típico para niveles superiores



Variaciones del molde para el primer nivel

Figura 7.11 Detalle de módulos y patrones

Orientación: idealmente, los paneles deben colocarse en forma vertical apoyados en los entrepisos. Pueden construirse de varios pisos de altura para acelerar el proceso constructivo.

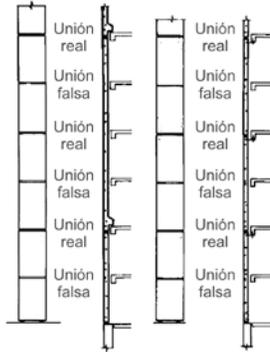


Figura 7.12 Colocación vertical de paneles



Figura 7.13 Edificios con Losa Lex como cerramiento horizontal

Ancho y transporte: es recomendable que el ancho del panel (ya sea la dimensión vertical u horizontal) no exceda los 2,4 m a 3,0 m si se planea transportar acostado en forma horizontal, o los 3,5 m a 4,0 m si se desea transportar como se muestra en la figura 7.14.

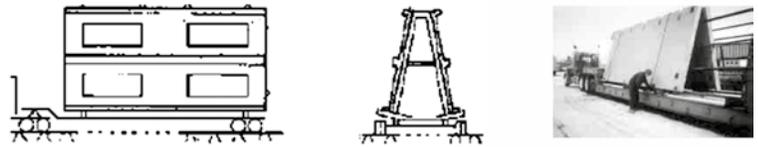


Figura 7.14 Transporte vertical de paneles de cerramiento

# MUROS DE RETENCIÓN

## Aspectos generales de diseño

Aunque se pueden construir muchas variantes, usualmente se emplean cinco tipos principales de sistemas constructivos para la pared del muro:

1. Paredes de poca altura constituidas por Losa Lex en colocación vertical, con conexión a la fundación en su base y viga corona y sin conexión entre paneles. Son particularmente útiles en andenes de carga simples para instalaciones industriales.

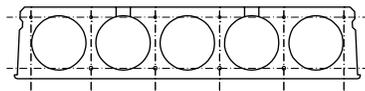


Figura 8.1 Sección Losa Lex

2. Paredes constituidas por paneles verticales de sección constante o sección variable, reforzados o preesforzados, con conexiones panel-panel continuas en toda la altura a través de acero de refuerzo y concreto colado en sitio. Pueden cumplir la función de muros de corte en edificios.

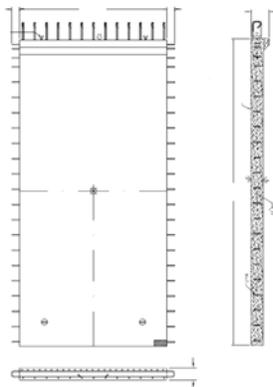


Figura 8.2 Sistema de paredes constituidas por paneles verticales de sección constante

3. Paredes constituidas por T y doble T en colocación vertical, con conexión panel-panel continua en toda la altura a través de acero de refuerzo y concreto colado en sitio. Pueden cumplir la función de muros de corte en edificios.

4. Sistemas basados en columnas o contrafuertes de sección constante o variable y paneles horizontales colocados entre esos contrafuertes.
5. Sistemas especiales, tales como muros móviles autoportantes para el almacenamiento de materiales u otras aplicaciones y muros para bastiones de puentes.

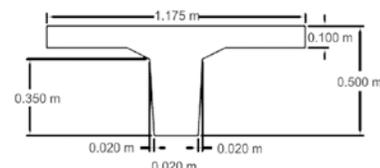
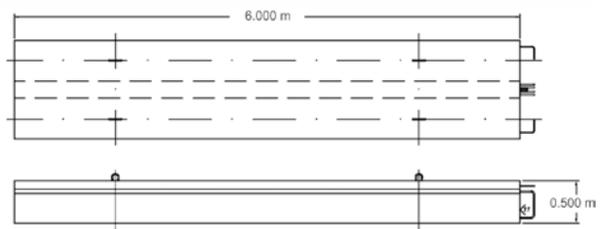
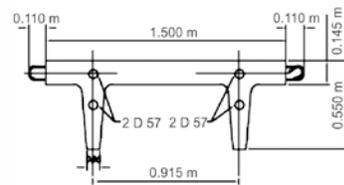
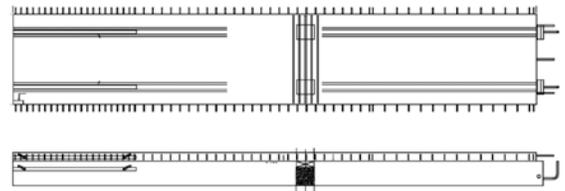


Figura 8.3 Sistema de muros constituidos por tes y doble tes verticales

En los primeros cuatro casos, los muros pueden construirse como sistemas en voladizo. Los muros con base en Losa Lex, paneles sólidos, T y doble T se anclan mediante acero de refuerzo a una placa de fundación corrida colada en sitio o prefabricada en secciones. Los muros de paneles horizontales con contrafuertes se pueden anclar mediante acero de refuerzo a placas de fundación aisladas, ya sean prefabricadas o coladas en sitio.

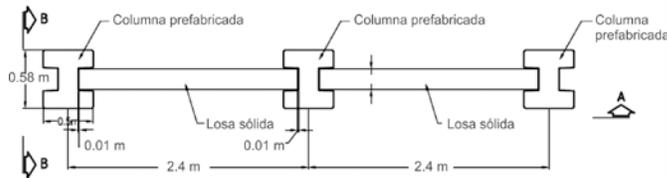


Figura 8.4 Sistemas basados en columnas o contrafuertes

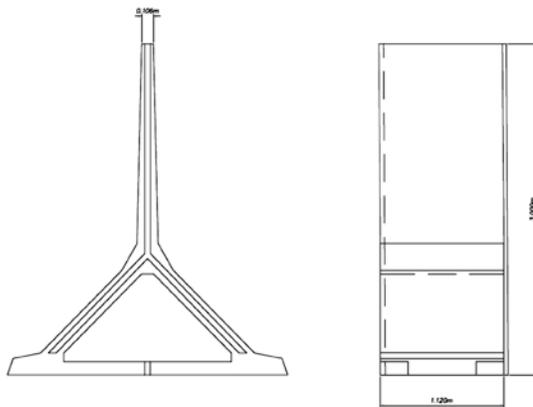


Figura 8.5 Muros móviles autoportantes

En el caso particular de los paneles sólidos, T y doble T, son comunes otros sistemas estructurales tales como:

Muros anclados al terreno en uno o más niveles, con placa de fundación capaz o no de resistir momentos de volteo.

Muros simplemente apoyados o continuos verticalmente por medio de apoyos horizontales constituidos por entresijos. En general no se requiere que la placa de fundación sea capaz de resistir momentos, pero es imprescindible que existan mecanismos apropiados para la transmisión y soporte de los altos cortantes en la base del muro.

Tablestacas de concreto, hincadas o mediante excavación o relleno, en voladizo o ancladas al terreno mediante anclajes pasivos o activos.

Todas estas combinaciones han sido empleadas con éxito en el país en múltiples ocasiones. El diseñador debe tener en consideración que en aquellos muros en los que se inhiba el desplazamiento del suelo, es recomendable trabajar con la presión de reposo en el cálculo de los empujes debidos al terreno. En el caso de sistemas en voladizo, bastará usar la presión activa para el cálculo de los empujes.

Tabla 8.1 Factores de seguridad para estabilidad externa, CCCR		
Revisión	F. S. estático	F. S. dinámico
Deslizamiento	1.50	1.15
Volcamiento	1.50	1.50

## Aspectos específicos de diseño

En general, los muros de retención de estos tipos deben cumplir con criterios de estabilidad externa y estabilidad interna.

### Estabilidad externa

Deben existir factores de seguridad apropiados para el deslizamiento o el volcamiento del muro, la estabilidad global y la revisión de la capacidad de soporte. Estos criterios son similares a los expuestos para los muros mecánicamente estabilizados y están establecidos en el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009) para el caso de los muros de retención en obras que no sean de infraestructura vial. Para el caso de muros en obras de infraestructura vial se debe utilizar la normativa AASHTO.

En la actualidad, la revisión de la capacidad soportante se hace como medida de rutina por el método de capacidad última. Una vez que se ha verificado que la fundación tiene la rigidez apropiada, pueden calcularse las presiones de suelo bajo el supuesto de placa rígida para cada combinación de carga y compararlas contra la capacidad soportante del suelo reducida por un factor  $\phi$  apropiado.

La tabla 8.1 muestra los factores de seguridad recomendados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009) para los criterios de deslizamiento del muro y volcamiento del muro.

### Estabilidad interna

La estabilidad interna se logra por medio del diseño estructural del muro, dimensionamiento, acero de refuerzo longitudinal para tomar las flexiones, capacidad a cortante, anclaje apropiado del refuerzo longitudinal en la placa de fundación, refuerzo de la placa de fundación y diseño y detallado de anclajes al terreno cuando estos existan.

En la sección sobre ayudas de diseño de este capítulo se presentan guías para la selección del tipo de sistema prefabricado a emplear en las paredes del muro, con base en las propiedades del suelo retenido y el tipo de sistema estructural.

Las conexiones entre los componentes prefabricados pueden hacerse de acuerdo con los cuatro tipos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011), en su capítulo 12: Estructuras y Componentes prefabricados de concreto. Los sistemas de Holcim Modular Solutions usualmente utilizan conexiones de tipo húmedo (para detalles acerca de los tipos de conexiones, se recomienda revisar el capítulo 11, sobre edificios prefabricados).

**Tabla 8.2 Selección de elementos de pared para muros de retención prefabricados. Sin sobrecarga.**

Figura	Sección	Coeficiente de empuje (activo o de reposo)	Altura máxima de retención (m)		
			En voladizo	Simplemente apoyado	Continuo en dos claros*
	Lex panel de 20 cm de espesor	0.3	2.95	3.64	-
		0.4	2.58	3.15	-
		0.5	2.30	2.82	-
		0.6	2.10	2.58	-
	Lex panel de 25 cm de espesor	0.3	3.37	4.16	-
		0.4	2.94	3.60	-
		0.5	2.63	3.22	-
		0.6	2.40	2.94	-
	Muro de sección constante de 20 cm, reforzado	0.3	3.73	5.62	4.33
		0.4	3.56	5.12	3.88
		0.5	3.41	4.76	3.47
		0.6	3.26	4.48	3.16
	Muro de sección constante de 22.5 cm, reforzado	0.3	4.14	6.23	4.70
		0.4	3.95	5.69	4.15
		0.5	3.78	5.28	3.71
		0.6	3.61	4.97	3.39
	Muro de sección constante de 25 cm, reforzado	0.3	4.53	6.82	5.26
		0.4	4.32	6.22	4.87
		0.5	4.14	5.78	4.41
		0.6	3.95	5.44	4.03
	Doble te presforzada	0.3	5.03	7.57	5.83
		0.4	4.79	6.91	5.40
		0.5	4.59	6.41	5.02
		0.6	4.39	6.03	4.72
	Te presforzada	0.3	5.54	8.34	6.43
		0.4	5.28	7.61	5.95
		0.5	5.06	7.06	5.53
		0.6	4.84	6.65	5.20

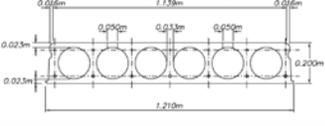
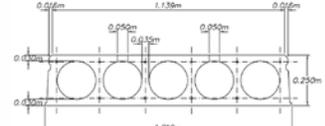
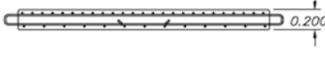
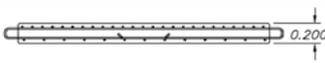
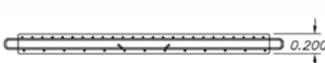
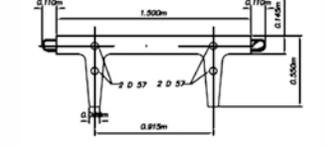
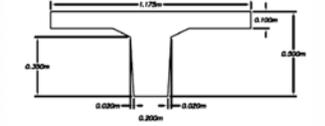
*\*\*En el caso de muros continuos en dos claros, la tabla muestra el claro máximo, la altura total de retención es dos veces lo indicado en la tabla.*

*El coeficiente de empuje empleado debe ser el coeficiente de empuje activo para muros con alto desplazamiento o deformabilidad y el coeficiente de empuje de reposos para muros con bajo desplazamiento o deformabilidad.*

*Se recomienda usar empuje de reposo para todos los casos excepto el muro en voladizo.*

*Los muros se suponen totalmente verticales y la presión se ha calculado con la teoría de Rankine. No se considera carga de agua.*

*La resistencia de los elementos según se indica al inicio del capítulo. Se supone una sobrecarga nula y un coeficiente dinámico horizontal de 0.25"*

Tabla 8.3 Selección de elementos de pared para muros de retención prefabricados. Con 500 kg/m <sup>2</sup> de sobrecarga.					
Figura	Sección	Coeficiente de empuje (activo o de reposo)	Altura máxima de retención (m)		
			En voladizo	Simplemente apoyado	Continuo en dos claros*
	Lex panel de 20 cm de espesor	0.3	2.71	3.44	-
		0.4	2.31	2.95	-
		0.5	2.04	2.62	-
		0.6	1.84	2.38	-
	Lex panel de 25 cm de espesor	0.3	3.13	3.95	-
		0.4	2.67	3.40	-
		0.5	2.37	3.02	-
		0.6	2.14	2.74	-
	Muro de sección constante de 20 cm, reforzado	0.3	3.61	5.46	4.28
		0.4	3.41	4.95	3.77
		0.5	3.20	4.58	3.36
		0.6	3.00	4.30	3.06
	Muro de sección constante de 22.5 cm, reforzado	0.3	4.01	6.08	4.63
		0.4	3.80	5.51	4.04
		0.5	3.58	5.10	3.60
		0.6	3.36	4.79	3.28
	Muro de sección constante de 25 cm, reforzado	0.3	4.41	6.67	5.21
		0.4	4.17	6.05	4.82
		0.5	3.94	5.60	4.30
		0.6	3.70	5.26	3.92
	Doble te presforzada	0.3	4.90	7.43	5.79
		0.4	4.65	6.73	5.36
		0.5	4.40	6.24	4.97
		0.6	4.13	5.86	4.67
	Te presforzada	0.3	5.41	8.20	6.38
		0.4	5.13	7.43	5.90
		0.5	4.87	6.89	5.48
		0.6	4.57	6.47	5.15

\*En el caso de muros continuos en dos claros, la tabla muestra el claro máximo, la altura total de retención es dos veces lo indicado en la tabla.

El coeficiente de empuje empleado debe ser el coeficiente de empuje activo para muros con alto desplazamiento o deformabilidad y el coeficiente de empuje de reposos para muros con bajo desplazamiento o deformabilidad.

Se recomienda usar empuje de reposo para todos los casos excepto el muro en voladizo.

Los muros se suponen totalmente verticales y la presión se ha calculado con la teoría de Rankine. No se considera carga de agua.

La resistencia de los elementos según se indica al inicio del capítulo. Se supone una sobrecarga temporal de 500 kg/m<sup>2</sup> y un coeficiente dinámico horizontal de 0.25"

**Tabla 8.4 Selección de elementos de pared para muros de retención prefabricados. Con 1000 kg/m<sup>2</sup> de sobrecarga.**

Figura	Sección	Coeficiente de empuje (activo o de reposo)	Altura máxima de retención (m)		
			En voladizo	Simplemente apoyado	Continuo en dos claros*
	Lex panel de 20 cm de espesor	0.3	2.47	3.25	-
		0.4	2.08	2.76	-
		0.5	1.81	2.43	-
		0.6	1.62	2.19	-
	Lex panel de 25 cm de espesor	0.3	2.88	3.76	-
		0.4	2.44	3.21	-
		0.5	2.13	2.83	-
		0.6	1.91	2.55	-
	Muro de sección constante de 20 cm, reforzado	0.3	3.49	5.30	4.23
		0.4	3.25	4.79	3.66
		0.5	2.98	4.42	3.25
		0.6	2.78	4.14	2.95
	Muro de sección constante de 22.5 cm, reforzado	0.3	3.90	5.92	4.57
		0.4	3.65	5.35	3.93
		0.5	3.36	4.94	3.50
		0.6	3.13	4.63	3.18
	Muro de sección constante de 25 cm, reforzado	0.3	4.29	6.51	5.16
		0.4	4.03	5.88	4.72
		0.5	3.71	5.44	4.20
		0.6	3.47	5.10	3.81
	Doble te presforzada	0.3	4.78	7.26	5.74
		0.4	4.51	6.57	5.31
		0.5	4.17	6.07	4.92
		0.6	3.90	5.69	4.63
	Te presforzada	0.3	5.29	8.03	6.33
		0.4	4.99	7.26	5.86
		0.5	4.64	6.72	5.43
		0.6	4.34	6.31	5.10

\*"En el caso de muros continuos en dos claros, la tabla muestra el claro máximo, la altura total de retención es dos veces lo indicado en la tabla.

El coeficiente de empuje empleado debe ser el coeficiente de empuje activo para muros con alto desplazamiento o deformabilidad y el coeficiente de empuje de reposos para muros con bajo desplazamiento o deformabilidad.

Se recomienda usar empuje de reposo para todos los casos excepto el muro en voladizo.

Los muros se suponen totalmente verticales y la presión se ha calculado con la teoría de Rankine. No se considera carga de agua.

La resistencia de los elementos según se indica al inicio del capítulo. Se supone una sobrecarga temporal de 1000 kg/m<sup>2</sup> y un coeficiente dinámico horizontal de 0.25"



## CAPÍTULO 9

# SISTEMA PREFA HOLCIM

**El sistema Prefa Holcim es un sistema modular de columnas de concreto pretensado y paredes prefabricadas de concreto reforzado para construcciones de un nivel, diseñado de manera que el montaje pueda ser efectuado por grupos de cuatro trabajadores, sin que se requiera equipo especial ni grúa.**

El sistema Prefa Holcim ha sido usado con éxito en Costa Rica por más de 50 años, en los cuales se han construido con este sistema miles de casas de habitación, aulas escolares, centros de salud y tapias. Durante todo este tiempo el sistema ha evolucionado tecnológicamente, obteniéndose hoy día un producto que cumple con los requisitos del mercado y la normativa vigente.

### 9.1 Características generales

#### Estabilidad estructural

Los elementos prefabricados para las paredes del sistema Prefa Holcim han sido diseñados conforme a los criterios establecidos en los códigos y reglamentos vigentes para la construcción de este tipo de edificaciones en Costa Rica con el objetivo de resistir las fuerzas de los sismos y el viento.

#### Velocidad de construcción

En el sistema Prefa Holcim no hay que formaletear ni apuntalar y tampoco se necesita mano de obra ni equipo especializado. Estas cualidades son las que permiten construir su obra en un plazo mucho menor que el de los sistemas tradicionales, convirtiendo el proceso constructivo en un proceso de montaje de piezas en serie.

#### Bajo costo

Con el sistema Prefa Holcim se eliminan los desperdicios y se controlan de una forma adecuada las compras de otros materiales. La mayor velocidad de construcción permite ahorros importantes en costos financieros, administrativos y planillas de construcción.

#### Modulación de paredes

El sistema permite gran flexibilidad en la modulación de paredes, ajustándose a las necesidades de distribución arquitectónica individual de cada proyecto particular.

#### Respaldo técnico

Holcim Modular Solutions pone a su disposición un departamento técnico con ingenieros especializados para el asesoramiento en el uso del producto y la conclusión exitosa del proyecto.

#### Seguridad y estética en las fachadas

Además de las mejoras en estética que se han realizado a lo largo del tiempo en columnas y baldosas, actualmente a los diferentes modelos de casas de un piso y aulas Prefa Holcim se les puede incorporar tapicheles de concreto reforzado, que quedan integrados a las paredes laterales mejorando la apariencia y asegurando el interior de la edificación.

#### Economía en los acabados de la pared

El proceso de producción genera acabados diferentes en sus superficies. Por un lado, una cara lisa de excelente apariencia, que permite dar un óptimo acabado con solo aplicar pintura o revestimiento, y por la otra cara, una superficie más rugosa. Ambas caras pueden ser fácilmente repelladas.

Adicionalmente, Holcim Modular Solutions tiene disponible para la venta baldosas texturizadas (acabado ladrillo), que le permitirán dar un acabado más estético en su solución de casa Prefa Holcim.

#### Facilidades constructivas

Para mayor facilidad constructiva, las columnas están diseñadas con ménsulas en la parte inferior de las columnas que permiten fijar la primera baldosa y garantizar una altura uniforme de las paredes. También se ha diseñado una unión entre la columna y la estructura del techo que facilita el proceso constructivo y proporciona gran seguridad en casos de vientos fuertes. Además, se dejan dos ductos para facilitar la colocación del tensor perimetral a nivel de fundación.



Figura 9.1 Vista superior esquemática de la distribución interna típica de una vivienda con el sistema Prefa Holcim

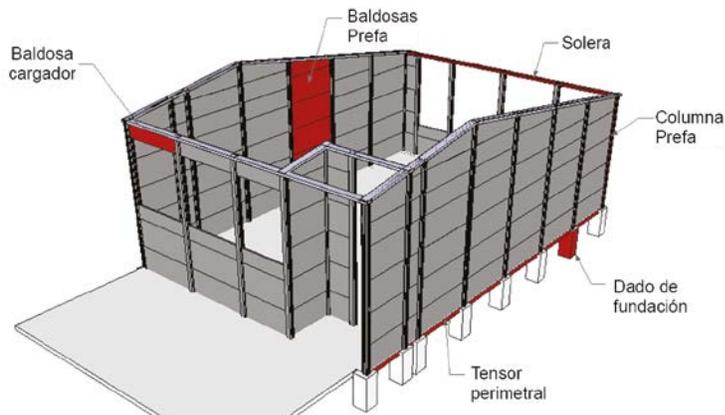


Figura 9.2 Distribución esquemática de los componentes del sistema Prefa Holcim

## 9.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010: establece requisitos mínimos y condiciones para llevar a cabo tanto el diseño formal como el diseño simplificado de sistemas estructurales incluyendo el Prefa Holcim, con el objetivo de resistir las posibles solicitaciones sísmicas.
- Reglamento de construcciones de Costa Rica: establece los parámetros para determinar las cargas de viento que actúan sobre sistemas estructurales incluyendo el Prefa Holcim.
- Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario del Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés): establecen los requisitos de diseño de elementos prefabricados de concreto tanto reforzados como pretensados.
- INTE C131 norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas. Requisitos.
- INTE 06-10-03:2014 Norma para elementos prefabricados de concreto para la construcción de infraestructura educativa, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas.
- INTE 06-10-04:2017 Elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas. Métodos de ensayo.
- INTE 06-10-02:2017 Elementos prefabricados de concreto para la construcción de viviendas unifamiliares de un nivel, mediante el sistema de baldosas horizontales y columnas. Requisitos.

## 9.3 Componentes del sistema

Las paredes del sistema Prefa Holcim se construyen usando dos elementos: columnas de concreto pretensado y baldosas horizontales de concreto reforzado. Las columnas se colocan individualmente en posiciones que corresponden a la modulación de

las paredes y las baldosas se introducen entre columnas de acuerdo con su separación y al uso que se requiere según la distribución de puertas y ventanas (figura 9.2).

Las columnas se apoyan en el suelo por medio de dados de fundación unidos a través de un tensor o tirante y a nivel de techo se unen a una viga solera por medio de tornillos de fijación. El sistema se complementa con la colocación de la estructura de techo y el colado del contrapiso.

Cada uno de estos componentes cumple una función importante y ayuda al correcto desempeño global del sistema Prefa Holcim, por lo que a continuación se describen con detalle las características más importantes de cada uno.

### Columnas

Son pretensadas para evitar el deterioro causado por el transporte y el proceso de instalación, así como para mejorar el desempeño ante las cargas de servicio durante la vida útil de la estructura. El uso de acero de pre-esfuerzo implica además que se requieran concretos más resistentes y densos lo cual mejora la durabilidad de las columnas (tabla 9.1). Debido al uso del pre-esfuerzo no se recomienda bajo ninguna circunstancia cortar las columnas para ajustar su altura.

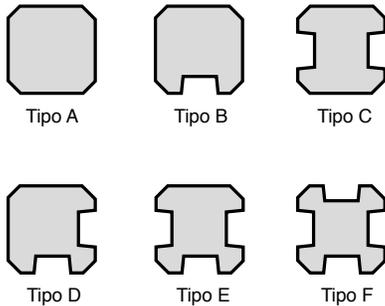
Tabla 9.1 Propiedades de los materiales de columnas	
<b>Concreto</b>	
Resistencia a los 28 días	315 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Alambre pretensado</b>	
Diámetro	7 mm
Norma ASTM	A 421
Fuerza de pretensión	4830 kg
<b>Varilla de columnas de 12 x 14 cm y 12 x 12 cm</b>	
Diámetro	9.5 mm
Norma ASTM	A 706

Las columnas con sección de 12 cm x 12 cm se fabrican para longitudes que van de los 2,94 m hasta los 3,78 m, siendo la de 3,15 m la más utilizada para construcción de viviendas. Adicionalmente se fabrican columnas de 12 cm x 14 cm para las longitudes desde 3,83 m y hasta 4,20 m. En el caso de incorporar tapicheles, las longitudes intermedias se detallan en los esquemas más adelante. Como un caso especial, se fabrican columnas con sección de 12x12 para el Sistema Prefa Holcim DIEE 2016 con alturas particulares que van desde los 3,18m hasta los 4,40m.

Las columnas cuentan con ranuras o canales longitudinales en los cuales se introducen las baldosas (figura 9.4). Esta disposición de ranuras origina seis diferentes secciones transversales, que son nombradas de la “A” a la “F”. La unión entre las columnas y las baldosas se debe rellenar con mortero.

Todas las columnas están previstas con una ménsula a 63 cm de su extremo inferior para el descanso de la primera baldosa (figura 9.5).

### Columnas estándar



### Columnas eléctricas

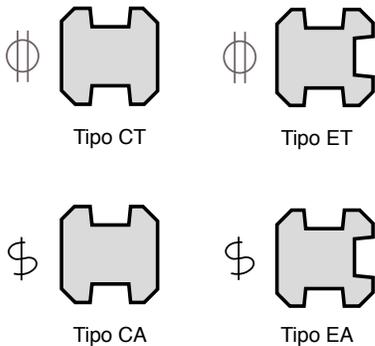


Figura 9.3a Detalle de los tipos de columna del sistema Prefa Holcim

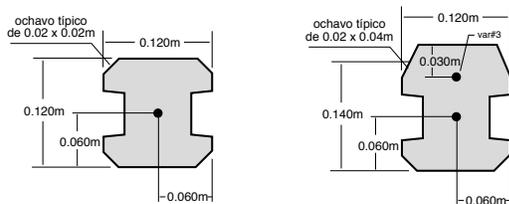


Figura 9.3b Detalle de secciones de columnas 12x12cm y 12x14cm

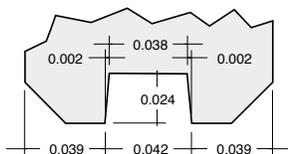


Figura 9.4 Detalle típico de ranura y bisel



Figura 9.5 Detalle de ménsula para apoyo de primera baldosa

### a) Tipos de columnas

Existen cuatro estilos básicos de columnas:

- Estándar
- Para desnivel
- Con herraje
- Para tapias

La columna estándar, que es utilizada tanto en aulas como en viviendas, posee ménsulas dentro de las ranuras para apoyar las baldosas inferiores, dos agujeros para pasar el tensor o tirante perimetral y una unión roscada en el extremo superior para unir con la solera.

La columna para desnivel es utilizada en viviendas elevadas y en muros de retención, y se utiliza en conjunto con las extensiones de columnas para muros. Al igual que la estándar, cuenta con ménsula para apoyar las baldosas y agujeros para el pasar el tensor o tirante perimetral. Está disponible en largos de 1,25 y 1,65 m. Para nombrar este tipo de columna se agrega la letra “m” a la tipología de la columna, por ejemplo, columna “Em”.

La columna con herraje es utilizada en aulas y adicional a la estándar cuenta con un accesorio metálico en la parte superior para unir con la viga solera y con la estructura de techo. Para identificar este tipo de columna se agrega la letra “h” a la tipología de la columna, por ejemplo, columna “Eh”.

Para el caso de las tapias, se tiene a disposición dos largos totales de columnas tipo C de sección transversal de 12 cm x 12 cm:

- 3,15 m para una altura libre de 2,50 m.
- 3,78 m para una altura libre de 3,18 m.

Estas columnas se pueden combinar con las baldosas estándar de acuerdo con la separación de columnas que se requiera según las cargas de viento o sismo, siendo la más común la separación de 1,5 m entre columnas.

### b) Longitudes de columnas

Existen diferentes longitudes de columnas los cuales pueden ser utilizados en construcciones que mantienen un mismo nivel de cielo o bien pueden ser combinados de la forma en que se muestra en la figura 11.6 con el objetivo de resolver los tapicheles utilizando el mismo sistema Prefa Holcim en combinación con las baldosas tipo tapichel.

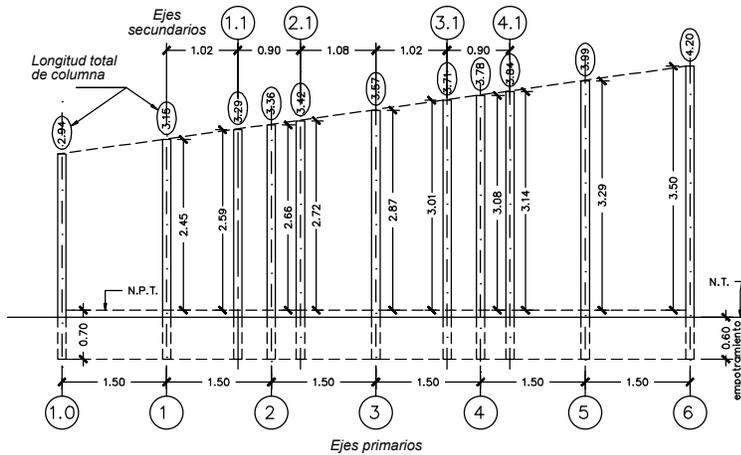


Figura 9.6a Longitudes totales y modulación de columnas para uso de tapicheles prefabricados Prefa Holcim (cotas en metros)

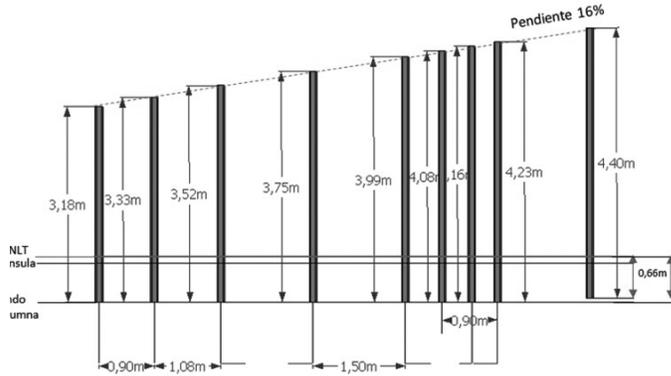


Figura 9.6b Longitudes totales y modulación de columnas para uso de tapicheles prefabricados Holcim para DIEE 2016

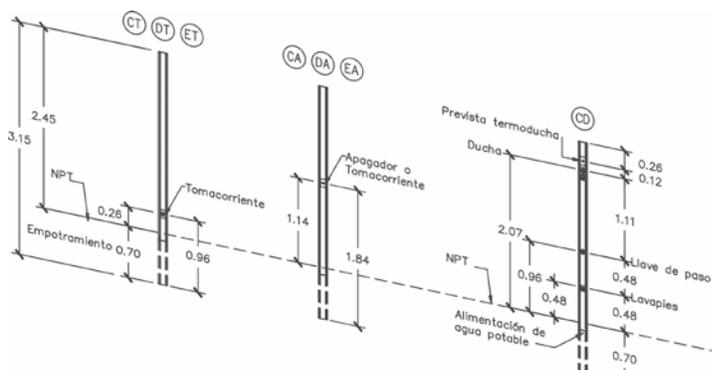


Figura 9.7 Previstas electromecánicas en columnas Prefa Holcim

### c) Accesorios electromecánicos

Para el caso de las columnas estándar y de aula con herraje, se tiene a disposición columnas que poseen previstas de accesorios electromecánicos (figura 9.7).

Para identificar las distintas opciones, seguido de la tipología de la respectiva columna, se agrega una “t” para un tomacorriente, una “a” para un apagador, y una “d” para una ducha. De esta forma, por ejemplo, si se requiere una columna tipo “E” de aula con herraje y con apagador, la respectiva tipología sería “Eah”.

### d) Extensiones de columnas para muros

Cuando se requiere trabajar diferencias de niveles en el terreno donde se ubica la estructura se puede adicionar a las columnas un elemento de extensión que se empotra en la fundación y que junto con las baldosas permite construir muros de retención (figura 9.8).

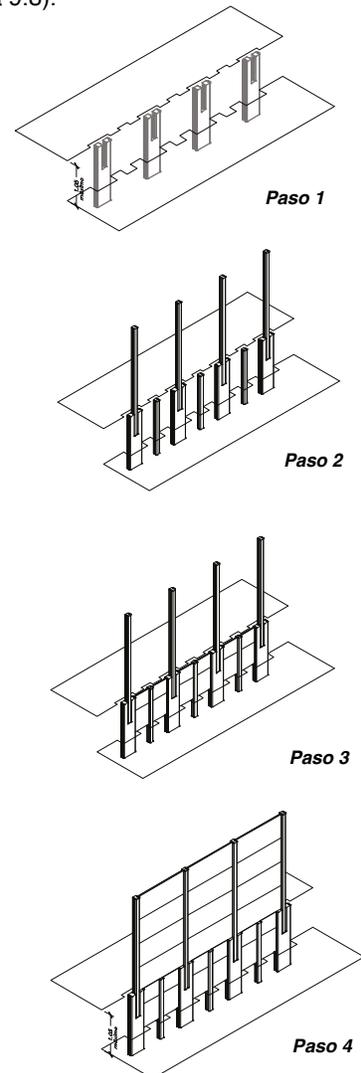


Figura 9.8 Detalles típicos del muro Prefa PC

Hay dos alturas de muro de retención:

- 1,05 m que se construye con la extensión de 1,25 m.
- 0,63 m. que se construye con la extensión de 1,65 m.

El producto presenta las siguientes consideraciones:

- Cuando se separen las columnas a 1,50 m se debe colocar una columna para desnivel en el medio y utilizar baldosas estándar y de ajuste, según sea la altura el muro.
- Cuando la separación entre columnas varíe de 0,72 m a 1,20 m, no se requiere de la columna intermedia, pero debe utilizarse baldosa tipo muro para desnivel.



Figura 9.9 Vista longitudinal y sección transversal de una baldosa tipo estándar Prefa Holcim

### Baldosas

Existen cinco tipos de baldosas:

- Estándar
- De ajuste
- Banquina
- Cargador
- Muro para desnivel

Las baldosas estándar tienen 63 cm de ancho y se fabrican en nueve longitudes (figura 9.11). Las dimensiones utilizadas en la nomenclatura de las baldosas son nominales de centro a centro de columna, por lo que para obtener las longitudes reales de debe restar 8 cm. Las propiedades de los materiales utilizados en la fabricación de las baldosas se pueden revisar en la tabla 9.2.

Tabla 9.2 Propiedades de los materiales de baldosas	
<b>Concreto</b>	
Resistencia a los 28 días	245 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Alambre de refuerzo</b>	
Diámetro	4.1 mm
Norma ASTM	A 497

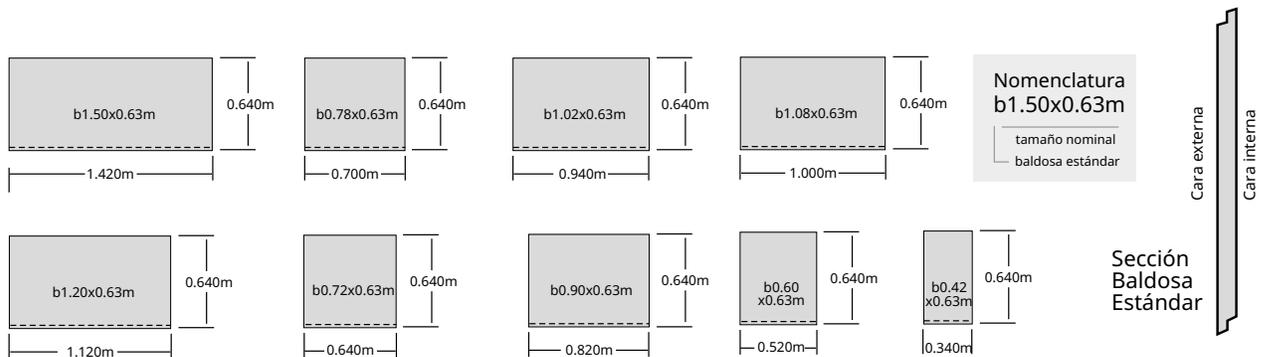


Figura 9.10 Baldosas tipo estándar a usar en casas Prefa Holcim ó en aulas Prefa Holcim

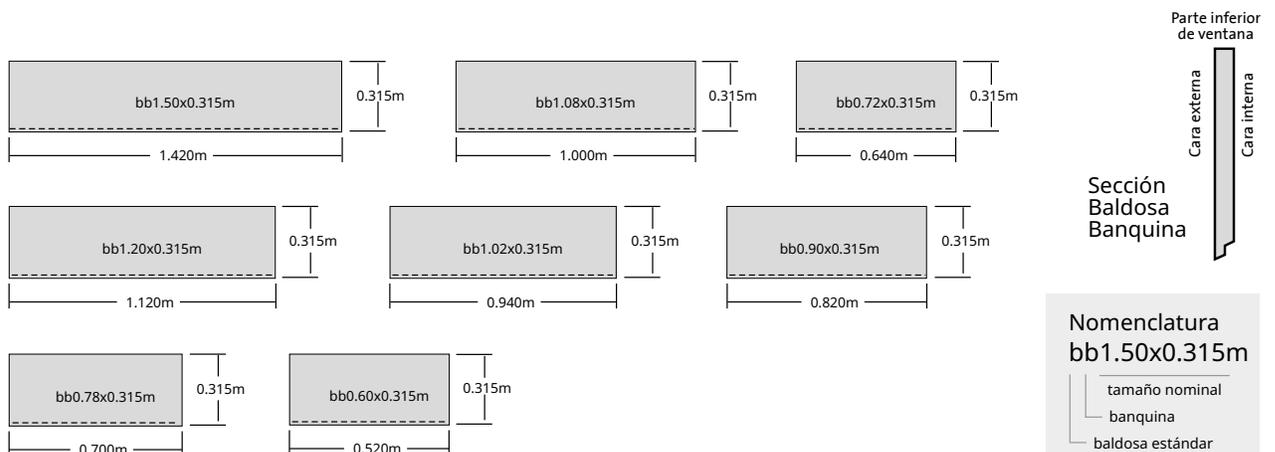


Figura 9.11 Baldosas tipo banquina a usas en casas Prefa Holcim o en aulas Prefa Holcim

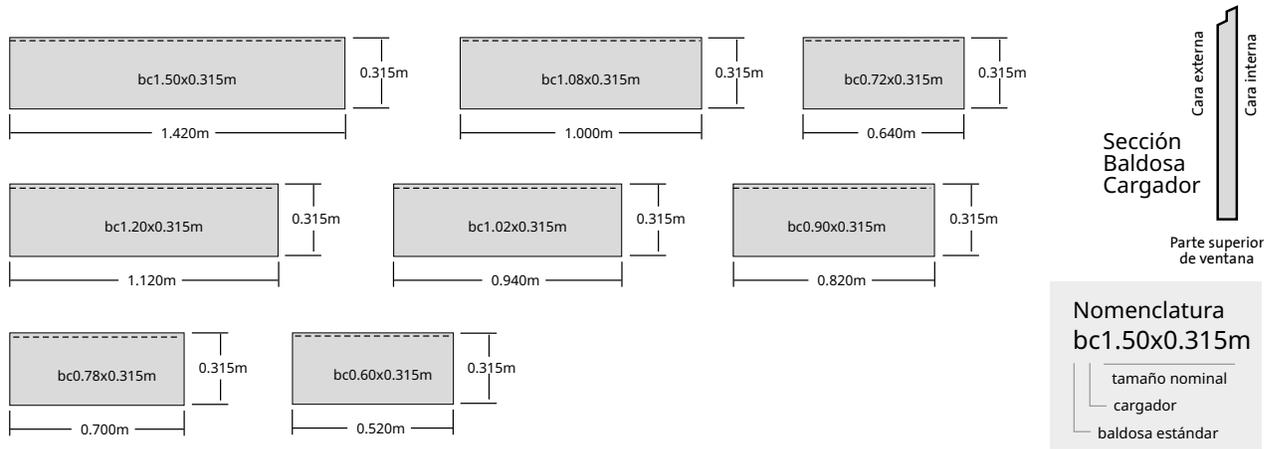


Figura 9.12 Baldosas tipo cargador a usar en casas Prefa Holcim o en aulas Prefa Holcim

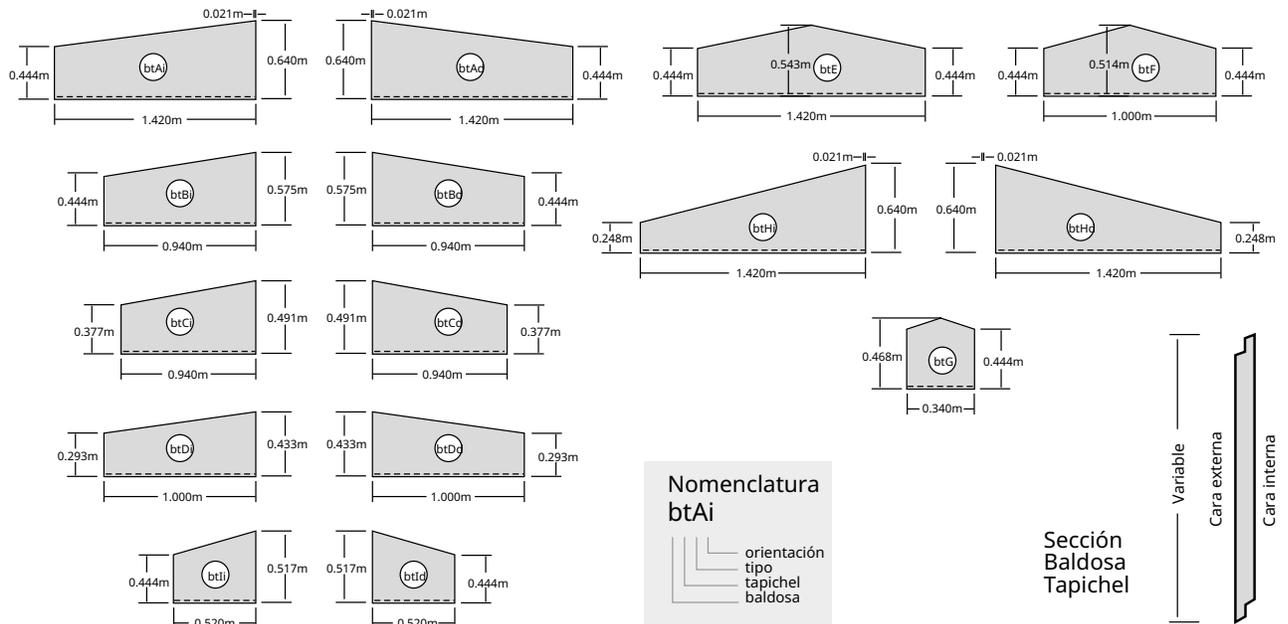


Figura 9.13 Baldosas tipo tapichel a usar en casas Prefa Holcim o en aulas Prefa Holcim

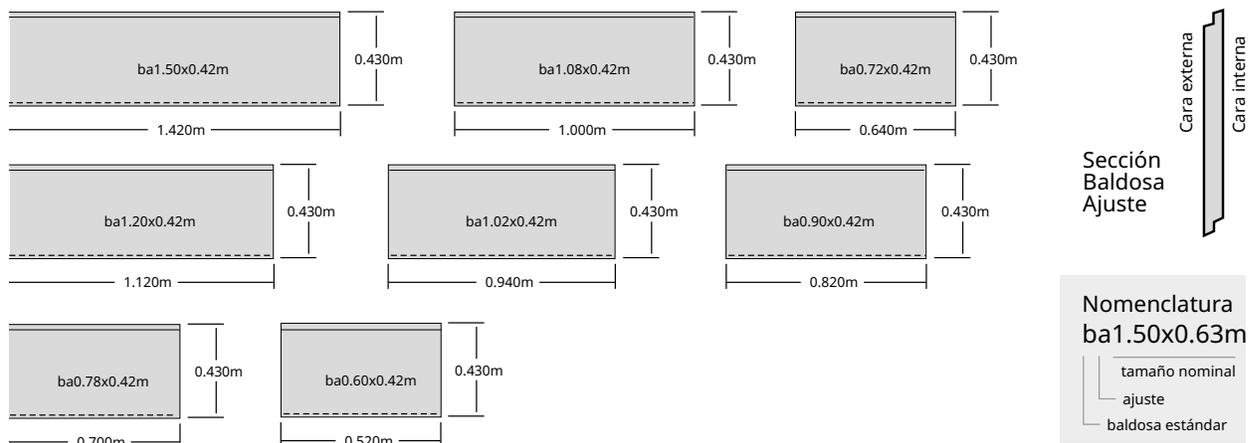


Figura 9.14 Baldosas tipo ajuste a usar en casas Prefa Holcim o en aulas Prefa Holcim

A fin de facilitar la modulación del sistema se cuenta con baldosas de ajuste (figura 9.14), con un ancho nominal de 42 cm y baldosas tapichel (figura 9.13) con pendiente de un 14 %. Para los buques de puertas y ventanas se tienen baldosas banquina (figura 9.11) y baldosas cargador (figura 9.12) ambas de 31 cm de ancho.

Cuando se tienen desniveles y se requiere que el sistema trabaje como muro de contención debe utilizarse, en conjunto con la extensión de columna, la baldosa tipo muro para desniveles (nomenclatura bm), que cuenta con refuerzo especial para desempeñar esta función (figura 9.8).

Combinando las longitudes estándar de las baldosas, el sistema Prefa Holcim puede ser adaptado a la mayoría de las distribuciones arquitectónicas. Para la fabricación de las baldosas se utiliza concreto reforzado y se cuenta con controles de calidad que permiten obtener la misma durabilidad de cualquier obra de concreto bien ejecutada, con la ventaja de que su producción es controlada mediante procesos estandarizados.

El diseño de la junta para la unión entre baldosas garantiza la impermeabilidad de las paredes en climas lluviosos y disminuye considerablemente el despunte del “machimbrado” durante el transporte y la etapa de montaje (figura 9.15). La junta se debe rellenar con mortero por la cara que da al exterior de la casa. Normalmente las baldosas son colocadas con la cara rugosa hacia el exterior de la casa y debe evitarse intercambiar las caras.

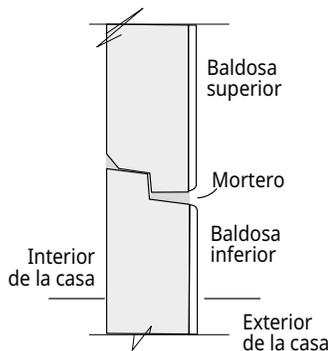


Figura 9.15 Detalle de junta rellena con mortero

## 9.4 Aspectos de diseño y detallado

El sistema Prefa Holcim cuenta con todo un desarrollo técnico que le avala como un sistema seguro y estable ante cargas gravitacionales y laterales, tanto de sismo como de viento. Mediante la utilización de programas de cómputo se ha desarrollado el análisis estructural en tres dimensiones para los modelos de casas Prefa Holcim presentes en este documento. Cabe aclarar que el sistema de baldosas estándar no debe ser utilizado como muro de retención.

En las tablas 9.3 y 9.4 se pueden revisar las propiedades físicas y mecánicas más importantes de las columnas y baldosas típicas del sistema Prefa Holcim. La columna para tapia es un caso especial. Aunque su sección transversal es de 12 cm x 12 cm, el momento nominal es de 445 kg-m.

Tipo	Longitud 3.15 m		Longitud 3.78 m		Longitud 4.20 m	
	Peso kg	Momento nominal kg-m	Peso kg	Momento nominal kg-m	Peso kg	Momento nominal kg-m
A	94.20	400	113.04	400	125.60	400
B	89.10	400	106.92	400	118.80	400
C	84.45	400	101.34	400	112.60	400
D	84.14	400	100.97	400	112.19	400
E	78.04	400	93.65	400	104.05	400

Tipo	Longitud		Peso (kg)	Momento de rotura (kg-m)	Momento máximo (kg-m/m)
	Nominal (cm)	Real (cm)			
b1.50x0.63m	150	142	70.20	35.6	102
b1.20x0.63m	120	112	55.37	28.8	102
b1.08x0.63m	108	100	49.44	21.8	102
b1.02x0.63m	102	94	46.47	21.8	102
b0.90x0.63m	90	82	40.54	21.8	102
b0.78x0.63m	78	70	36.50	21.8	102
b0.72x0.63m	72	64	33.70	21.8	102
b0.60x0.63m	60	82	25.71	21.8	102
b0.42x0.63m	42	34	16.81	21.8	102

Desde el punto de vista estructural, las baldosas, las columnas, la viga solera y el sistema de fundación todos combinados forman una estructura que actúa en forma hiperestática.

Las baldosas transmiten las fuerzas horizontales de sismo o de viento a las columnas, las cuales resisten las fuerzas horizontales trabajando como elementos que están simplemente apoyados a la solera a nivel de techo y empotrados en cimientos individuales colados in situ a nivel de fundación, al mismo tiempo que las columnas también soportan en compresión las fuerzas verticales del techo y del cielo raso (figura 9.16).

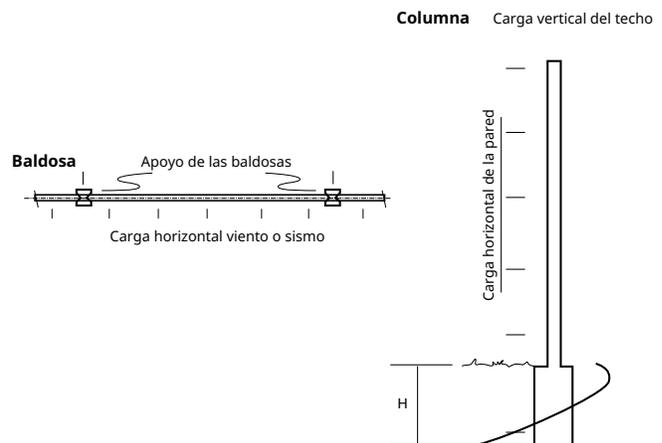


Figura 9.16 Esquema de cargas y reacciones del Sistema Prefa Holcim: (a) Vista en planta (b) Elevación del sistema principal sismo como de viento

Aunque no se ha tomado en consideración en el diseño, se cuenta con una resistencia adicional debido a la acción de diafragma del techo, el cual se integra a las paredes Prefa Holcim mediante la solera corrida conectada a las columnas.

En el caso de las tapias, las columnas actúan como elementos isostáticos en voladizo empotrados en los dados de la fundación y unidas longitudinalmente en la parte superior por medio de la viga solera. Se recomienda eso sí, que para tramos largos las tapias se dividan en longitudes de 25 m, para lo cual se requiere colocar doble columna cada 25 m separando en ese mismo punto también la solera.

Una sección transversal típica del armado del sistema Prefa Holcim se muestra a continuación en la figura 9.17. Esta corresponde al caso más común de columna que es la de 3,15 m de longitud total, pero aplica en cuanto al detallado para cualquiera de los largos disponibles. Con respecto a la estructura de techo y cielo, esta se puede llevar a cabo con el detallado y los materiales que se deseen.

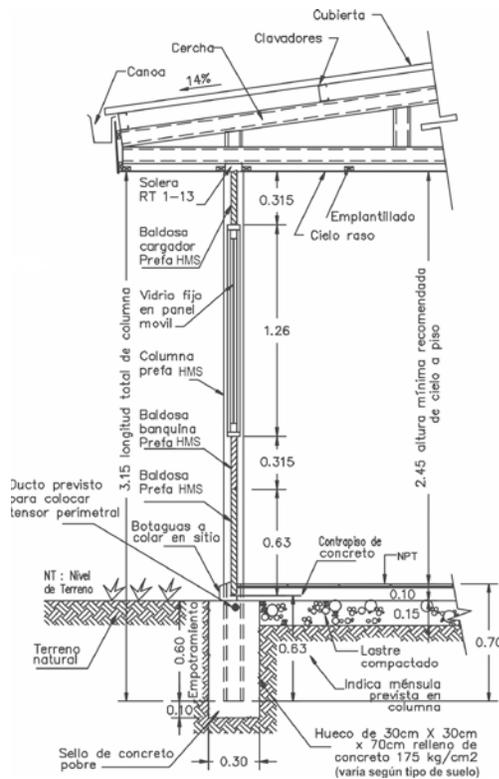


Figura 9.17 Detalle típico

Como parte del proceso de control de calidad, continuamente se llevan a cabo ensayos de carga estática no solo de las baldosas y columnas Prefa Holcim, sino también de paredes completas que integran ambos elementos, tanto en nuestro laboratorio, así como en laboratorios externos de prestigio nacional, comprobándose satisfactoriamente la resistencia tanto de los elementos como de las conexiones planteadas.

## a) Fundación

Respecto a los dados de concreto que sirven como cimentaciones de las columnas, estos resisten las cargas laterales de viento y sismo por medio de la contribución de la reacción de la presión pasiva del suelo circundante para generar un empotramiento (figura 9.16).

Las dimensiones estándar recomendadas son de 30 cm x 30 cm de sección transversal por 70 cm de profundidad de desplante que corresponden a 10 cm de sello y 60 cm de columna embebida (figura 9.17). La cavidad se debe rellenar con concreto de una resistencia mínima a la compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, estas dimensiones corresponden con un suelo de propiedades regulares, por lo que las condiciones del suelo de cada sitio de cimentación en particular deben ser evaluadas por el profesional responsable de la respectiva obra.

Los valores para un suelo de propiedades regulares son los siguientes:

- $q_{adm} = 10 \text{ ton /m}^2$
- Cohesión = 3,5 ton /m<sup>2</sup>
- Ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 17°
- Peso específico = 1,7 ton /m<sup>3</sup>

La tabla 9.5 se presenta como una ayuda que permite obtener en función de las propiedades del suelo y del nivel de desplante deseado, el ancho del dado a excavar.

Cuando los dados de fundación se deban llevar a cabo con profundidades de desplante mayores a 0,8 m y además sus dimensiones transversales sean menores a 0,4 m por lado, o para cualquier profundidad de desplante y dimensiones transversales cuando existan diferencias de nivel entre la parte superior del dado y el de terreno iguales o mayores a los 0,15 m, o cuando el detalle de fundación lo requiera por las características del suelo del sitio; se debe colocar en el dado una armadura de como mínimo cuatro varillas #3 longitudinales debidamente ancladas y aros de varilla #2 corrugada o #3 con separación cada 20 cm.

Los dados de fundación deben ser unidos siempre por medio de tensores o tirantes de varilla #3 a nivel de contrapiso formando cuadros cerrados (figura 11.18). Todo el acero de los tirantes debe quedar debidamente anclado en sus extremos (figura 9.19), embebido en concreto y con un recubrimiento mínimo de 5 cm.

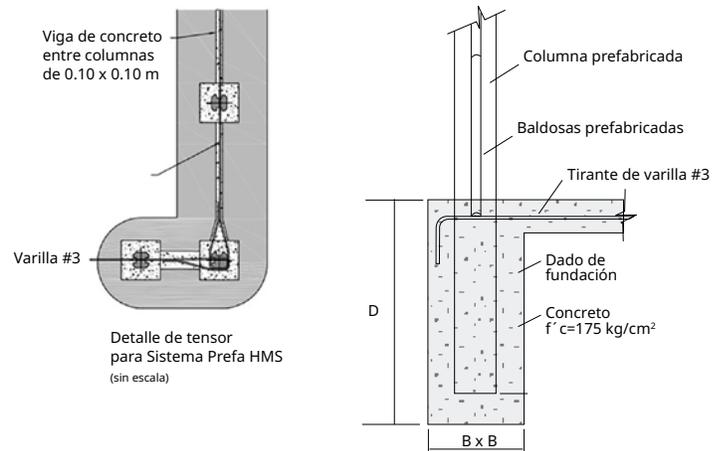
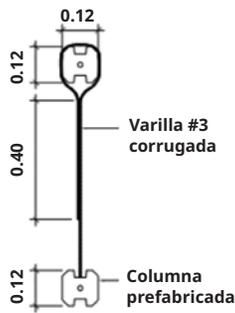


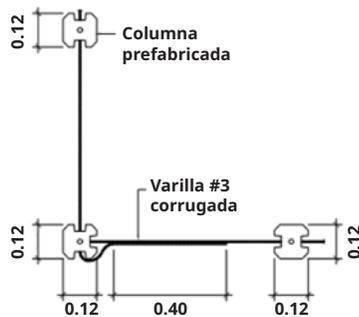
Figura 9.18 Detalle de dado de fundación

Tabla 9.5 Características de los dados de fundación para columnas Prefa Holcim

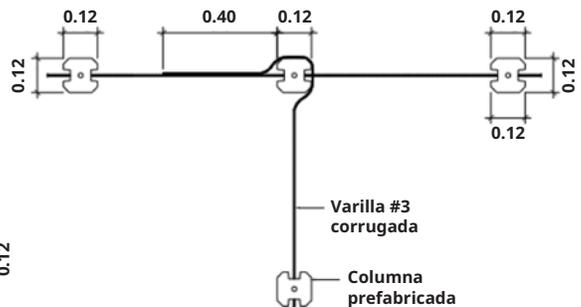
Ángulo de fricción f (grados)	Profundidad de desplante D (m)	Ancho del dado de fundación para distintos f, C y D para columnas de 12 x 12 cm (m)				Ancho del dado de fundación para distintos f, C y D para columnas de 12 x 14 cm (m)			
		Cohesión C (ton/m <sup>2</sup> )				Cohesión C (ton/m <sup>2</sup> )			
		5	10	15	20	5	10	15	20
0	0.60			0.60	0.50				0.60
	0.70		0.60	0.40	0.30			0.50	0.40
	0.80		0.50	0.30	0.30		0.50	0.40	0.30
	0.90	0.70	0.40	0.30	0.30		0.40	0.30	0.30
	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.60	0.30	0.30	0.30
5	0.60			0.60	0.40			0.70	0.50
	0.70		0.60	0.40	0.30		0.70	0.50	0.40
	0.80		0.50	0.30	0.30		0.50	0.40	0.30
	0.90	0.60	0.30	0.30	0.30	0.70	0.40	0.30	0.30
	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.60	0.30	0.30	0.30
10	0.60		0.70	0.60	0.40			0.60	0.40
	0.70		0.50	0.40	0.30		0.70	0.50	0.40
	0.80	0.70	0.40	0.30	0.30		0.50	0.40	0.30
	0.90	0.60	0.30	0.30	0.30	0.70	0.40	0.30	0.30
	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	0.30
15	0.60		0.70	0.50	0.40			0.60	0.40
	0.70		0.50	0.30	0.30		0.60	0.50	0.40
	0.80	0.60	0.40	0.30	0.30		0.40	0.30	0.30
	0.90	0.50	0.30	0.30	0.30	0.60	0.30	0.30	0.30
	1.00	0.40	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	0.30
20	0.60		0.70	0.40	0.30			0.70	0.50
	0.70		0.40	0.30	0.30		0.50	0.40	0.30
	0.80	0.60	0.30	0.30	0.30	0.70	0.40	0.30	0.30
	0.90	0.40	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	0.30
	1.00	0.40	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30
25	0.60		0.50	0.30	0.30			0.70	0.50
	0.70	0.70	0.40	0.30	0.30		0.40	0.40	0.30
	0.80	0.50	0.30	0.30	0.30	0.60	0.40	0.30	0.30
	0.90	0.40	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	0.30
	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30
30	0.60		0.50	0.30	0.30			0.60	0.40
	0.70	0.60	0.30	0.30	0.30	0.70	0.40	0.30	0.30
	0.80	0.40	0.30	0.30	0.30	0.60	0.30	0.30	0.30
	0.90	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30
	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30



Detalle de fundación en I



Detalle de fundación en L



Detalle de fundación en T

Figura 9.19 Detalle de fundación: colocación de tensor perimetral

Las columnas del sistema Prefa Holcim tienen previstos dos ductos en una misma dirección a nivel de fundación para facilitar la colocación de este tensor perimetral o en caso de que se requiera unir las columnas a algún tipo de fundación especial por presencia de suelos de mala calidad o fundaciones excéntricas. En el caso de columnas esquineras en donde coinciden dos tirantes perpendiculares, pero solo se tienen orificios en una dirección, se recomienda que en la otra dirección la varilla #3 rodee la columna y se traslape de nuevo en el mismo tirante para lograr un adecuado anclaje, cuidando siempre que se logre un correcto recubrimiento.

Debido a que las columnas son pretensadas, no se recomienda bajo ninguna circunstancia cortarlas para ajustar su altura. En caso de que se requiera, se sugiere profundizar aún más lo que sea necesario la columna, para lo cual a su vez se debe aumentar la dimensión de desplante del dado de fundación.

### b) Viga solera

La viga solera es un elemento muy importante del sistema Prefa Holcim, que se debe utilizar siempre en todas las soluciones, ya sean estas viviendas, aulas, tapias, entre otras.

Tal y como se indicó anteriormente para el caso de estructuras de un nivel, las fuerzas horizontales de sismo y viento son transmitidas de las baldosas a las columnas y estas lo hacen hacia las fundaciones como un empotramiento y hacia la viga solera como un apoyo simple.

Es por lo anterior que la viga solera provee gran parte de la estabilidad lateral de las paredes, para lo cual es necesario que esté apoyada en otras paredes ubicadas perpendicularmente. Además, dado que la fuerza lateral transmitida es horizontal, esta viga trabaja en esa misma dirección y por lo tanto su rigidez y resistencia poseen valores limitados.

Por lo tanto, la viga solera debe tener propiedades mínimas y distancias máximas entre apoyos o paredes perpendiculares que se deben respetar, a menos que se lleve a cabo un diseño formal que demuestre lo contrario. Para el caso del sistema Prefa Holcim, si la distancia máxima entre los soportes laterales de las paredes es menor que 6 m, se recomienda utilizar como mínimo un perfil de acero laminado en frío de 10 cm de peralte con una fijación de las cerchas que forman parte de la estructura del techo.

En el caso de las tapias, que son construcciones con distancias libres considerables entre paredes perpendiculares, la viga solera ayuda a darle integridad al sistema al unir las columnas para distribuir uniformemente las cargas y los desplazamientos en el sentido perpendicular al plano de la pared, así como para mantener la distancia entre columnas y por lo tanto la ubicación de las baldosas en el plano del muro.

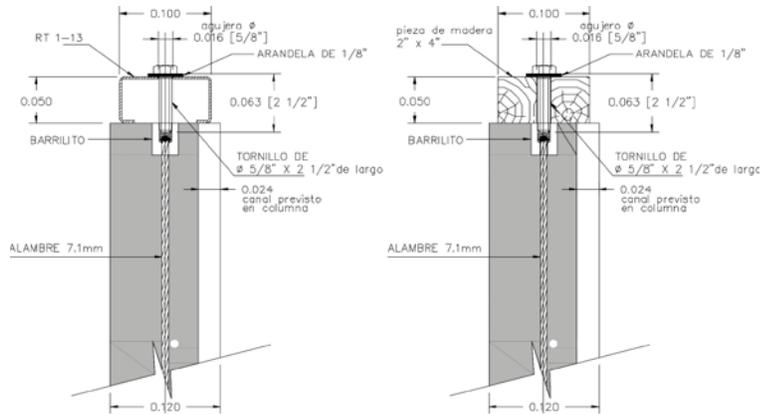


Figura 9.20 Detalle típico de colocación de solera metálica o de madera

Una parte muy importante del correcto desempeño estructural del sistema es la forma en que se lleva a cabo la unión de la viga solera con la columna para poder transmitir de manera efectiva las cargas laterales. El sistema Prefa Holcim cuenta con un detalle de unión diseñado y probado por medio de ensayos de laboratorio para cumplir con esta función de manera segura, estándar, fácil de instalar y durable. Se utiliza un tornillo de 1,6 cm (5/8") de diámetro, SAE grado 1 a 4, que se une a la solera por medio de una arandela y a la columna por medio de una prevista roscada la cual a su vez se encuentra unida al alambre de pretensión, permitiendo un correcto anclaje.



Figura 9.21 Detalle de conexión con solera

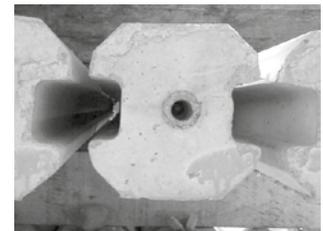


Figura 9.22 Prevista para colocación de tornillo

Es importante que se construya adecuadamente la unión entre vigas perpendiculares de manera tal que se logre una efectiva transmisión de las fuerzas laterales hacia los apoyos que proveen la estabilidad estructural.

Cuando se tenga una diferencia de nivel en la parte superior entre dos columnas que se deben unir por medio de la viga solera (como en el caso de ejes perpendiculares a los tapicheles), se recomienda hacer la unión por medio de un elemento del mismo tipo de la viga solera, pero en diagonal a 45° y soldado o atornillado en ambos extremos.

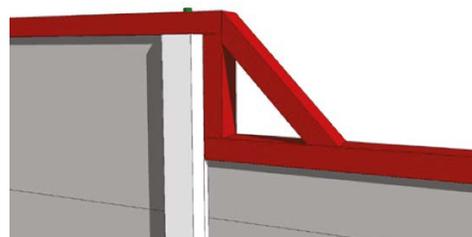


Figura 9.23 Detalle típico de la unión para garantizar continuidad de la solera

Así mismo, se debe garantizar la continuidad de los elementos que forman la viga solera por medio de la utilización de elementos de traslape adecuados (figura 9.24). El caso de la unión de la viga solera a las columnas de aula estándar es un sistema que requiere de detalles especiales.

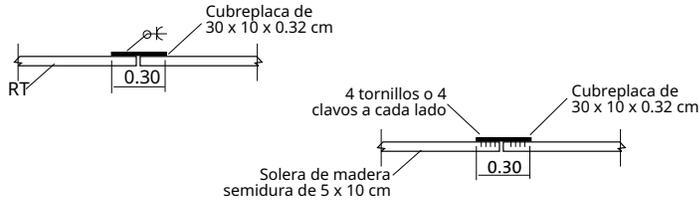


Figura 9.24 Detalle típico de la unión para garantizar continuidad de la solera

## 9.5 Instalación

El sistema Prefa Holcim es un sistema de montaje rápido y sencillo, que no requiere de mano de obra ni equipo especializado.

Aunque la construcción de este sistema es muy simple, es importante conocer las indicaciones aquí dadas a fin de llevar a cabo, de manera clara y ordenada, todos los pasos de la construcción.

Holcim Modular Solutions ofrece además la asesoría técnica necesaria para la realización del proyecto, antes y durante su ejecución.

### Interpretación de planos

La figura 9.25 muestra una planta típica de una casa Prefa Holcim, en la cual se aprecia la distribución de las columnas y de las baldosas. Junto a cada columna se encierra en un círculo el tipo de sección transversal y se especifica también la longitud total de la columna.

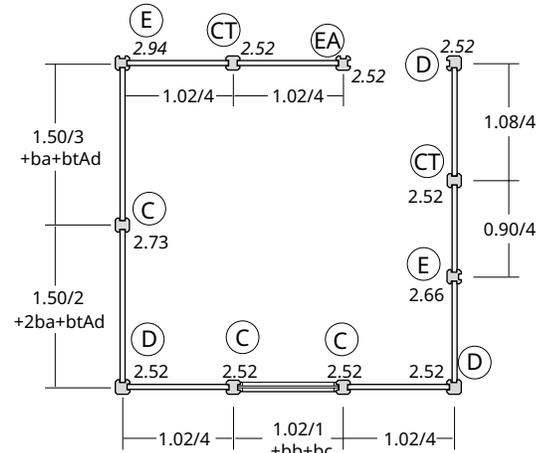


Figura 9.25 Ejemplo de distribución de columnas y baldosas

Las cotas entre columnas indican además de la longitud nominal de las baldosas, la cantidad de baldosas estándar que se colocan, así como si se requieren adicionar baldosas de ajuste, cargador, banquina o tapichel.

Los planos del sistema Prefa Holcim contienen una tabla que resume las cantidades y tipos de columnas y baldosas para cada modelo de casa en particular (tablas 9.6 y 9.7). Es importante que, al recibir el material, el cliente revise que este coincida con el indicado en dicha tabla.

Tabla 9.6 Ejemplo de tabla de elementos - Baldosas											
Tipo	Ancho (m)	1.50	1.20	1.08	1.02	0.90	0.78	0.72	0.60	0.42	Total
b	0.63	29	-	8	36	7	-	-	8	12	100
bb	0.315	1	-	1	6	-	-	-	-	-	8
bc	0.38	1	-	2	6	-	-	-	-	-	9
ba	0.42	9	-	-	2	1	-	-	-	-	12

Tabla 9.7 Ejemplo de tabla de columnas 12 x 12 cm														
Tipo	As	Bs	Cs	Ds	Es	Fs	CDs	CAs	CTs	DAs	DTs	EAs	ETs	Total
Long.														
2.52	-	-	3	5	2	-	1	5	4	-	-	2	-	22
2.66	-	-	1	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	5
2.73	-	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3

## Proceso constructivo, casas de un nivel

### a. Ubicación de la casa en el lote

Los trabajos de construcción de la casa deben iniciarse considerando algunos aspectos de la ubicación de la casa en el lote:

#### Topografía y tipo de terreno

En primer lugar, debe asegurarse de que el terreno sea apto para la construcción del modelo de vivienda Prefa Holcim escogido.

Si el terreno presenta algún problema, como, por ejemplo, si se trata de un relleno, el tipo de suelo es de mala calidad (suelos de alta plasticidad, suelos con potencial colapsable, arenas susceptibles a la licuefacción, entre otros) o el terreno es demasiado quebrado, se debe consultar al profesional responsable de la obra para determinar las posibles modificaciones en la estructura de la casa.

#### Forma y tamaño del lote

En este aspecto, se debe comprobar que la casa se ajuste bien a la forma y tamaño del lote y que se reserve suficiente área libre para el tanque séptico y el drenaje, lo mismo que para el antejardín y el patio de tendido.

#### Retiros exigidos por ley

Generalmente las municipalidades al tramitar el permiso de construcción son las encargadas de indicar la línea de construcción (figura 9.26) o distancia libre entre el cordón del caño y la casa.

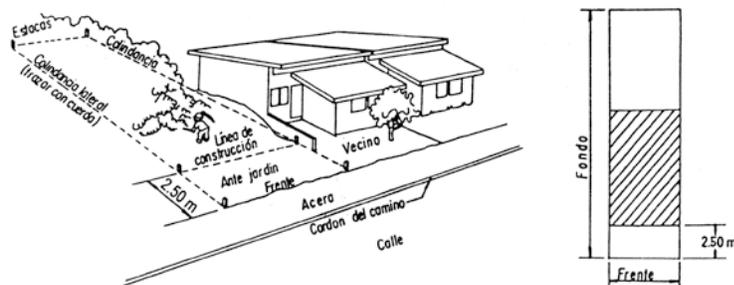


Figura 9.26 Retiros exigidos por ley

Si la propiedad colinda o es atravesada por un río o quebrada, se debe establecer un retiro entre la casa y la línea centro del cauce del río, que por lo general es de 10 m. No obstante, en cada caso, debe consultarse a la Municipalidad correspondiente y corroborar con un topógrafo las distancias y puntos de referencia.

Debe verificarse además que el modelo de vivienda Prefa Holcim escogido no tenga ventanas o puertas que vayan a quedar bloqueadas por las construcciones vecinas. El retiro de ley en este caso es por lo general de 2,50 m.

## Delimitación del terreno

Para trazar el lote, se marcan primero sus colindancias y la línea de construcción utilizando una cuerda y estacas colocadas en los vértices o esquinas. Generalmente, el lindero está definido por una cerca, tapias o estacas. Si el lote no tiene las indicaciones del lindero o existen dudas al respecto, lo mejor es consultar a un topógrafo (figura 9.27).

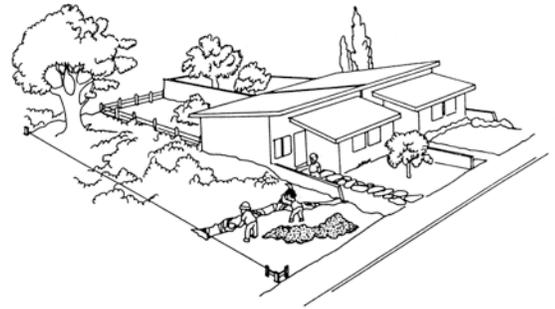


Figura 9.27 Delimitación del terreno

### b. Preparación del terreno

Delimitado el terreno y limpio ya de troncos, escombros, basuras y maleza, se procede a su nivelación quitando, de paso, la capa de tierra vegetal y eliminando lomas y obstáculos que dificulten el trazado de la casa.

Si la capa de tierra vegetal es muy profunda o si el terreno es demasiado húmedo, de nuevo se debe consultar al profesional responsable para tomar las precauciones que el caso requiera.

### c. Nivelación general

Lo primero es colocar una estaca en un lugar visible, preferiblemente en donde la línea de construcción y una colindancia formen esquina. Luego se marca la estaca a unos 60 cm sobre el nivel del terreno. Este será el nivel de referencia para colocar todas las yuguetas (figura 9.28), las cuales son pares de estacas de donde se amarran las cuerdas del trazado.

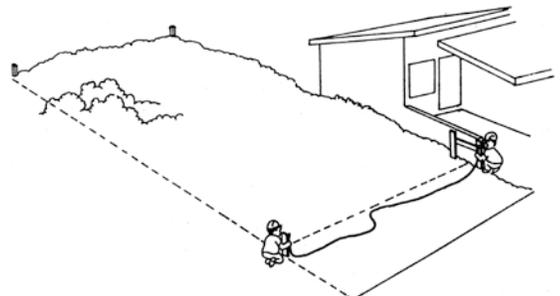


Figura 9.28 Nivelación general

#### d. Colocación de yuguetas

Las yuguetas se utilizan para fijar las cuerdas con que se van a trazar las líneas de centro de paredes. Una yugueta se construye colocando dos estacas a una distancia aproximada de 80 cm una de otra y uniéndolas con un codal a nivel (figura 9.29). De utilizar madera, asegúrese que esté certificada, contribuyendo así al medio ambiente. En las esquinas o juntas de pared a la yugueta se le añade otra estaca y otro codal, de tal modo que se forme una escuadra.

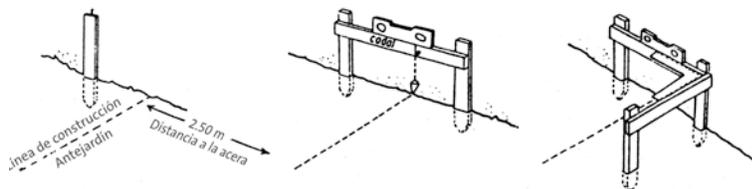


Figura 9.29 Colocación de yuguetas

Para armar la primera yugueta se puede aprovechar la misma estaca en que se había marcado el nivel general. Por lo tanto, estará ubicada en una de las esquinas del frente de la casa. La marca del nivel servirá, precisamente, para establecer la altura o nivel del codal de la yugueta.

Sobre los codales se colocan tres clavos: uno coincidiendo con el centro de pared y otros dos con las caras exteriores de las columnas. Los dos clavos exteriores deben quedar separados 12 cm o 14 cm, dependiendo de las columnas utilizadas. Los clavos servirán para amarrar las cuerdas del trazado.

Para este nivel de referencia a las yuguetas, se utiliza el nivel de manguera, el cual consiste en una manguera plástica transparente de 1,5 cm de diámetro y unos 8 m de largo.

Esta manguera se llena de agua hasta quedar sin burbujas y se sostiene manteniendo los extremos juntos a una misma altura para que el agua no se riegue. Si se baja cualquiera de los extremos, el agua saldrá hasta un nivel igual al del agua del otro extremo.

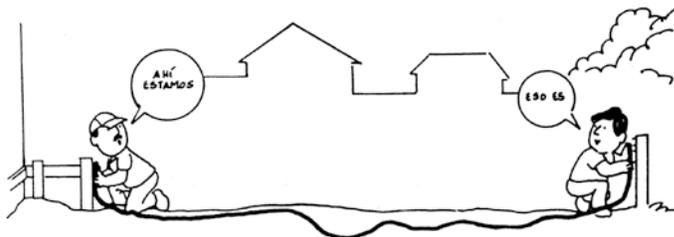


Figura 9.30 Traslado del nivel de referencia a las yuguetas

Aprovechando este principio, cuando se haga coincidir el nivel del agua en uno de los extremos con la marca de la estaca, se sabrá que en el otro extremo el agua tendrá el mismo nivel, sin importar la distancia a que se encuentre. De esta manera, se puede trasladar el nivel de la marca a cualquier punto del cuadrante de la casa (figura 9.30).

El siguiente paso será colocar yuguetas en las esquinas restantes, de manera que se pueda trazar el perímetro total de la casa (figura 9.31).

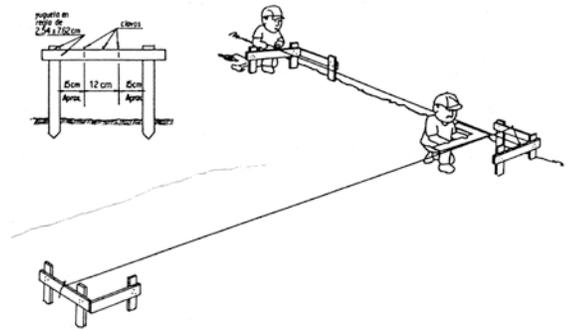


Figura 9.31 Colocación de yuguetas en esquinas restantes

#### e. Trazado interior

Demarcado ya el cuadrante de la casa se puede iniciar su trazado, lo cual se hace inicialmente, marcando en las cuerdas del perímetro los puntos por donde pasan los ejes o líneas de las paredes internas, todo de acuerdo con las medidas exactas especificadas en los planos constructivos.

Posteriormente, se colocan nuevas yuguetas junto a los puntos marcados y tirando cuerdas sobre ellos, las cuales se amarran de las yuguetas. Una vez trazadas todas las cuerdas interiores, que deben estar a escuadra con las del perímetro, se marcan sobre ellas los puntos donde terminan o doblan las paredes (figura 9.32).

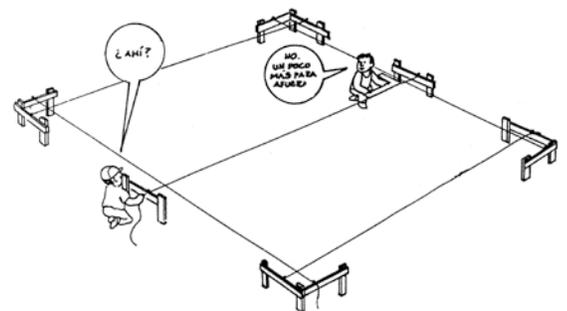


Figura 9.32 Trazado interior

#### f. Demarcación de huecos para columnas

Una vez trazada toda la casa, se marca en las cuerdas de centro de pared el sitio exacto donde irán las columnas, tomando en cuenta que la separación de centro a centro de las columnas tiene que ser igual a la longitud modular de las baldosas, es decir: 1,50m, 1,20m, 1,08m, etc., tal como se indica en los planos constructivos.

Se colocan estacas de madera semidura de 2,5 cm x 7,5 cm en los puntos marcados, señalando así los centros de los huecos que se deben excavar para empotrar las columnas.

Una vez que se han colocado todas las estacas de madera, se demarcan con una macana los huecos del ancho correspondiente (figura 9.33).

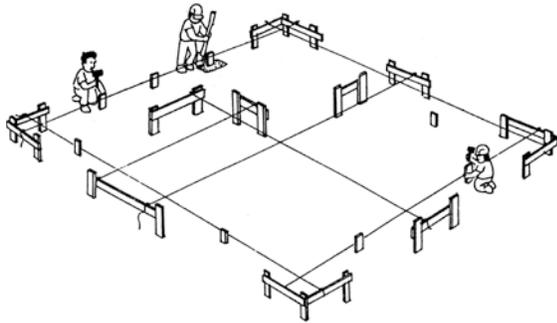


Figura 9.33 Demarcación de huecos para columnas

### g. Excavación de huecos para columnas

Se retiran las cuerdas y se inicia la excavación con pico y pala de los huecos demarcados anteriormente, hasta alcanzar una profundidad de 70 cm en el caso estándar. La tierra resultante debe echarse donde no estorbe las labores de construcción, lejos de la excavación para evitar que caiga y ensucie el hueco o, el concreto que se colocará para soportar la columna Prefa Holcim (figura 9.34).

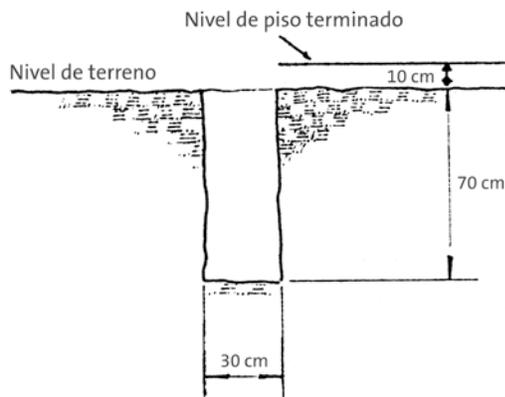


Figura 11.34 Excavación de huecos para columna

### h. Sello de concreto

Una vez excavados los huecos se coloca en cada uno de ellos el sello de concreto de 10 cm de espesor (figura 9.35).

Para la fabricación del concreto, se construye un cajón cuyas medidas internas libres deben ser 33 cm x 33 cm x 33 cm y que se utiliza para dosificar la mezcla.

El concreto a utilizar puede dosificarse de la siguiente manera:

- 1 caja de cemento gris.
- 2 cajas de arena.
- 4 cajas de piedra quebrada tamaño máximo de 12mm.

Puede también usarse concreto seco empacado, el cual debe prepararse agregando agua únicamente.

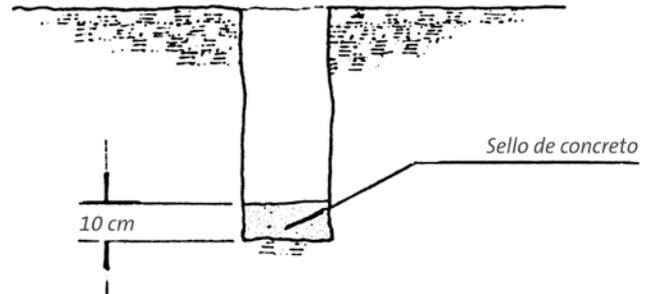


Figura 9.35 Colocación del sello de concreto

En la figura 9.36, se detalla cómo debe ser la fundación de las columnas cuando la profundidad requerida es mayor que la indicada anteriormente.

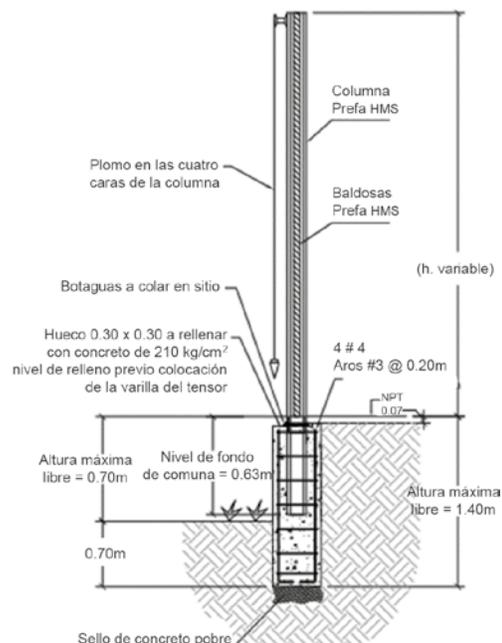


Figura 9.36 Detalle de fundación cambio de altura Sistema Prefa Holcim

### i. Colocación de las columnas esquineras

Una vez fraguado el sello de los huecos, se procede a colocar en su sitio las columnas. Puesto que las columnas Prefa Holcim de cada proyecto en específico corresponden exactamente al diseño arquitectónico y estructural escogido, es necesario colocarlas siguiendo estrictamente la distribución indicada en su plano constructivo, orientando correctamente la posición de las ranuras.

Lo primero que se hace es marcar todas las columnas a una distancia mínima de 2,45 m de su extremo superior para indicar el nivel de piso cuando estas miden 3,15 m de altura. El extremo superior es el que tiene la prevista o conexión roscada para la fijación de la solera.

El nivel de piso puede indicarse también marcando en las columnas 70 cm desde el extremo inferior o base, especialmente cuando las columnas son mayores a 3,15 m de altura (figura 9.37), y cuando el espesor del contrapiso sea de 10 cm incluyendo el acabado.

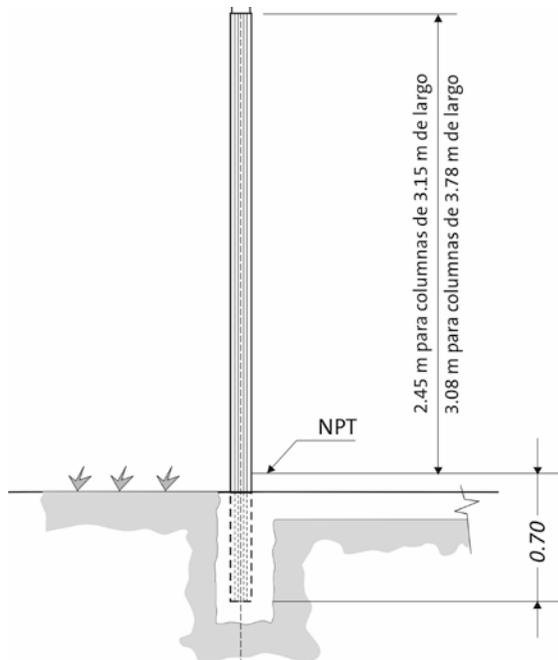


Figura 9.37 Colocación de columnas esquineras

Se colocan las columnas esquineras. Al introducirlas en los huecos es recomendable utilizar una tabla y una regla para mantener intactos los bordes del hueco y no llenar de tierra el sello.

Se colocan estas columnas esquineras a la distancia exacta entre ellas según los planos. Se procede entonces a verter el concreto y simultáneamente se alinean y se da plomo a las columnas, utilizando para ello las cuerdas de trazado y un nivel (figura 9.38).

Cuando se van a utilizar tapicheles Prefa Holcim o cuando existan desniveles y muros, se requiere utilizar columnas de diferentes tamaños las cuales vienen identificadas en los planos, se debe tener el cuidado suficiente para que queden colocadas siempre a las alturas correspondientes.

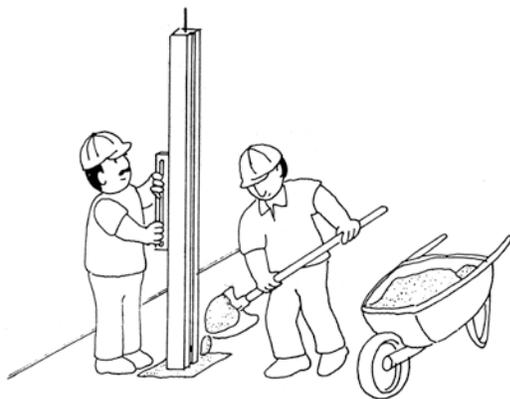


Figura 9.38 Alineamiento de columnas y colado de los dados de fundación

## j. Colocación de las columnas intermedias

Se unen ahora las columnas esquineras entre sí con una cuerda superior y una cuerda inferior. Esto permitirá colocar las columnas intermedias completamente a plomo en un sentido y con la ayuda de un nivel se puede plomarlas en el otro sentido. Así mismo esto permite el alineamiento perfecto de las columnas intermedias con las columnas esquineras.

Se repite este procedimiento hasta dejar instaladas todas las columnas de la casa (figura 9.39), puesto que existen algunas columnas especiales, que llevan incorporadas las instalaciones eléctricas o mecánicas, es muy importante identificarlas claramente y colocarlas de acuerdo con la distribución indicada en los planos constructivos.

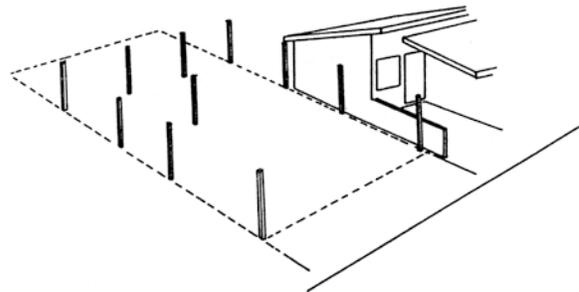


Figura 9.39 Colocación de columnas intermedias

## k. Ménsula de apoyo para baldosas inferiores

Se debe revisar siempre que todas las ménsulas estén a un mismo nivel para permitir el alineamiento de las baldosas superiores y su ajuste con la solera. Esta revisión permite además chequear de nuevo el nivel de piso terminado (N.P.T.) indicado y marcado en cada columna (figura 9.37) el cual puede quedar aproximadamente 5,0 cm por arriba de la ménsula en caso de que el espesor del contrapiso sea de 7,5 cm, incluyendo el acabado.

NOTA: en todo caso, siempre el nivel de piso terminado (N.P.T.) predefinido es una referencia para la altura final entre el piso acabado y el cielo raso de la obra. Lo importante es conocer el tipo de acabado que tendrá el piso (lujado, cerámica, terrazo, etc.) para conocer los espesores de losa y del relleno que se van a usar a partir de ese N.P.T.

## l. Proceso de colocación de los tensores de fundación

Se debe excavar una zanja para el tensor perimetral con dimensiones de 10 cm x 10 cm a la cual se le coloca una formaleta perimetral o lateral con el fin de posicionar la varilla #3 grado 60. Una vez instalada la varilla se vierte el concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  (figura 9.19).

## m. Colocación de las baldosas

Usando un pequeño andamio o tarima de 1 x 2 m por 1.6 m de alto, se colocan las baldosas entre las columnas. Para ello se requieren dos personas en el andamio y dos abajo, para acarrear y luego sostener estas cuando se deslizan hacia abajo. Las baldosas no se deben dejar caer por las ranuras, pues pueden sufrir despuntes o fracturas (figuras 9.40 y 9.41).



Figura 9.40 Colocación de baldosas en sitio

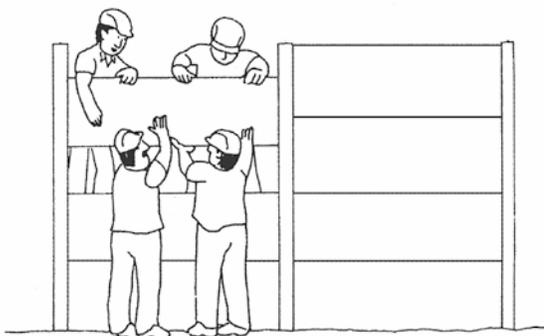
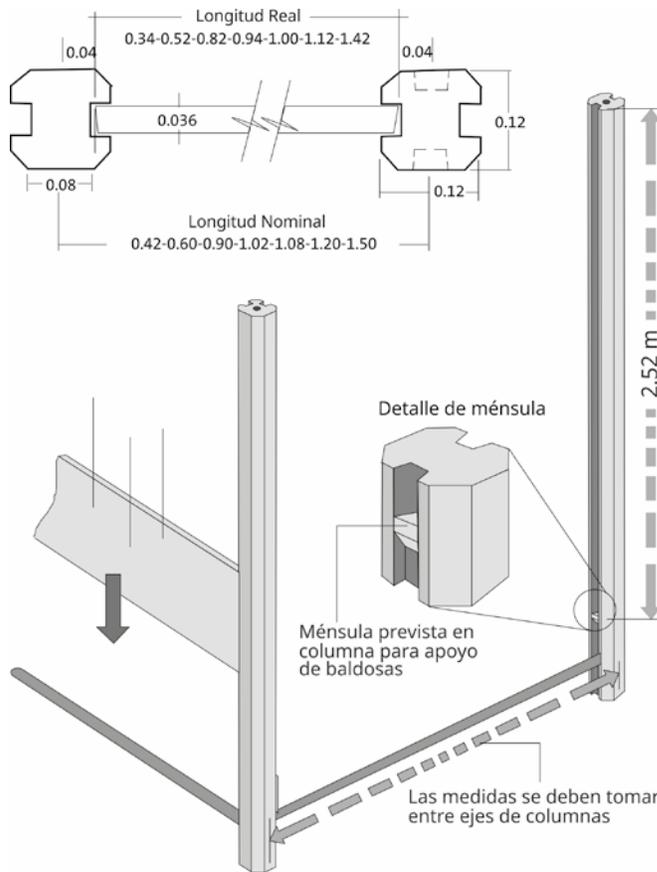


Figura 9.41 Esquema de colocación de baldosas

## n. Cargadores

Se tiene ahora la opción de colocar baldosas de 31 cm de ancho como cargadores (parte superior) para puertas o ventanas y como banquetas (parte inferior) para las ventanas.

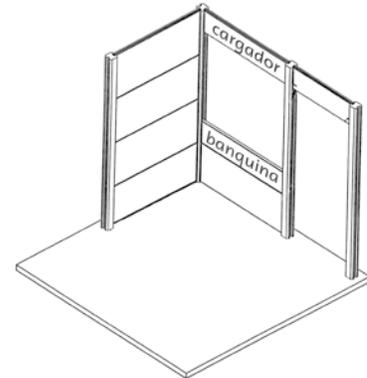


Figura 9.42 Colocación de baldosas cargador

Cuando se utilicen como cargadores, se debe colocar un pin de 6 mm (1/4") de diámetro y conectarlo a manera de pasador. De esta forma estamos logrando la fijación de estas baldosas sin necesidad de utilizar otros elementos.

## o. Colocación de tapicheles Prefa Holcim

Si se selecciona un modelo con tapicheles de concreto, las paredes laterales están conformadas por columnas de diferentes alturas, donde se colocarán los tapicheles.

Estos se colocan de forma similar a las baldosas, ubicando cada pieza en su lugar de acuerdo con lo que indica el plano constructivo (figura 9.43).

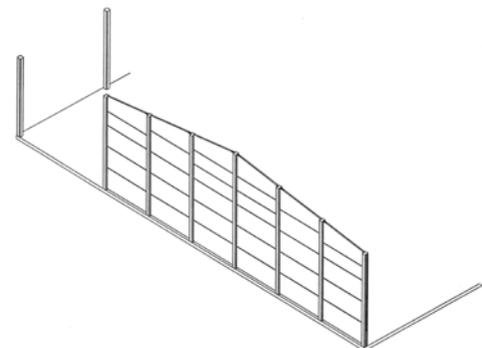


Figura 11.43 Colocación de tapicheles

## p. Colocación de la solera

Se fija la solera metálica o de madera por medio de una arandela a un perno de 1,6 cm (5/8") de diámetro el cual a su vez se une a una prevista roscada en la parte superior de la columna (figura 9.44). Se debe guardar especial cuidado a los detalles de unión y traslape entre elementos cuando se requieran.



Figura 9.44 Fijación de viga solera

#### q. Relleno de sisas horizontales y juntas verticales

Tanto las uniones verticales entre columnas y baldosas, como las sisas horizontales entre baldosas, deben rellenarse por la cara externa como por la interna con morteros. Se recomienda el uso de morteros empacados antes que el mortero preparado en sitio porque los primeros cuentan con aditivos que garantizan la adherencia y plasticidad requeridas para un buen mortero de relleno. Además, han sido dosificados industrialmente y bajo estrictos controles de calidad. Es indispensable dosificar con la cantidad de agua recomendada por el fabricante y seguir sus instrucciones para la aplicación y el curado.

Para lograr un mejor resultado coloque cuñas de madera desde el exterior entre la baldosa y la columna, para asegurar un alineamiento perfecto de las baldosas, luego inicie el proceso de relleno de juntas (figura 9.45).

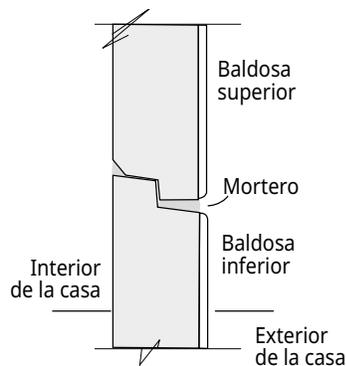


Figura 9.45 Relleno de sisas horizontales

Opcionalmente se puede preparar un mortero en la obra si se cuenta con una arena limpia y de buena calidad. Una posible dosificación volumétrica sería una parte de cemento por cada parte de arena.

El uso de un adherente mejorará la calidad del mortero, sin embargo, se recomienda consultar con un profesional para obtener la mejor dosificación con el cemento y la arena que tengan disponible en la obra.

El mortero de relleno debe ser lanzado y no untado, para lograr una mejor penetración de este en las sisas. Así mismo, debe ser curado para evitar que se pulverice, dejarse secar unos 30 minutos y luego recortar el sobrante con llaneta.

#### r. Murete o bordillo exterior de concreto

Finalmente, se debe hacer en la parte inferior de todas las paredes exteriores un bordillo de concreto para evitar cualquier filtración de agua al piso o contrapiso (figura 9.46).

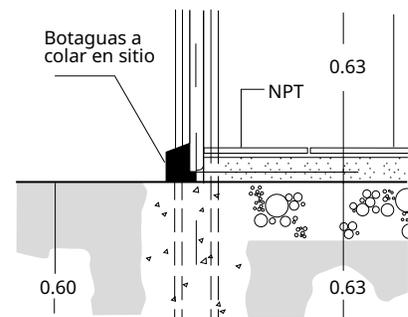


Figura 9.46 Bordillo para evitar infiltraciones

#### s. Acabado de paredes

Aunque el acabado de las baldosas y columnas Prefa Holcim es muy liso y de buena apariencia, se les puede dar un terminado con un revestimiento de buena calidad. Para esto le recomendamos seguir las instrucciones del fabricante del revestimiento.

Sin embargo, las paredes pueden ser repelladas fácilmente. Para esto es aconsejable usar algún producto adhesivo antes de aplicar el repello sobre las paredes.

En general, las soluciones de acabado de paredes son todas aquellas que existan en el mercado:

- Repello con mortero de cemento y arena fina
- Repello con mortero empacado.
- Masillado a base de cal y cemento
- Revestimientos de buena calidad
- Estucos
- Cualquier tipo de impermeabilizantes químicos preparados y existentes en el mercado.

## t. Recomendaciones para la aplicación de acabados

Antes de aplicar cualquier material de acabado se deben tener en cuenta algunas de las siguientes recomendaciones:

- Todas las uniones verticales entre columnas y baldosas y las uniones horizontales entre baldosas deben llenarse con mortero.
- La pared debe estar libre de polvo, grasa, tierra o cualquier otro material contaminante que pueda afectar la adherencia final del material aplicado como acabado de la pared.
- Según el tipo de acabado que se utilice, en algunos casos se necesitará emplear algún tipo de aditivos para mejorar la adherencia, los cuales deben aplicarse con los cuidados necesarios y siguiendo siempre las recomendaciones de los fabricantes.

Cuando se desee dar un acabado a base de mortero cementicio, es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- Se debe emplear un aditivo que mejore la adherencia entre la superficie de las baldosas y el mortero de repello. Este debe ser aplicado directamente a la pared según instrucciones del fabricante.
- Es importante utilizar la cantidad de agua recomendada por el fabricante del mortero y evitar el uso de agua adicional, para no disminuir la resistencia ni la adherencia del mismo.
- Se debe realizar un curado óptimo del repello según las instrucciones del fabricante, para garantizar un mejor desempeño.

Cuando se utilicen masillas a base de cal, se debe poner a apagar la cal con un mínimo de 72 horas antes de mezclar con el cemento. La masilla puede aplicarse con llaneta o con plancha y luego esponjear para obtener un buen acabado. Se recomienda que la masilla para aplicar con plancha se prepare así:

- 1 litro de adherente
- 3 litros de agua
- 3 baldes de cal apagada
- 1 balde de cemento
- ½ balde de arena zarandeada

NOTA: el balde utilizado en construcción tiene una capacidad aproximada de 6L.

Si el acabado empleado es un revestimiento como algún estuco o similar, la pared Prefa debe humedecerse bien, aplicando el revestimiento con un espesor mínimo de 3 mm en forma continua y sin cortes bruscos para evitar la variabilidad de colores en una misma área (mapeo).

Para un buen acabado final, es necesario nivelar o emparejar la superficie por medio de plancha de madera. Es necesario mantener el curado del revestimiento aplicado según las recomendaciones del fabricante.

En resumen, el éxito del acabado aplicado va a depender mucho del seguimiento que se haga de todos los procesos que indiquen los fabricantes para el acabado ya preparado.

## 9.6 Almacenamiento y manipulación

Antes de iniciar los trabajos de construcción de la casa, se debe estar preparado para recibir y acomodar adecuadamente el material Prefa Holcim a utilizar en la obra. Así se evitarán despuntes o fracturas de los elementos. Para ello, se recomienda seguir estas instrucciones:

- Es necesario acondicionar un espacio en el lote para colocar el material Prefa Holcim. Este espacio debe escogerse de tal manera que permita una descargada rápida y segura del material y que sea acomodado de forma tal que no estorbe la realización de los trabajos siguientes ni la circulación del personal.
- Las baldosas deben almacenarse de canto sobre piezas de madera semidura de 5 cm x 10 cm, con soportes verticales adecuados en los extremos (figura 9.47).

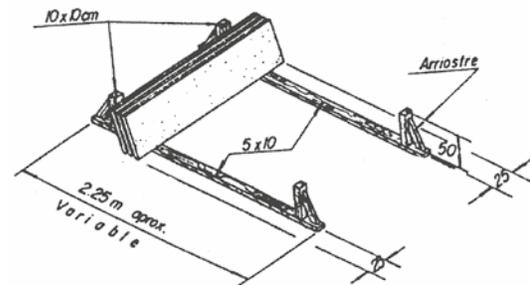


Figura 9.47 Almacenamiento de baldosas

- Las columnas deben ser descargadas cuidadosamente del camión, de manera que no sufran golpes. Deben ser transportadas por dos personas y colocarse consecutivamente sobre piezas de madera semidura alineadas de 5 cm x 10 cm y hasta una altura máxima de 5 camos de columnas (figura 9.48). No es recomendable que las columnas se almacenen encima de las baldosas, porque posiblemente se provocarán despuntes en el material.

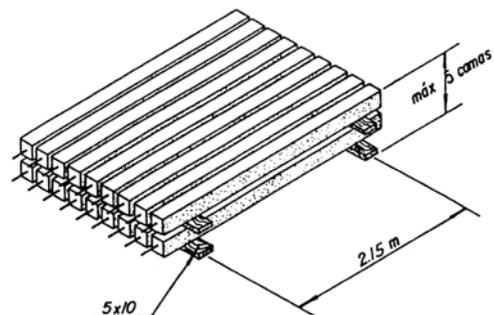


Figura 9.48 Almacenamiento de columnas

Las baldosas deben transportarse y manipularse siempre de canto y para acarrearlas de un lugar a otro se debe hacer por dos personas, y nunca de manera horizontal (figura 9.49).

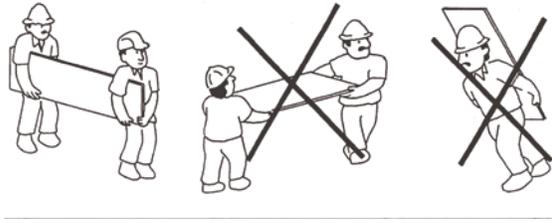


Figura 9.49 Correcta manipulación de las baldosas



## CAPÍTULO 10

# NAVES INDUSTRIALES

**Las naves industriales y bodegas constituyen un sistema de construcción prefabricada para el techado y cerramiento de grandes áreas, usualmente destinadas al almacenamiento o como instalaciones de todo tipo (por ejemplo, supermercados).**

El sistema constructivo es sumamente flexible y está diseñado para proyectos de más de 1000 m<sup>2</sup>. Sus grandes claros entre columnas (hasta 31 m en los marcos principales y 12 m en los marcos de amarre) permiten espacios interiores muy amplios, logrando así una distribución de planta muy extensa y funcional. Si el proyecto lo requiere, se pueden construir naves industriales con luces entre columnas aún mayores.

Los sistemas prefabricados para naves industriales y bodegas se basan en la prefabricación independiente y el ensamble en sitio de diversos elementos de concreto de gran tamaño y con un diseño estructural altamente optimizado. La estructura primaria está constituida por largueros de concreto preesforzado, vigas de carga de techo postensadas de hasta 31 m de luz entre columnas, vigas de amarre de techo, vigas canoa, columnas y placas de fundación prefabricadas.

Además, se emplean tensores de varilla en el techo para conformar un diafragma flexible. Las naves industriales y bodegas pueden cerrarse empleando paneles estructurales y no estructurales, según se requiera por razones estructurales, arquitectónicas o funcionales.

Si es necesario, también se pueden utilizar otros componentes prefabricados, tales como fundaciones de pilotes, muros de retención para andenes y mezzanines o entrepisos.

Mediante un apropiado análisis estructural se puede identificar la idoneidad de integrar dichos subsistemas a la estructura primaria de las naves, para evitar la construcción de más placas y columnas de las requeridas.

Para detalles acerca de los subsistemas de pilotes, entrepisos, paneles de cerramiento y

muros de retención, se recomienda revisar los capítulos 3, 6, 7 y 8, respectivamente. Este capítulo se centra en la descripción de la estructura primaria del sistema de naves industriales y bodegas. Se presentan también ayudas para el diseño y especificación, así como recomendaciones para el almacenaje de las piezas y el proceso de construcción.

Los elementos que conforman los sistemas para naves industriales tienen todas las ventajas que ofrece la prefabricación:

- Ahorro de formaleta
- Reducción de mano de obra
- Reducción del plazo constructivo, así como de los costos financieros y administrativos asociados
- Estrictos estándares de calidad y mayores controles de proceso que permiten el uso rutinario de materiales de alto desempeño, tales como concretos de alta resistencia (CAD) de hasta  $f'c = 700$  kg/cm<sup>2</sup> para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez; concretos autocompactantes (CAC), para la mejora de los acabados, etc.
- Uso rutinario del concreto preesforzado para la solución económica de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: vigas de grandes luces, grandes voladizos, reducción de secciones, control de agrietamiento y control de rigidez.

Las conexiones entre los componentes prefabricados de las naves industriales pueden realizarse de acuerdo con los cuatro tipos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011), en su capítulo 12 “Estructuras y componentes prefabricados de concreto”. No obstante, el sistema ha sido concebido para que las conexiones entre los elementos estructurales sean del tipo húmedo, de tal manera que se cuente con un comportamiento monolítico y redundante (para más detalles, véanse los tipos de conexiones en el capítulo 13, sobre sistemas para edificios).

Holcim Modular Solutions también ofrece soluciones de naves industriales para casos especiales, en los que la operación y el funcionamiento requieren de claros mayores entre columnas. Con algunas variaciones al sistema y utilizando conexiones postensadas, se pueden alcanzar luces de hasta 36 m entre columnas.

Mediante el empleo de vigas I, se han construido instalaciones de hasta 50 m de luz, además de pendientes mayores en los techos y conexiones postensadas.



Figura 10.1 Nave industrial Abopac, récord nacional en concreto, por sus luces de 50 metros

## 10.1 Materiales

- **Concreto:** el concreto utilizado en la planta de Holcim Modular Solutions tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 280 kg/cm<sup>2</sup> para fundaciones reforzadas y de 350 kg/cm<sup>2</sup> para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos pretensados, la resistencia a los 28 días es de 700 kg/cm<sup>2</sup> con excepción de la Losa Lex, que tiene una resistencia mínima a la compresión de 420 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Cemento:** el cemento cumple con la especificación INTE C147 y del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agregados:** los agregados cumplen con la especificación ASTM C33.
- **Refuerzo:** el acero de preesfuerzo cumple con la especificación ASTM A615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

## 10.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010). (2011). Establece las cargas vivas mínimas, los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados y edificaciones.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). Establece los requisitos de diseño geotécnico de las cimentaciones.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, torsión, tensión y cortante.
- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 37-02)
- Manual de Diseño del Instituto del Concreto Prefabricado (PCI Handbook) edición 2014, Chicago, Illinois, USA.

## 10.3 Criterios para uso y especificación

### Concreto reforzado y concreto preesforzado

Los sistemas prefabricados para naves industriales hacen uso extensivo de la tecnología del preesforzado para la solución de los problemas de ingeniería. Algunos componentes, como las vigas de techo, los largueros de techo, las vigas de entpiso, los paneles de cerramiento y los entpisos, utilizan de rutina el acero preesforzado para:

- Control de deflexiones
- Control de agrietamiento
- Reducción de las secciones y del peso
- Incremento de la rigidez
- Una combinación de los anteriores

Existen diversas filosofías para el diseño de elementos del concreto preesforzado, pero la más usual consiste en garantizar que las secciones no presenten agrietamiento por flexión para las cargas de servicio.

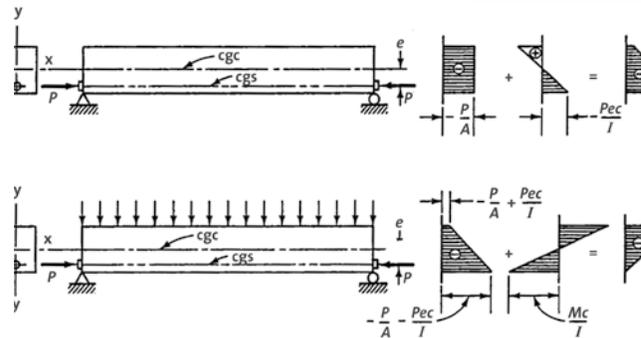


Figura 10.2 Diseño sin agrietar de elementos pre-esforzados para cargas de servicio

Esto tiene importantes implicaciones en la economía de las soluciones y en los supuestos de los métodos de análisis estructural. Una primera consideración es que en el análisis estructural para cargas gravitacionales será apropiado usar en vigas el momento de inercia de la sección sin agrietar ( $I_g$ ). Para el análisis sísmico por los métodos estático o dinámico puede usarse un momento de inercia de alrededor de  $0,80 I_g$ , con el objeto de tomar en cuenta que existe agrietamiento localizado en las zonas de rótulas plásticas.

Con relación a la rigidez, es importante mencionar que los concretos de los componentes preesforzados usualmente tendrán resistencias a los 28 días superiores a los concretos normales, en el orden de 420 a 700 kg/cm<sup>2</sup>. El módulo de elasticidad del concreto debe ser empleado en forma apropiada en el análisis estructural.

El uso del preesfuerzo en los sistemas de naves industriales permite la solución económica de espacios con grandes luces o grandes voladizos, que de otra forma presentarían deflexiones significativas si se resuelven con concreto reforzado convencional.

### Vigas de techo y pendientes de techo

Las vigas de techo, que pueden ser de alma abierta o cerrada, son sumamente esbeltas debido al uso del concreto preesforzado y poseen

un alto valor estético. Cuando son de alma abierta facilitan a la vez las instalaciones eléctricas y mecánicas. Estas vigas soportan los largueros preesforzados de sección "T", que a su vez soportan la cubierta metálica (que por lo general es de canaleta estructural o sistemas similares con o sin capas de aislante térmico). Dependiendo de la capacidad hidráulica y juntas del sistema de cubierta empleado, se puede trabajar con pendientes de techo de entre un 6 % y un 14 %. Si se emplea el sistema con vigas de alma abierta, se requiere fijar la pendiente a un 14 %. La cubierta de techo descansa en sus puntos más bajos en vigas canoa, que cumplen una doble función como canoas y como vigas de amarre del sistema estructural.

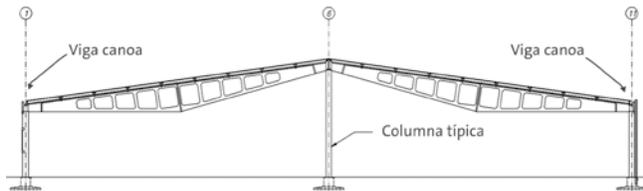


Figura 10.3 Marco típico con vigas de alma abierta y pendiente del 14% en techos

### Conexiones viga-columna

Holcim Modular Solutions ha demostrado, mediante pruebas estructurales de nudos viga-columna realizadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), que las uniones viga-columna con base en elementos prefabricados detalladas adecuadamente pueden alcanzar ductilidades iguales o superiores a las estructuras coladas en sitio, con niveles de daño consistentemente menores. La experiencia a nivel mundial respalda estos resultados.



Figura 10.4 Prueba estructural de nudo viga-columna

En el caso de las naves industriales de la empresa, el diseñador puede emplear ductilidades globales como las especificadas por el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) para estructuras de concreto reforzado.

El buen comportamiento de las conexiones sencillas en concreto contrasta con el complicado detallado que se requiere para garantizar conexiones apropiadas en sistemas compuestos por elementos de acero estructural. Es fundamental rigidizar el diafragma flexible de techo mediante tensores de techo.

### Diafragmas de entrepiso

Cuando se proyectan mezzanines, es importante tomar en cuenta que los diafragmas compuestos por entrepisos prefabricados y sobrelosa colada en sitio pueden ser considerados diafragmas rígidos. Como en todo diafragma, su resistencia debe ser verificada con los métodos establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) o en el ACI 318S-14.

## 10.4 Ayudas de diseño para naves industriales

### Tipologías constructivas básicas

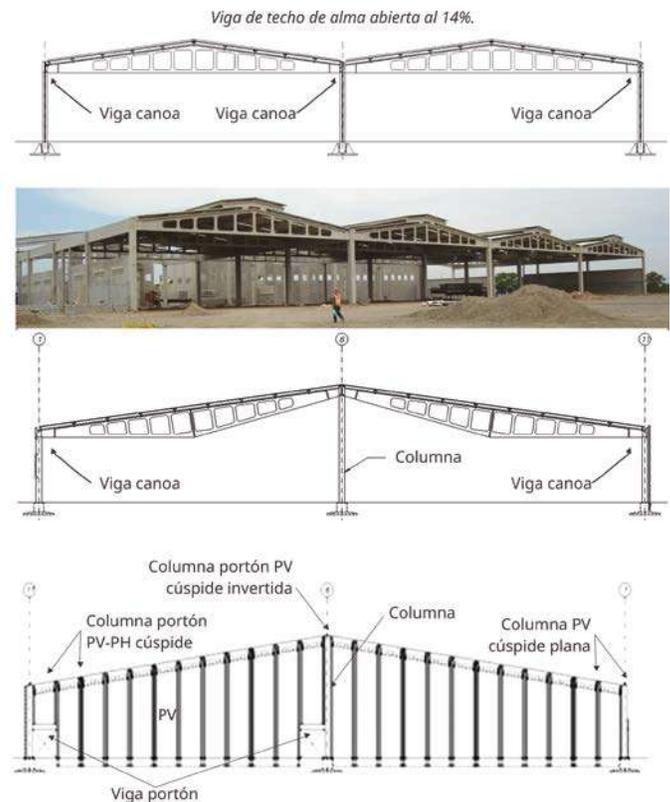


Figura 10.5 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m



Figura 10.6 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma abierta en colocación invertida y paneles verticales de cerramiento en los ejes externos



Figura 10.7 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma llena invertida y Lex-panel como cerramiento en los ejes de amarre

A continuación, se presentan los principales elementos que conforman el sistema de naves industriales, con ayudas de diseño y detalles pertinentes para la proyección de estructuras.

### Placas de fundación

Las placas de fundación son elementos capaces de transmitir las cargas axiales, los cortantes y los momentos flectores al suelo. Se fabrican en sección variable de 15 cm a 30 cm de espesor. Sus dimensiones se han estandarizado y se muestran en la figura 10.8.

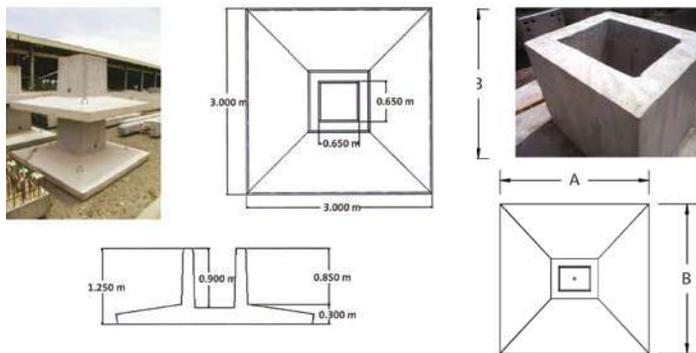


Figura 10.8 Dimensiones de placas de fundación

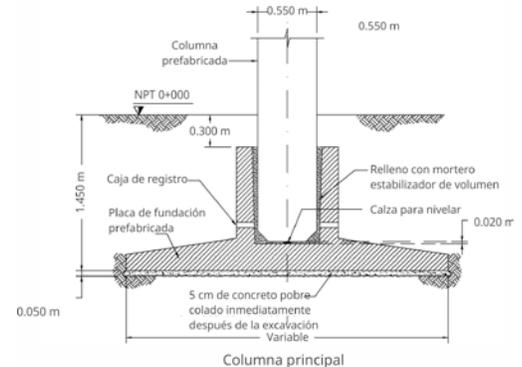
Tabla 10.1 Geometrías disponibles para la loza de la placa				
A (m)	B (m)	Ap (m²)	S1 (m³)	S2 (m³)
1.80	1.80	3.24	0.97	0.97
2.10	2.10	4.41	1.54	1.54
2.40	2.40	5.76	2.30	2.30
2.70	2.70	7.29	3.28	3.28
3.00	3.00	9.00	4.50	4.50
2.10	2.40	5.04	1.76	2.02
2.40	2.70	6.48	2.59	2.92
2.70	3.00	8.10	3.65	4.05

Ap = Área de la placa S1 = Módulo de sección, dirección corta  
S2 = Módulo de sección, dirección larga

**Advertencia:** Las tablas y figuras siguientes constituyen ayudas de diseño para el dimensionamiento preliminar. Es responsabilidad del diseñador estructural la revisión de demandas ante carga laterales de viento y sismo, así como la verificación de los desplazamientos laterales permitidos. Entre sus opciones, el diseñador puede incorporar al sistema paneles verticales que actúen como muros estructurales prefabricados en aquellos puntos donde lo juzgue apropiado.

En las naves industriales de concreto es usual y conveniente que los apoyos al terreno sean empotrados. Por lo tanto, se requiere una conexión de momento entre las columnas y las placas de fundación, que se logra a través de un manguito o especie de candelerero previsto en la placa en el que se inserta la columna. La junta se llena con concreto fluido al que se le adiciona un aditivo estabilizador de volumen. Alternativamente, puede emplearse una conexión húmeda ciega (capítulo 11, sobre edificios prefabricados).

Las dimensiones B x L de las placas de fundación dependerán de la capacidad soportante del suelo y de las fuerzas que transmite la estructura. Serán críticas las combinaciones de carga que induzcan altas cargas axiales, altos momentos flexionantes en combinación con altas cargas axiales y altos momentos flexionantes en combinación con bajas cargas axiales (volteo).



Columna principal

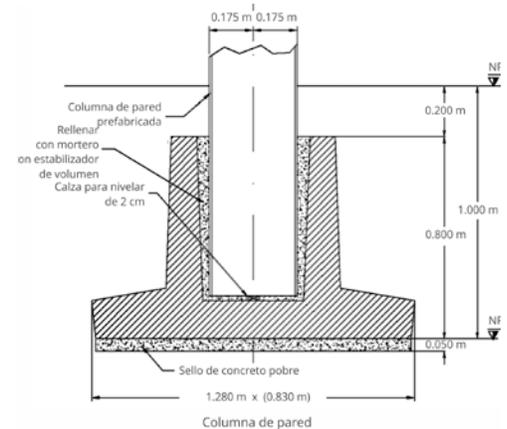


Figura 10.9 Detalle típico de fundación con placa prefabricada para nave industrial

Una vez establecidas las dimensiones de las placas, se puede usar la tabla 10.2 para determinar si las placas estándar pueden resistir las fuerzas internas de: a) flexión de la losa, b) cortante en la losa y c) capacidad por punzonamiento. En caso de que la capacidad a flexión sea insuficiente, pueden construirse placas con mayores cuantías de acero longitudinal. En naves industriales rara vez se controlan los criterios de punzonamiento.

Tabla 10.2 Capacidades de las placas estándar					
Sección de la columna	Ancho externo del manguito (cm)	Largo externo del manguito (cm)	Capacidad máxima a flexión de la losa $\phi M_n$ (T-m/m)	Capacidad a cortante por punzonamiento $\phi V_n$ (Ton)	Capacidad máxima a cortante de la losa $\phi V_n$ (Ton/m)
40 x 40	80	80	9.28	122	14.5
40 x 55	80	95	9.07	128	14.1
55 x 55	95	95	9.07	136	14.1

*La resistencia de las placas es de  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Las capacidades a flexión y cortante de la losa se dan en la cara del manguito. Se emplean factores de reducción de carga de 0,9 para flexión y 0,75 para cortante. El espesor de la placa y su refuerzo corresponden al diseño estándar.*

### Columnas

Las columnas pueden considerarse como elementos de ductilidad local moderada u óptima. La unión con la viga de techo y con las vigas de amarre constituye una conexión húmeda según el apartado 12.4b del CSCR-2010.

Las columnas de naves industriales con frecuencia tienen cargas axiales bajas, por lo que se comportan esencialmente como vigas, según la definición del CSCR-2010. Las dimensiones de las columnas están sobre todo por aspectos constructivos (dimensiones mínimas del nudo para la instalación de las vigas) y por las limitaciones a los desplazamientos laterales producidos por las acciones sísmicas.

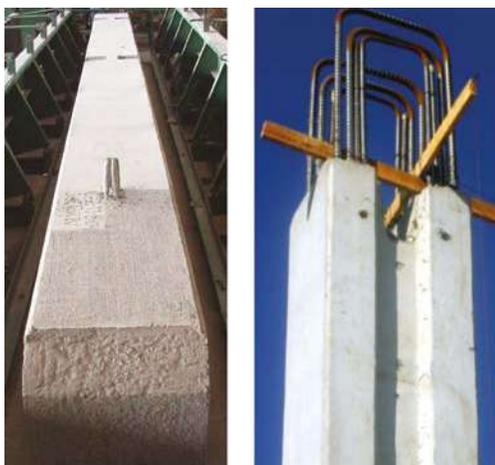


Figura 12.10 Columnas llenas sin llaves y columnas sección I (con llaves)

Como cada vez son más frecuentes las altas cargas de techo, en la figura 10.11 se presentan diagramas de interacción para columnas de 40 x 40 cm, 40 x 55 cm y 55 x 55 cm de sección llena. Cuando se emplean paneles horizontales no estructurales, las columnas se fabrican con una llave que permite la inserción de estos elementos.

Estos diagramas de interacción pueden usarse en forma segura para predecir la capacidad a flexión de columnas con llaves (sección I), si las cargas axiales son bajas. Cuando se comporten como columnas, rara vez se requerirán cuantías de acero superiores al 1-2 %.

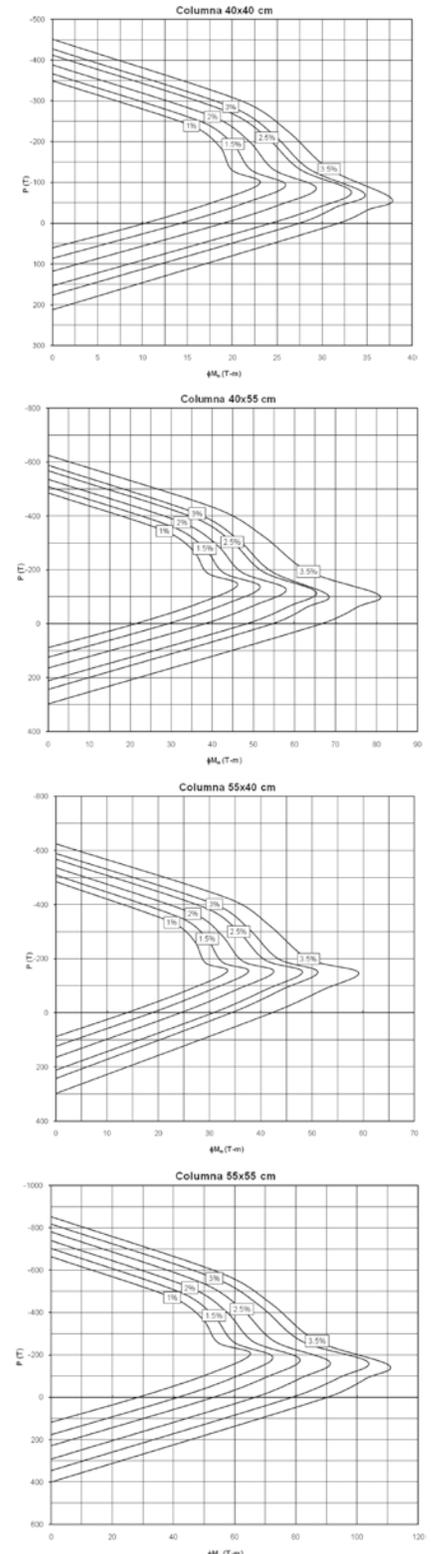


Figura 10.11 Diagramas de interacción para columnas según cuantía de acero

Las columnas pueden construirse con ménsulas para el soporte de vigas que permiten el tránsito de grúas viajeras. Las secciones estándar de columna se muestran en la tabla 10.3.

Tabla 10.3 Secciones estándar de columnas							
Elemento	Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación		
		Área transversal $A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Inercia $I_{xx}$ (cm <sup>4</sup> )	Ubicación del centroide $Y_c$ (cm)	Resistencia a compresión $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso por metro lineal (kg/m)	
Columnas (C)	0.40 x 0.55 m		2200	$I_{xx} = 5.55 \times 10^5$	$x_c = 20.0$	350	550
				$I_{yy} = 2.93 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	0.55 x 0.55 m		3025	$I_{xx} = 7.63 \times 10^5$	$x_c = 27.5$	350	756
				$I_{yy} = 7.63 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	De pared		700	$I_{xx} = 7.15 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	175
				$I_{yy} = 2.33 \times 10^5$	$y_c = 17.5$		
		502	$I_{xx} = 6.70 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	126	
			$I_{yy} = 1.30 \times 10^5$	$y_c = 17.5$			

Dependiendo de la tipología constructiva (con viga de techo colocada normalmente o en forma invertida), las columnas pueden tener una cúspide plana o una cúspide invertida, como se muestra en la figura 10.12.

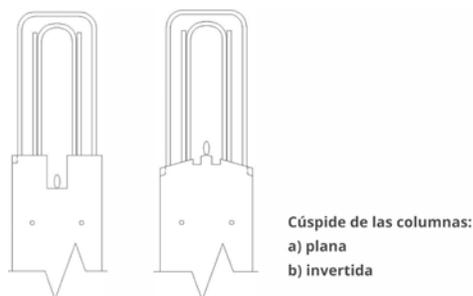
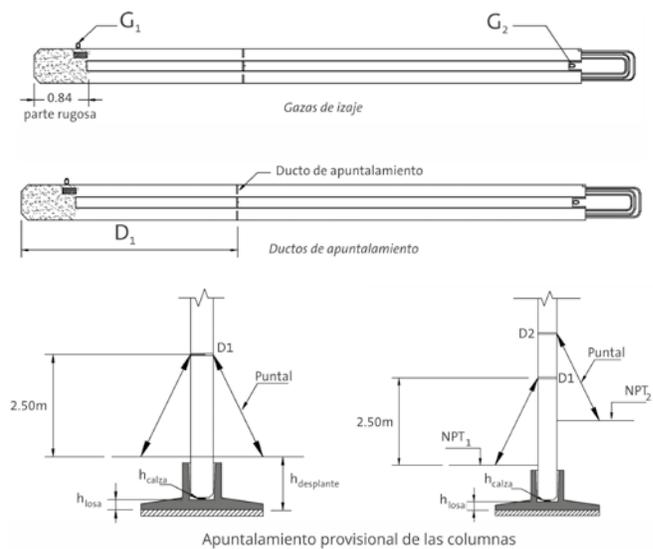


Figura 10.12 Cúspide de las columnas

En la figura 10.13 se presentan los accesorios estándar para columnas: gazas para el izaje y ductos u otros dispositivos para el apuntalamiento temporal.



Las posiciones de los ductos y gazas son establecidas según se requiera en el proyecto específico, e indicadas en los planos de taller de las columnas

Figura 10.13 Accesorios para izaje y apuntalamiento provisional de las columnas

El acabado de las columnas es rugoso en la base, para mejorar la adherencia entre ellas y el concreto de relleno de los manguitos de las placas prefabricadas.



Figura 10.14 Acabado rugoso de la base de la columna

### Vigas de techo de alma abierta

La viga de techo de alma abierta es un elemento muy versátil y eficiente desde el punto de vista estructural y tiene un gran valor estético.

Las vigas de techo se pueden disponer en diferentes orientaciones, según las necesidades de cada proyecto. Puede colocarse en posición normal o en forma invertida, de tal manera que se eliminen las canoas internas o se reduzca su cantidad. Siempre se emplea una pendiente de techo de un 14 % cuando el alma es abierta.

En caso de ser necesario, debido al uso mixto de las instalaciones u otras razones, las vigas pueden ser rellenas. En este caso, y si la lámina de techo seleccionada lo permite, pueden utilizarse pendientes de techo aún menores.



Figura 10.15 Viga de techo de alma abierta (Virendel)

Tabla 10.4 Geometría de los elementos de viga de techo alma abierta						
Cuerda superior					Cuerda inferior	
Ancho ala (m)	Espesor alma (m)	Altura ala (m)	Altura en transición (m)	Altura total (m)	Ancho (m)	Altura (m) 0.20 y 0.30
0.50	0.12	0.08	0.05	0.35		

La viga de alma abierta permite resolver luces desde los 18 m hasta los 31 m. Las geometrías de este tipo de vigas se muestran en las tablas 10.5 y 10.6. Para luces superiores a los 24 m se utilizan bracones para la estabilización lateral de la cuerda inferior (figura 10.16). La cuerda inferior de la viga de techo se postensa antes del montaje y se diseña para que se mantenga sin agrietamiento, incluso para las cargas del servicio.

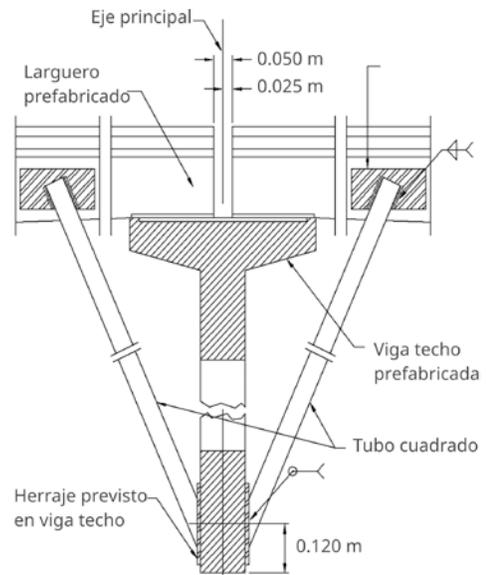


Figura 10.16 Detalle de instalación de bracones al centro del claro para luces mayores que 24 m

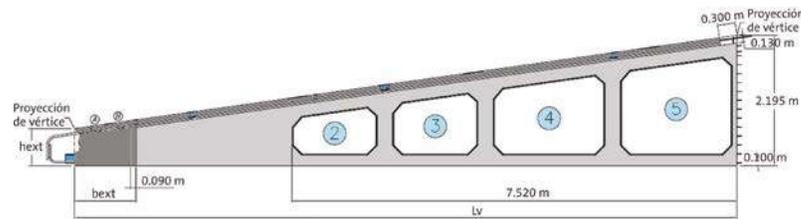
Las vigas de techo usualmente se transportan en mitades y son ensambladas y postensadas en sitio, como se muestra en la figura 10.17.

La viga de techo de alma abierta posee varillas de refuerzo en los extremos, según sea necesario, para realizar una conexión húmeda con las columnas como se muestra en los detalles de conexión de la figura 10.19.

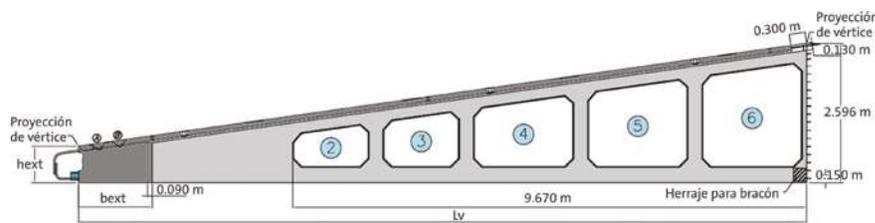
**Tabla 10.5 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición normal**

Se consideran a) una junta central de 20 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

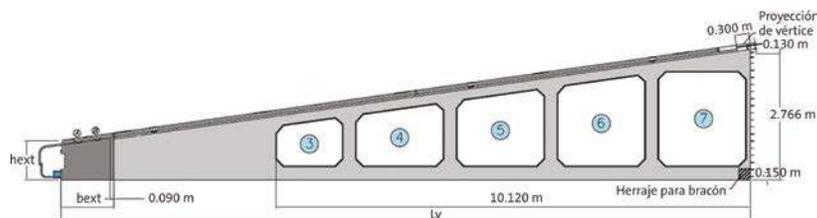
Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.195	20	0.20	19.45	9.7	0.837	0.415
		21	0.20	20.45	10.2	0.767	0.915
		22	0.20	21.45	10.7	0.697	1.415
		23	0.20	22.45	11.2	0.627	1.025



Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.30	23.45	11.7	0.837	0.415
		25	0.30	24.45	12.2	0.767	0.915
		26	0.30	25.45	12.7	0.697	1.415
		27	0.30	26.45	13.2	0.627	1.025
		28	0.30	27.45	13.7	0.678	1.375



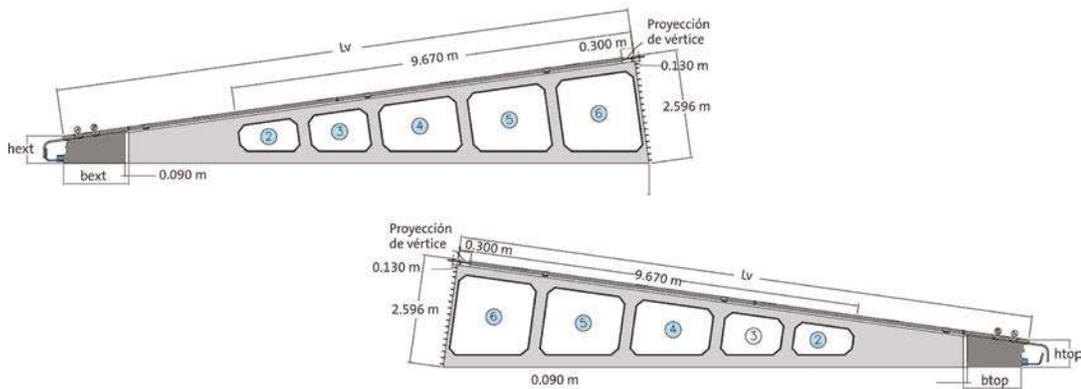
Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.766	29	0.30	28.45	14.2	0.778	0.63
		30	0.30	29.45	14.7	0.708	1.13
		31	0.30	30.45	15.2	0.638	0.63



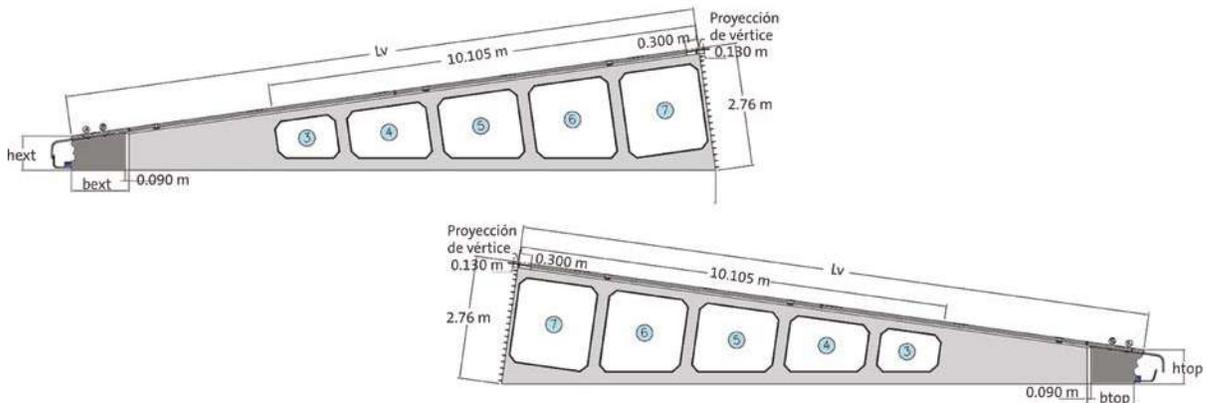
**Tabla 10.6 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición invertida**

Se consideran a) una junta central de 10 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.20	23.68	11.81	0.831	0.449	0.831	0.211
		25	0.20	24.69	12.32	0.761	0.949	0.761	0.731
		26	0.30	25.70	12.82	0.791	1.449	0.791	1.223
		27	0.30	26.71	13.33	0.721	1.059	0.721	0.853
		28	0.30	27.72	13.83	0.651	1.559	0.651	1.372



Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 29 a 31 m	2.766	29	0.30	28.73	14.34	0.877	0.834	0.877	0.584
		30	0.30	29.74	14.84	0.807	1.334	0.807	1.104
		31	0.30	30.75	15.35	0.737	0.834	0.617	0.630



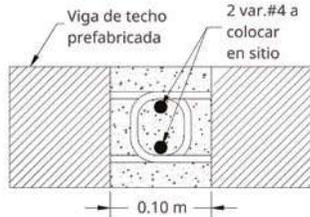


Figura 10.17 Ensamblaje y postensado en sitio

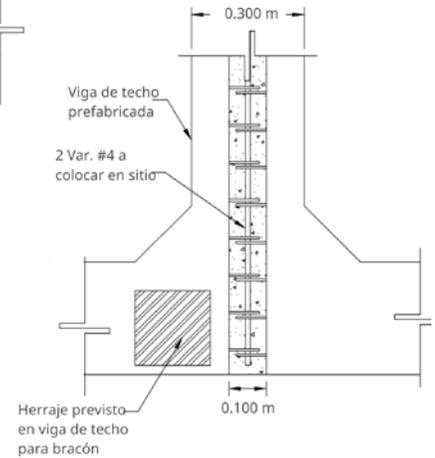
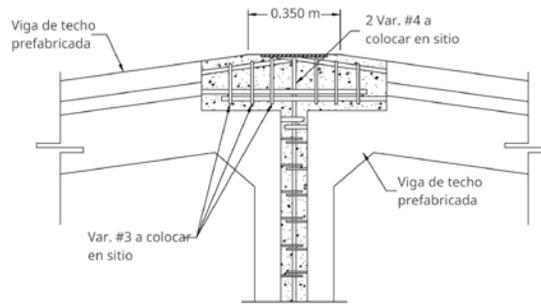


Figura 10.18 Detalle de unión central de las vigas alma abierta

### Vigas de techo de alma llena

La viga de techo de alma llena o cerrada es conveniente cuando el uso de la nave industrial implica particiones livianas ubicadas sobre los ejes de los marcos. Mediante el uso de esta viga se reduce el área a cerrar, así como la necesidad de cerrar los buques que existen en la viga de alma abierta.

Esta viga de techo permite bajar las pendientes de techo a 6 %. En dicho caso, el diseñador debe seleccionar un tipo de lámina adecuado para la pendiente y longitud de techo de tal manera que inhiba las filtraciones. La lámina de techo debe sellar adecuadamente y tener una capacidad hidráulica apropiada.

Además, cuando las pendientes son bajas, la succión ocasionada por el viento se vuelve crítica y puede ocasionar el barrido de los tornillos de fijación de la lámina.

Por todo esto, cuando se empleen vigas de alma llena con pendientes bajas, se recomienda usar las láminas de tipo cosido con conexión mediante clips.

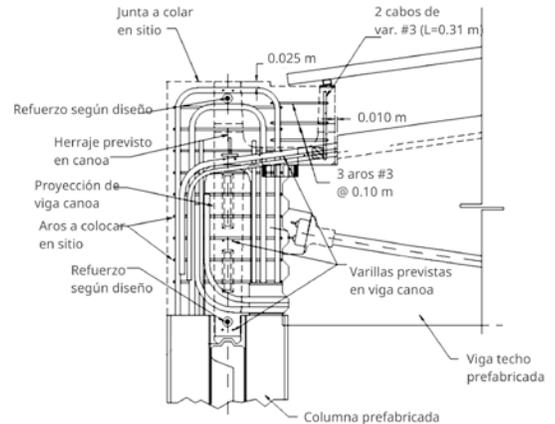
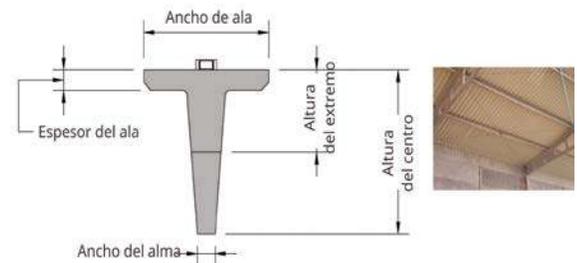


Figura 10.19 Conexión viga-columna típica

### Largueros

Los largueros son elementos de concreto pretensado de sección variable "T" altamente optimizados para distancias entre marcos de 12 m, separaciones de 3,00 m a 3,42 m y cargas normales (hasta 35 kg/m de sobrecarga permanente y 40 kg/m de carga temporal).

Por lo general se emplean con láminas de techo del tipo canaleta estructural o bandeja cosida con o sin asilamiento. Se pueden diseñar para cargas mayores cuando así se requiera.



Dimensiones (m)	Extremo	Centro
Altura	0.20	0.40
Ancho del alma	Variable	0.05
Ancho del ala	0.35	0.35
Espesor del ala	0.05	0.05

Figura 10.20 Dimensiones de los largueros

**Tabla 10.7 Familia de vigas de alma alma cerrada para su colocación en posición normal**

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luc c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.45	7.2	0.818
		16	15.45	7.7	0.788
		17	16.45	8.2	0.758
		18	17.45	8.7	0.728
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.45	9.2	0.848
		20	19.45	9.7	0.818
		21	20.45	10.2	0.788
		22	21.45	10.7	0.758
		23	22.45	11.2	0.728
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	24	23.45	11.7	0.848
		25	24.45	12.2	0.818
		26	25.45	12.7	0.788
		27	26.45	13.2	0.758
		28	27.45	13.7	0.728
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	29	28.45	14.2	0.848
		30	29.45	14.7	0.818
		31	30.45	15.2	0.788

**Tabla 10.8 Familia de vigas de alma alma cerrada para su colocación en posición invertida**

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luc c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.48	7.21	0.812	0.818
		16	15.48	7.71	0.782	0.788
		17	16.48	8.21	0.752	0.758
		18	17.48	8.72	0.722	0.727
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.48	9.22	0.842	0.848
		20	19.48	9.72	0.812	0.818
		21	20.49	10.22	0.782	0.788
		22	21.49	10.72	0.752	0.758
		23	22.49	11.22	0.722	0.727
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	24	23.49	11.72	0.842	0.848
		25	24.49	12.22	0.812	0.818
		26	25.50	12.72	0.782	0.788
		27	26.50	13.22	0.752	0.758
		28	27.50	13.72	0.722	0.727
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	29	28.50	14.23	0.842	0.848
		30	29.50	14.73	0.812	0.818
		31	30.50	15.23	0.782	0.788

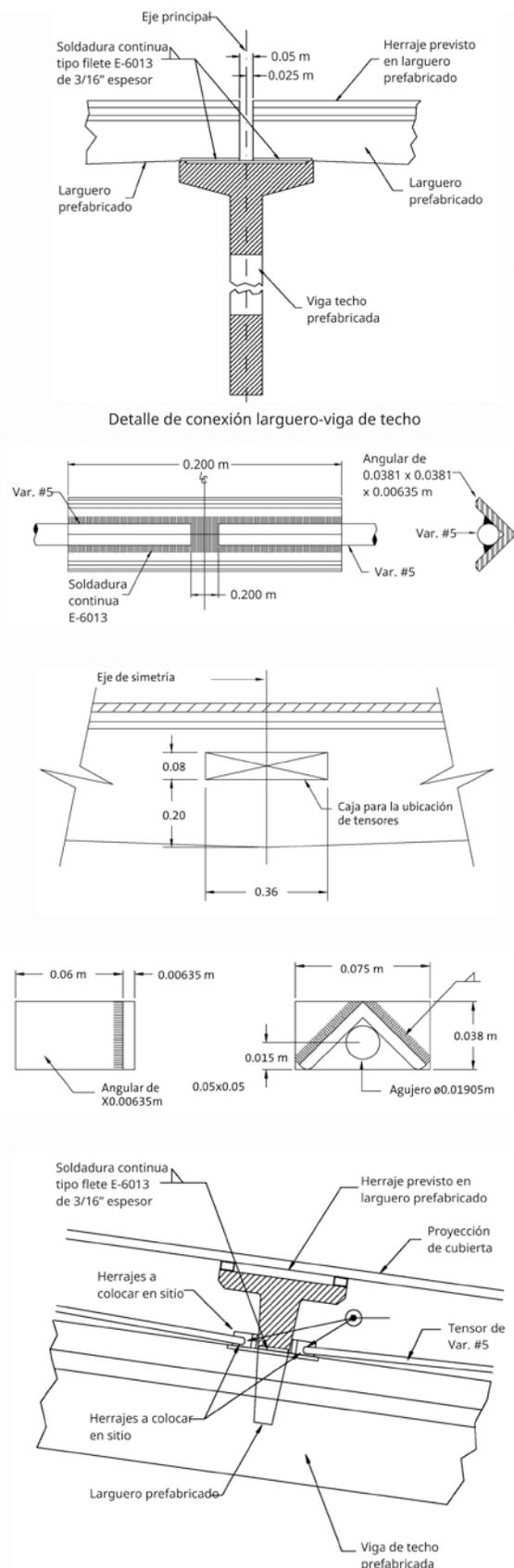


Figura 10.21 Detalle de conexiones de largueros y tensores

Los principales accesorios de los largueros son uno o dos tubos industriales instalados en su ala, para la conexión con la cubierta de techo, y cajas o aberturas en aquellos largueros que se ubican entre los tensores de techo, para que estos puedan pasar sin problemas entre ellos.

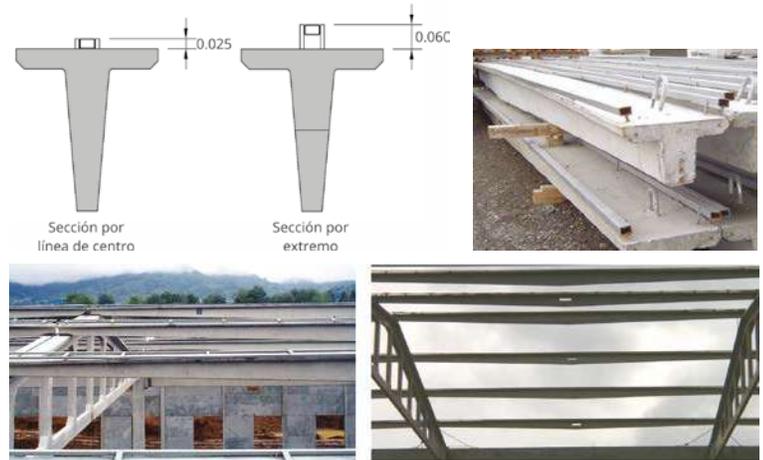


Figura 10.22 Detalles de ubicación del tubo industrial para la lámina de techo

### Viga canoa

La viga canoa cumple una doble función, pues también funciona como viga de amarre estructural. Es un elemento pretensado que se mantiene en compresión para las cargas de servicio. Esto le proporciona mayor rigidez que un elemento reforzado y además impide las filtraciones del agua que canaliza. Incluye previstas para la conexión de los bajantes.

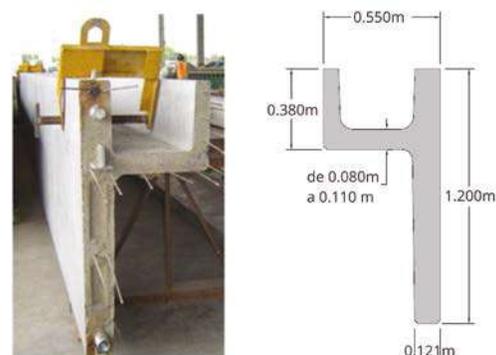


Figura 10.23 Vista transversal de la viga canoa

### Viga de amarre

Las vigas de amarre se utilizan cuando la viga de techo se coloca invertida para amarrar los marcos en su cumbrera. En estos casos, usualmente es necesario usar vigas de amarre cerca de las cumbreras de los pórticos para controlar los desplazamientos producto de cargas sísmicas. Las vigas de amarre son elementos reforzados sección I.

### Columna de pared

Las columnas de pared se utilizan cuando se requiere emplear paneles horizontales de 6 m de longitud o bien para crear buques de portones en paredes de este tipo de paneles. Son un elemento auxiliar para el soporte lateral de los paneles. Se insertan en una placa de fundación y se conectan a la viga de amarre o a la viga canoa.

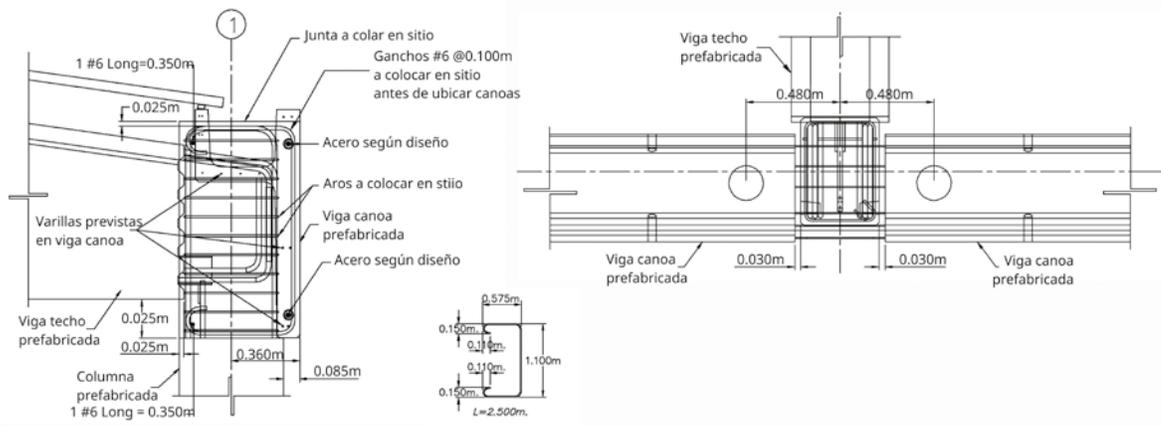


Figura 10.24 Detalles típicos de conexión viga canoa - columna

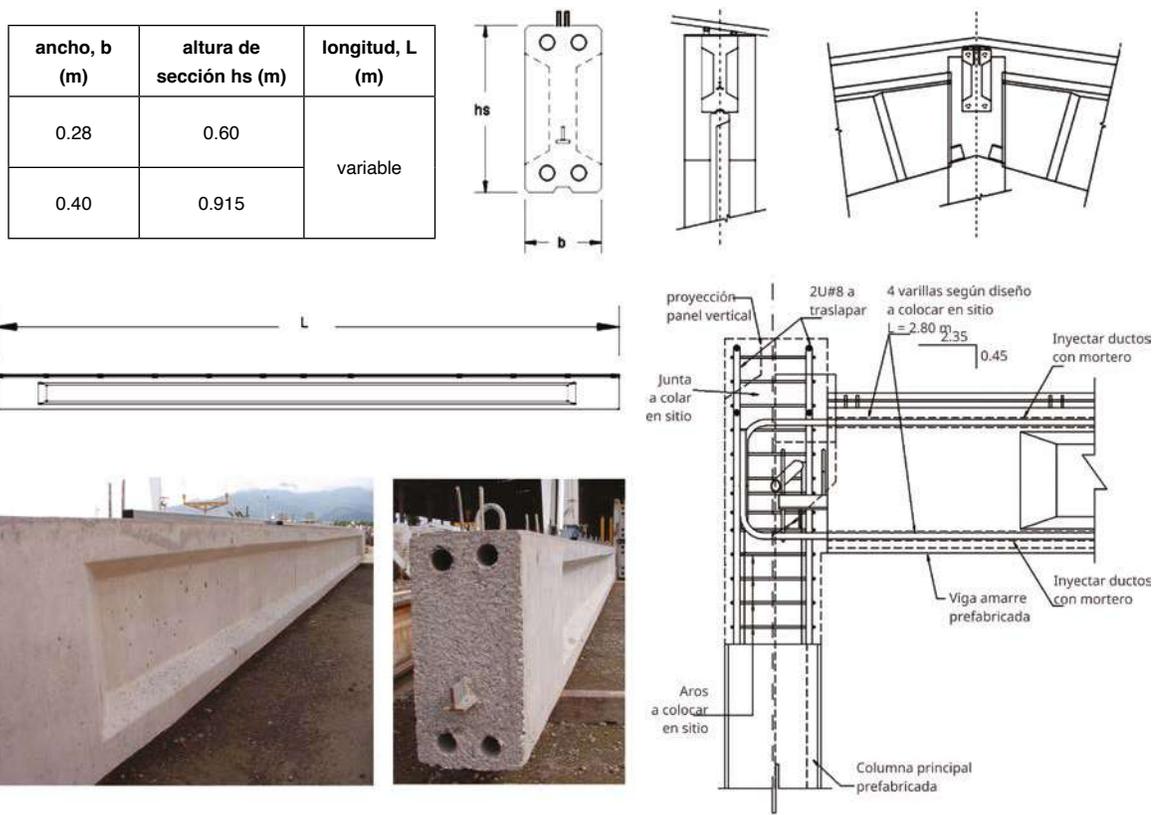


Figura 10.25 Detalles de vigas de amarre

### Viga portón

La viga portón se emplea en conjunto con los paneles verticales para hacer aberturas en las paredes de más de 2,30 m de ancho utilizados para accesos y portones. Se une a los nervios de los paneles adyacentes a través de una conexión húmeda colada en sitio.

Sobre la viga portón se colocan más paneles verticales para conformar el dintel y pueden fijarse a la viga portón usando conexiones soldadas o húmedas mediante acero de refuerzo en ductos.

### Viga carrilera

La viga carrilera se fabrica en longitudes de hasta 12 m. Es una viga especialmente diseñada para soportar el tránsito de grúas viajeras. Se coloca simplemente apoyada en ménsulas previstas en las columnas.

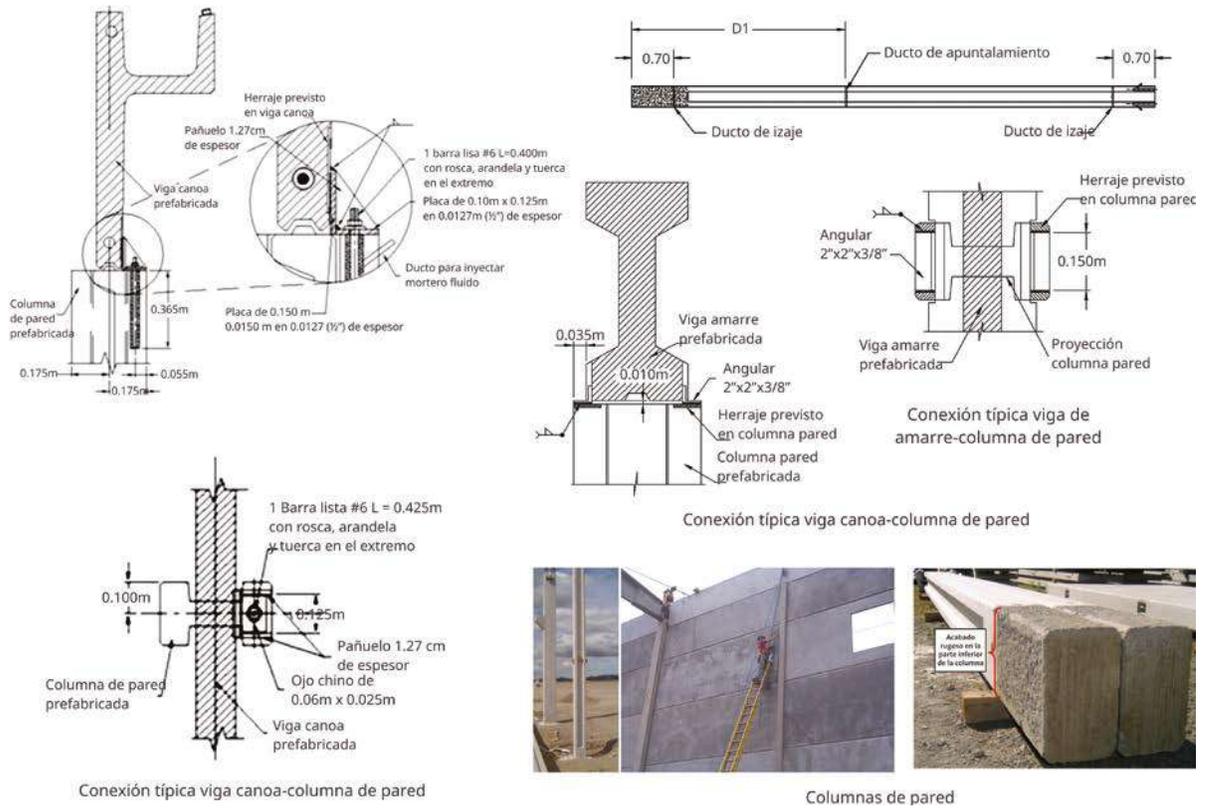


Figura 10.26 Detalles de columnas de pared

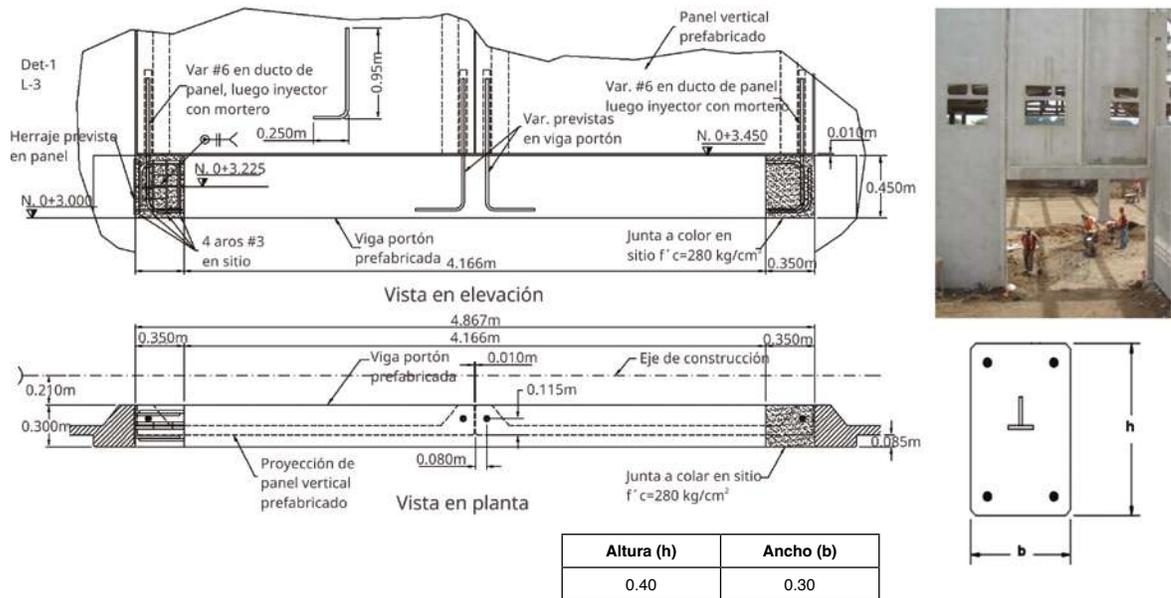
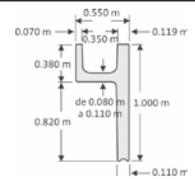
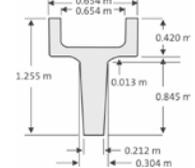
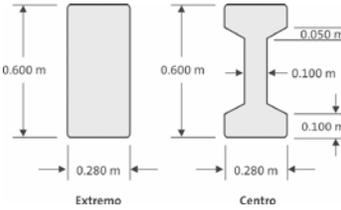
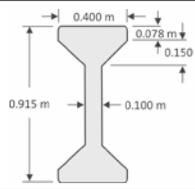
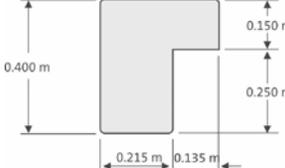
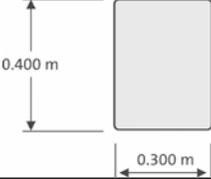
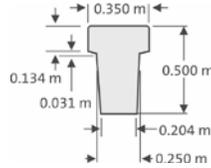
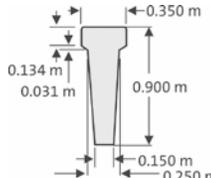


Figura 10.27 Detalle de viga portón



Figura 10.28 Viga carrilera

Tabla 10.9 Secciones estándar de vigas para naves industriales

Elemento	Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación		
		Área transversal $A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Inercia $I_{xx}$ (cm <sup>4</sup> )	Ubicación del centroide $y_c$ (cm)	Resistencia a compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso por metro lineal (kg/m)	
Vigas (V)	Viga canoa (VCa)		2058	$2.27 \times 10^6$	69.7	700	515
			4179	$4.60 \times 10^6$	70.3	700	293
	De amarre (VA)		$A_{\text{centro}} = 1050$	$I_{\text{centro}} = 4.38 \times 10^5$	$y_{\text{centro}} = 30.0$	350	341
			$A_{\text{extremo}} = 1050$	$I_{\text{centro}} = 5.04 \times 10^5$	$y_{\text{extremo}} = 30.0$		
			1833	$1.95 \times 10^6$	45.75	350	458
	Ménsula (VM)		1063	$1.44 \times 10^5$	22.4	350	266
	Portón (VP)		1200	$1.60 \times 10^5$	20	350	300
Carrilera (Vc)		1232	$2.47 \times 10^5$	29	350	308	
		2032	$1.40 \times 10^6$	51.5	350	508	

### Paneles horizontales

Los paneles horizontales (PH) son elementos pretensados nervados, que pueden emplearse en luces de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas. Se fabrican en anchos de 2,31 m y 2,44 m. Pueden elaborarse con anchos menores (de ajuste) si es necesario para completar la modulación (capítulo 7, sobre paneles y fachadas).

### Paneles Lex-panel

Los paneles horizontales con base en Losa Lex son elementos pretensados alveolares, que pueden utilizarse en luces de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas. Se fabrican en un ancho de 1,22 m, aunque pueden elaborarse con anchos menores (de ajuste) si resulta necesario para completar la modulación (capítulo 7, sobre paneles y fachadas).

### Paneles verticales

Los paneles verticales se fabrican con alturas de hasta 18 m y poseen la misma sección transversal de los paneles horizontales. Se colocan e integran a una placa de fundación corrida colada in situ. Se pueden emplear como cerramiento o integrarse a la estructura cuando resulte necesario. Poseen una ménsula para el apoyo de los largueros cuando se usan en los ejes externos de los marcos de carga (capítulo 9, sobre paneles y fachadas).

Los paneles pueden colocarse con las nervaduras hacia afuera o hacia adentro para lograr acabados de fachada arquitectónica. Cuando las nervaduras se colocan hacia adentro se requiere un elemento auxiliar que actúe como ménsula para los largueros (viga ménsula). Los paneles pueden producirse con puertas y ventanas pequeñas de hasta 1,2 m de ancho.

*Importante: en caso de requerirse el uso de buques, éstos deberán ser entre nervaduras. Si se requieren de mayor tamaño, se debe emplear una viga portón. Es recomendable que el ancho del buque sea en múltiplos del ancho del panel.*

### Viga ménsula

La viga ménsula es una pieza auxiliar de concreto reforzado, que se usa para el soporte de los largueros en las paredes de panel vertical cuando éste se emplea con las nervaduras hacia adentro. Alternativamente, puede usarse una viga de techo de alma abierta o cerrada.



Figura 10.29 Vigas ménsula con la unión sin colar. Se nota la pendiente del 14% para la cubierta de techo.

Otros elementos que pueden adaptarse al sistema son:

- Muros de retención para andén en Losa Lex (capítulo 8).
- Entrepisos para andén (vigas, columnas y vigueta o Losa Lex, capítulo 6).
- Fundaciones profundas prefabricadas, como pilotes (capítulo 3).
- Monitores de concreto como el que se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 10.30 Uso de monitores de concreto en nave industrial Durman Esquivel, Coyol de Alajuela

## 10.5 La construcción de naves industriales

### Transporte, manipulación, almacenamiento y montaje

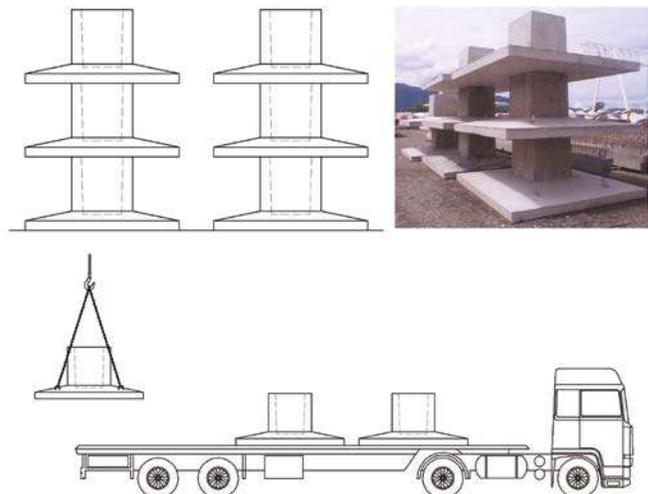


Figura 10.31 Almacenamiento e izaje de placas de fundación



Figura 10.32 Instalación de placas: a) Trazado b) Excavación c) Revisión de niveles d) Sello de concreto pobre e) Montaje y f) Compactación

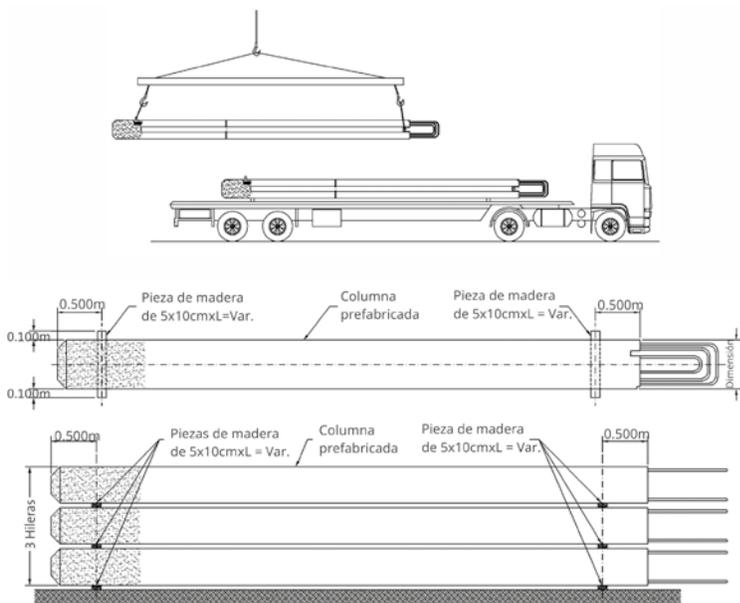


Figura 10.33 Almacenamiento e izaje de columnas



Figura 10.34 Almacenamiento e izaje de columnas

Instalación de columnas: a y b) Izaje c) Inserción d) Calzas para verticalidad e) Revisión del plomo g) Alineado de las vigas de techo en sitio para el colado de la junta central y postensado. h) Izaje de las vigas de techo.

Como regla general, todos los elementos pre-esforzados de tipo viga (largueros, vigas de techo, canoas) siempre deben almacenarse y manipularse sin rotarlas, nunca en torno a su eje.



## CAPÍTULO 11

# SISTEMAS PARA EDIFICIOS

**Los sistemas prefabricados que ofrece Holcim Modular Solutions para la construcción de edificios de varios pisos han sido concebidos siguiendo los principios del estado del arte del diseño y construcción sismorresistente.**

La construcción prefabricada de edificios permite reducir significativamente su plazo, pues mientras se prepara el sitio para construir, en la planta pueden estarse fabricando elementos de varios pisos en forma simultánea. La empresa suministra los planos de montaje de las edificaciones para cada caso particular, con la identificación de todos los elementos de la obra e instrucciones para su instalación y conexión.

Estos sistemas para edificios se basan en la prefabricación independiente y el ensamble en sitio de componentes prefabricados tales como: fundaciones aisladas, pilotes, vigas de fundación, muros de retención, muros estructurales, columnas, vigas de entrepiso, entrepisos, escaleras, paneles y fachadas no estructurales, vigas de techo, largueros y otros, según requiera el proyecto. Para detalles acerca de los subsistemas de pilotes, muros de retención, entrepisos y fachadas, se recomienda revisar los capítulos 3, 6, 7 y 8; para detalles sobre vigas de techo y largueros, véase el capítulo 10.

Los elementos que conforman los sistemas para edificios tienen todas las ventajas que ofrece la prefabricación:

- Ahorro de formaleta
- Reducción de mano de obra
- Reducción del plazo constructivo, así como de los costos financieros y administrativos asociados
- Estrictos controles y estándares de calidad que posibilitan el uso rutinario de materiales de alto desempeño, tales como concretos de alta resistencia (CAR) de hasta  $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$  para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez y concretos autocompactantes (CAC) para la mejora de los acabados, etc.

- Uso rutinario del concreto preesforzado para una solución económica de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: vigas de grandes luces, grandes voladizos, reducción de secciones, control de agrietamiento y control de rigidez.

Las conexiones entre los componentes prefabricados pueden realizarse de acuerdo con los cuatro tipos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) en su capítulo 12: Estructuras y Componentes Prefabricados de Concreto.

### 11.1 Materiales

- **Concreto:** el concreto utilizado en la planta de Holcim Modular Solutions tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de  $280 \text{ kg/cm}^2$  para fundaciones reforzadas y de  $350 \text{ kg/cm}^2$  para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos pretensados (con excepción de la Losa Lex), la resistencia a los 28 días es de  $700 \text{ kg/cm}^2$ . Para la Losa Lex, la resistencia mínima a la compresión es de  $420 \text{ kg/cm}^2$ .
- **Cemento:** el cemento cumple con la especificación del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agregados:** los agregados cumplen con las normas ASTM C33 e INTE C15.
- **Refuerzo:** el acero de preesfuerzo cumple con la norma ASTM A416 (grado 270) y el acero de refuerzo con las especificaciones ASTM A706 y ASTM A615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

### 11.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010) (2011). Establece las cargas vivas mínimas, los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados, muros de corte y sistemas y componentes no estructurales.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009). Establece los requisitos de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y muros de retención.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, torsión, tensión y cortante.

- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE/SEI/SFPE).
- Manual de Diseño del Instituto del Concreto Prefabricado (PCI Handbook) edición 2014, Chicago, Illinois, USA.

### 11.3 Criterios para uso y especificación

#### Concreto reforzado y concreto preesforzado

Los sistemas prefabricados para edificios con frecuencia emplean la tecnología del preesforzado para solucionar los problemas de ingeniería. Algunos componentes, como las vigas de entrepiso, los paneles de fachada y los entrepisos, utilizan de rutina el acero preesforzado, ya sea para control de deflexiones, control de agrietamiento, reducción de las secciones y del peso, incremento de la rigidez o una combinación de los anteriores. Existen diversas filosofías para el diseño de elementos de concreto preesforzado, pero la más usual consiste en garantizar que las secciones no presenten agrietamiento por flexión para las cargas de servicio (ACI 318S-14).

#### Diseño sin agrietar de elementos pre-esforzados para cargas de servicio

Este factor tiene importantes implicaciones en la economía de las soluciones y en los supuestos de los métodos de análisis estructural.

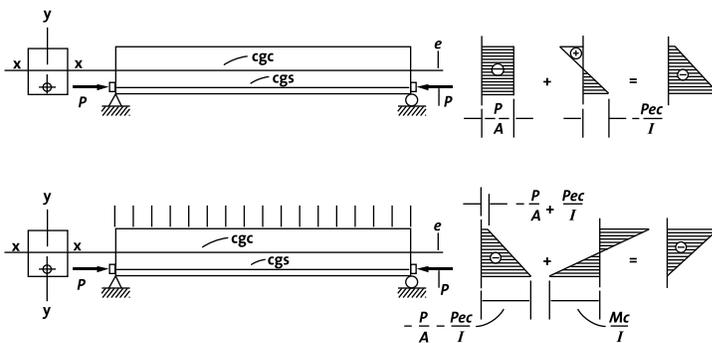


Figura 11.1 Diseño sin agrietar de elementos preesforzados para cargas de servicios

Una primera consideración es que para el análisis estructural de cargas gravitacionales lo apropiado es usar en las vigas el momento de inercia de la sección sin agrietar ( $I_g$ ). Para el análisis sísmico por los métodos estático o dinámico, puede usarse un momento de inercia de alrededor de  $0,80 I_g$ , con el objeto de tomar en cuenta que existe agrietamiento localizado en las zonas de rótulas plásticas.

Con relación a la rigidez, es importante mencionar que los concretos de los componentes preesforzados usualmente tendrán resistencias a los 28 días superiores a los concretos normales, en el orden de 420 a 700  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . El módulo de elasticidad del concreto debe utilizarse en forma apropiada durante el análisis estructural.

El uso del preesfuerzo en los sistemas de edificios permitirá la solución económica de vigas de grandes luces y grandes voladizos que de otra forma presentarían considerables deflexiones si se resuelven con concreto reforzado convencional.

#### Integridad estructural y conexiones

En el medio nacional, usualmente las conexiones entre componentes prefabricados se realizan mediante juntas húmedas que se diseñan y fabrican con la finalidad de lograr la continuidad mediante la

colocación de concreto o mortero en sitio y barras de refuerzo. Estas conexiones pueden ser de cierre, completamiento en sitio o bien ciegas.

Las conexiones de completamiento más frecuentes son aquellas que se realizan en el nudo viga-columna, mediante el anclaje del acero longitudinal de las vigas en la zona del nudo y el colado en sitio del concreto del nudo. Las conexiones ciegas se prefieren para la unión de elementos verticales y usualmente consisten en el traslape del acero longitudinal utilizando ductos previstos en las piezas prefabricadas, que luego se llenan con mortero de alta resistencia y fluidez.

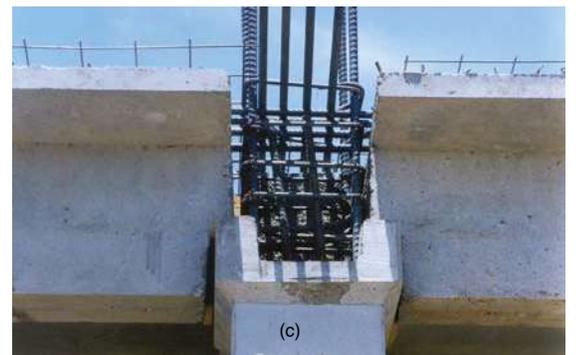
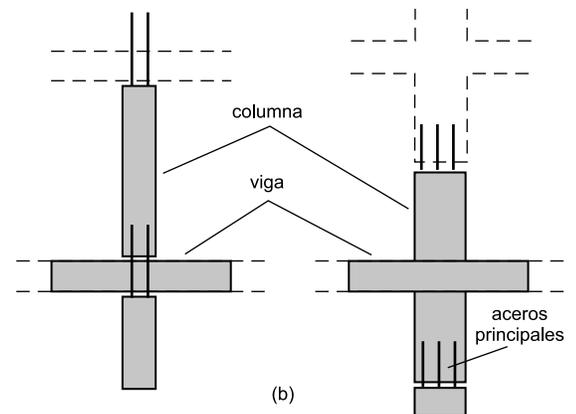
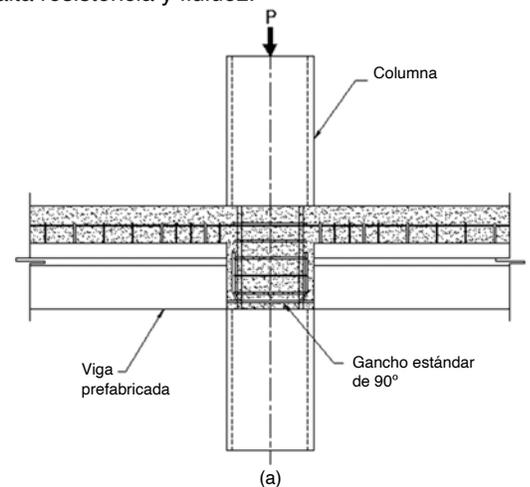


Figura 11.2 Conexiones húmedas mediante refuerzo y concreto o mortero colado en sitio. a) conexión de completamiento en sitio b) conexión ciega c) Ejemplo de conexión húmeda

Ambos tipos de conexiones pueden ser consideradas como de ductilidad local óptima o moderada, según las definiciones del CSCR-2010. Holcim Modular Solutions ha demostrado a través de pruebas estructurales de nudos viga- columna realizadas en el Lanamme UCR que las uniones viga-columna con base en elementos prefabricados detalladas de manera adecuada pueden alcanzar ductilidades iguales o superiores a las estructuras coladas en sitio, con niveles de daño consistentemente menores.

La experiencia a nivel mundial respalda estos resultados. El diseñador puede emplear las ductilidades globales especificadas por el citado Código Sísmico para edificios de concreto reforzado.

Los diafragmas compuestos por entrepisos prefabricados por Holcim Modular Solutions y sobrelosa colada en sitio pueden considerarse rígidos. Como en todo diafragma, su resistencia debe ser verificada con los métodos establecidos en el citado Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) o en el capítulo 21 del ACI 318S-14.

### Uniones postensadas híbridas

El Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) permite el uso de conexiones postensadas híbridas, que en pruebas experimentales nacionales e internacionales, así como en sismos recientes, han demostrado un comportamiento mucho mejor que el del concreto monolítico o el concreto prefabricado con conexiones húmedas.

Las uniones postensadas híbridas están diseñadas para lograr la continuidad mediante refuerzo convencional con pequeñas zonas desadheridas y cables de postensión desadheridos que permiten la adecuada disipación de energía y una concentración de deformaciones en la cara de contacto viga-columna (Sección 12.4 CSCR-2010).

Esta conexión provoca tres efectos deseables:

- La concentración de la disipación de energía en la unión viga-columna o muro-fundación.
- La protección por capacidad de otros componentes menos dúctiles.
- Un efecto autocentrante de las conexiones que minimiza los desplazamientos y deformaciones residuales tras un evento sísmico.

Además, permite la construcción de columnas de varios pisos de altura, lo cual saca el colado de nudos de la ruta crítica del proceso constructivo. En resumen: ofrece rapidez constructiva, ductilidad y protección por capacidad sin daño significativo en caso del sismo de diseño.

En uniones viga-columna, las columnas prefabricadas incluyen los nudos y ménsulas donde se soportan temporalmente las vigas. En los nudos se dejan previstos ductos para colocar en sitio las varillas de acero convencional y los cables de postensión.



Figura 11.3 Pruebas estructurales realizadas en el LANAMME

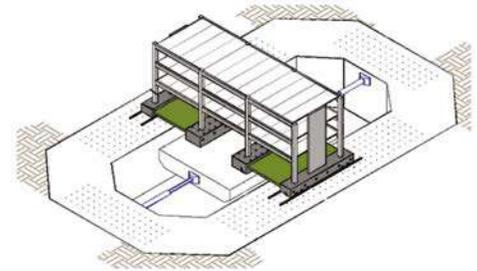
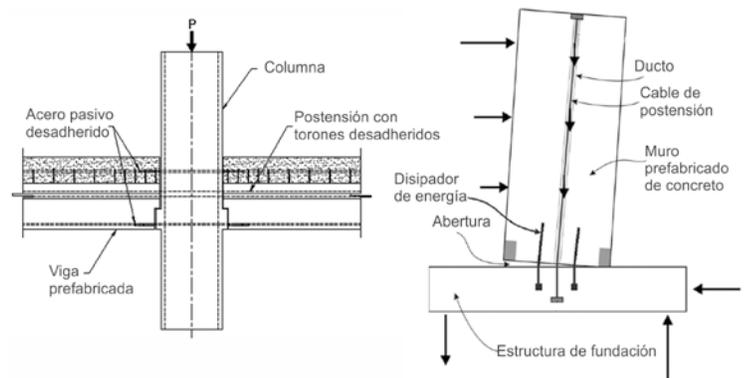


Figura 11.4 Pruebas estructurales de uniones postensadas híbridas del programa PRESS y de la UCSD



Ejemplo de unión postensada híbrida (Edificio Clínica Bíblica)

Figura 11.5 Unión viga columna postensada híbrida y unión muro fundación postensada híbrida

Las columnas se pueden fabricar de varios pisos de altura, como se muestra en la figura 11.6. Cuando sea necesario, las columnas se dividen en varias partes, que se conectan por ductos, barreras de refuerzo e inyecciones de mortero fluido.

#### 11.4 Ayudas de diseño para edificios de marcos

Los sistemas prefabricados de Holcim Modular Solutions permiten la construcción de edificios de marcos con conexiones entre elementos que pueden

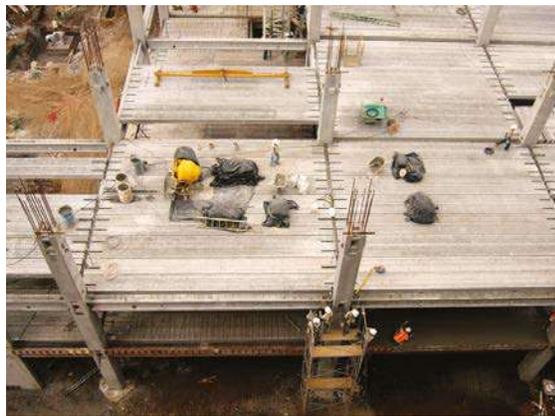


Figura 11.6 Columnas de varios niveles permiten trabajar simultáneamente en varios pisos (edificios Zona Franca América)

ser húmedas, postensados o híbridas; así como edificios de muros con conexiones secas, húmedas o postensionadas.

A continuación, se presenta una serie de ayudas para el dimensionamiento preliminar de edificios prefabricados compuestos por marcos hiperestáticos en sus dos direcciones ortogonales, con una planta reticular compuesta por vigas de carga en un sentido y vigas de amarre en el otro.

#### Guía general para el dimensionamiento de fundaciones y columnas

Las siguientes tablas permiten dimensionar preliminarmente placas de fundación y columnas de edificios reticulares en planta compuestos por marcos prefabricados hiperestáticos. Los datos de entrada de las tablas son:

- La sobrecarga de diseño (carga permanente adicional al peso estructural más carga temporal)
- La longitud neta de la viga
- La longitud tributaria de carga y el número de pisos.

Las placas de fundación, con tamaños iguales o menores a 2,70 x 2,70 m, pueden ser prefabricadas.

La conexión entre las placas y las columnas prefabricadas se realiza mediante dovelas inyectadas en ductos previstos en las columnas. Es posible prever conexiones para vigas de fundación que pueden ser prefabricadas también.

En el caso de las columnas se presentan dos ayudas de diseño: las tablas para la selección de la sección de la columna y el porcentaje de acero longitudinal, con base en los claros de vigas y la carga, y los diagramas de interacción desarrollados para diversos porcentajes de acero longitudinal.

En todos los casos se emplean columnas de sección cuadrada o rectangular con refuerzo longitudinal y transversal según requisitos del CSCR-2010.

**Advertencia:** Las tablas siguientes constituyen ayudas de diseño para el dimensionamiento preliminar por carga gravitacional únicamente. Aunque usualmente este dimensionamiento cumple con la rigidez necesaria para controlar desplazamientos laterales en edificios regulares de entre 3 y 6 pisos de altura, no se da ninguna garantía de ello. Es responsabilidad del diseñador estructural la revisión de demandas ante carga laterales de viento y sismo, así como la verificación de los desplazamientos laterales permitidos. Entre sus opciones, el diseñador puede incorporar al sistema muros estructurales prefabricados o colados en sitio en aquellos puntos donde lo juzgue apropiado.

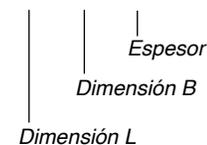
Tabla 11.1 Dimensiones de placas de fundación								
Placas: habitacional, parqueos, oficinas								
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT	Luz tributaria m	Altura del entrepiso* cm	Número de pisos	Dimensiones de placas en metros				
				Luz de la viga de carga				
				6 m	8 m	10 m	11 m	
400 <sup>1</sup>	6	15 + 6	2	2.1x2.1x0.35	2.5x2.5x0.40	2.8x2.8x0.40	3.0x3.0x0.45	
			3	2.7x2.7x0.40	3.1x3.1x0.45	3.5x3.5x0.55	3.7x3.7x0.55	
			4	3.2x3.2x0.50	3.6x3.6x0.55	4.0x4.0x0.55	4.2x4.2x0.60	
			5	3.5x3.5x0.55	4.0x4.0x0.55	4.5x4.5x0.60	4.8x4.8x0.65	
			6	3.9x3.9x0.55	4.4x4.4x0.60	5.0x5.0x0.65	5.3x5.3x0.70	
			8	20 + 6	2	2.6x2.6x0.40	3.0x3.0x0.45	3.4x3.4x0.55
	8	20 + 6	3	3.2x3.2x0.50	3.7x3.7x0.50	4.1x4.1x0.55	4.3x4.3x0.60	
			4	3.7x3.7x0.50	4.3x4.3x0.60	4.8x4.8x0.65	5.0x5.0x0.65	
			5	4.2x4.2x0.60	4.8x4.8x0.65	5.4x5.4x0.70	5.6x5.6x0.75	
			6	4.6x4.6x0.65	5.3x5.3x0.70			
	10	25 + 6	2	3.0x3.0x0.45	3.5x3.5x0.55	3.8x3.8x0.55	4.0x4.0x0.55	
			3	3.7x3.7x0.50	4.3x4.3x0.60	4.6x4.6x0.65	4.9x4.9x0.65	
			4	4.3x4.3x0.60	5.0x5.0x0.65	5.4x5.4x0.70	5.7x5.7x0.75	
			5	4.9x4.9x0.65	5.6x5.6x0.75			
	11	25 + 6	2	3.2x3.2x0.50	3.6x3.6x0.50	3.9x3.9x0.55	4.1x4.1x0.55	
			3	3.9x3.9x0.55	4.5x4.5x0.60	4.9x4.9x0.65	5.1x5.1x0.70	
			4	4.5x4.5x0.60	5.2x5.2x0.70	5.7x5.7x0.75		
			5	5.1x5.1x0.70				
	500 <sup>1</sup>	6	15 + 6	2	2.3x2.3x0.35	2.7x2.7x0.40	3.0x3.0x0.45	3.1x3.1x0.45
				3	2.8x2.8x0.45	3.3x3.3x0.50	3.7x3.7x0.50	3.9x3.9x0.55
				4	3.3x3.3x0.50	3.9x3.9x0.55	4.3x4.3x0.60	4.5x4.5x0.60
				5	3.8x3.8x0.50	4.3x4.3x0.60	4.8x4.8x0.65	5.1x5.1x0.65
				6	4.1x4.1x0.55	4.8x4.8x0.65	5.3x5.3x0.70	5.6x5.6x0.75
				8	20 + 6	2	2.7x2.7x0.40	3.2x3.2x0.50
8		20 + 6	3	3.4x3.4x0.55	3.9x3.9x0.55	4.4x4.4x0.60	4.6x4.6x0.60	
			4	4.0x4.0x0.55	4.5x4.5x0.60	5.1x5.1x0.70	5.3x5.3x0.70	
			5	4.5x4.5x0.60	5.2x5.2x0.70	5.7x5.7x0.75		
			6	5.0x5.0x0.65	5.6x5.6x0.75			
10		25 + 6	2	3.2x3.2x0.50	3.7x3.7x0.50	4.0x4.0x0.55	4.2x4.2x0.60	
			3	3.9x3.9x0.55	4.5x4.5x0.60	5.0x5.0x0.65	5.2x5.2x0.70	
			4	4.6x4.6x0.60	5.3x5.3x0.70			
			5	5.2x5.2x0.70				
11		25 + 6	2	3.4x3.4x0.55	3.8x3.8x0.55	4.2x4.2x0.60	4.4x4.4x0.60	
			3	4.1x4.1x0.55	4.7x4.7x0.65	5.2x5.2x0.70	5.4x5.4x0.70	
			4	4.8x4.8x0.65	5.5x5.5x0.75			
			5	5.4x5.4x0.70				
6								

\* Altura del entrepiso sería peralte de la Losa Lex + espesor de la sobrelosa considerada

**Nota:** Supuestos:

- CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parqueos
- Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última
- Se supone viga Te para el cálculo del peso de las vigas
- Se supone una altura piso a piso de 3.75 m y una longitud de 1 m entre contrapiso y parte superior de placa de fundación
- Se supone una capacidad del concreto de f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de requerirse puede fabricarse con concreto de mayor resistencia
- Se supone una capacidad neta del terreno de 15 T/m<sup>2</sup> (Factor de seguridad de 3)
- Se revisan condiciones gravitacionales, el diseñador debe chequear condiciones sísmicas
- Lectura de tipologías:

**3.2 x 3.2 x 0.50**



**Tabla 11.1 Dimensiones de placas de fundación (continuación)**

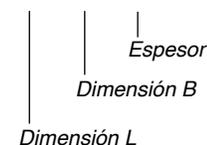
Placas: oficinas de alta densidad, centros comerciales mercancía ligera, bodegas, cines, templos, gimnasios, teatros								
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT	Luz tributaria m	Altura del entrespiso* cm	Número de pisos	Dimensiones de placas en metros				
				Luz de la viga de carga				
				6 m	8 m	10 m	11 m	
600 <sup>1</sup>	6	15 + 6	2	2.5x2.5x0.40	2.8x2.8x0.40	3.2x3.2x0.50	3.3x3.3x0.50	
			3	3.0x3.0x0.45	3.5x3.5x0.55	3.9x3.9x0.55	4.1x4.1x0.55	
			4	3.5x3.5x0.55	4.1x4.1x0.55	4.5x4.5x0.60	4.8x4.8x0.65	
			5	4.0x4.0x0.55	4.6x4.6x0.60	5.1x5.1x0.70	5.4x5.4x0.70	
			6	4.3x4.3x0.60	5.1x5.1x0.65	5.6x5.6x0.75		
	8	20 + 6	2	2.9x2.9x0.45	3.3x3.3x0.50	3.7x3.7x0.50	3.9x3.9x0.55	
			3	3.6x3.6x0.55	4.1x4.1x0.55	4.6x4.6x0.65	4.7x4.7x0.65	
			4	4.2x4.2x0.60	4.8x4.8x0.65	5.4x5.4x0.70	5.5x5.5x0.75	
			5	4.7x4.7x0.65	5.4x5.4x0.70			
			6	5.2x5.2x0.70				
	10	25 + 6	2	3.4x3.4x0.55	3.8x3.8x0.55	4.2x4.2x0.60	4.4x4.4x0.60	
			3	4.1x4.1x0.55	4.7x4.7x0.65	5.2x5.2x0.70	5.5x5.5x0.75	
			4	4.8x4.8x0.65	5.5x5.5x0.75			
			5	6.0x6.0x0.80				
			6					
	11	25 + 6	2	3.5x3.5x0.55	4.0x4.0x0.55	4.4x4.4x0.60	4.6x4.6x0.65	
			3	4.3x4.3x0.60	5.0x5.0x0.55	5.5x5.5x0.75	5.7x5.7x0.75	
			4	5.1x5.1x0.65				
			5					
			6					
	Placas: centros comerciales, mercancías de peso intermedio, bibliotecas, estadios, archivos							
	700 <sup>1</sup>	6	15 + 6	2	2.6x2.6x0.40	3.0x3.0x0.45	3.3x3.3x0.50	3.5x3.5x0.55
				3	3.2x3.2x0.50	3.7x3.7x0.50	4.1x4.1x0.55	4.3x4.3x0.60
				4	3.7x3.7x0.50	4.2x4.2x0.60	4.7x4.7x0.65	5.0x5.0x0.65
5				4.2x4.2x0.55	4.8x4.8x0.65	5.3x5.3x0.70	5.6x5.6x0.75	
6				4.6x4.6x0.60	5.3x5.3x0.70			
8		20 + 6	2	3.0x3.0x0.45	3.5x3.5x0.55	3.9x3.9x0.55	4.0x4.0x0.55	
			3	3.8x3.8x0.50	4.3x4.3x0.60	4.8x4.8x0.65	5.0x5.0x0.65	
			4	4.3x4.3x0.60	5.1x5.1x0.65	5.6x5.6x0.75		
			5	5.0x5.0x0.65	5.7x5.7x0.75			
			6	5.4x5.4x0.70				
10		25 + 6	2	3.5x3.5x0.55	4.0x4.0x0.55	4.4x4.4x0.60	4.6x4.6x0.65	
			3	4.3x4.3x0.60	5.0x5.0x0.65	5.5x5.5x0.75	5.7x5.7x0.75	
			4	5.1x5.1x0.65	5.8x5.8x0.75			
			5	5.7x5.7x0.75				
			6					
11		25 + 6	2					
			3					
			4					
			5					
			6					

\* Altura del entrespiso sería peralte de la Losa Lex + espesor de la sobrelosa considerada

**Nota:** Supuestos:

- CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parqueos
- Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última
- Se supone viga Te para el cálculo del peso de las vigas
- Se supone una altura piso a piso de 3.75 m y una longitud de 1 m entre contrapiso y parte superior de placa de fundación
- Se supone una capacidad del concreto de f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de requerirse puede fabricarse con concreto de mayor resistencia
- Se supone una capacidad neta del terreno de 15 T/m<sup>2</sup> (Factor de seguridad de 3)
- Se revisan condiciones gravitacionales, el diseñador debe chequear condiciones sísmicas
- Lectura de tipologías:

**3.2 x 3.2 x 0.50**



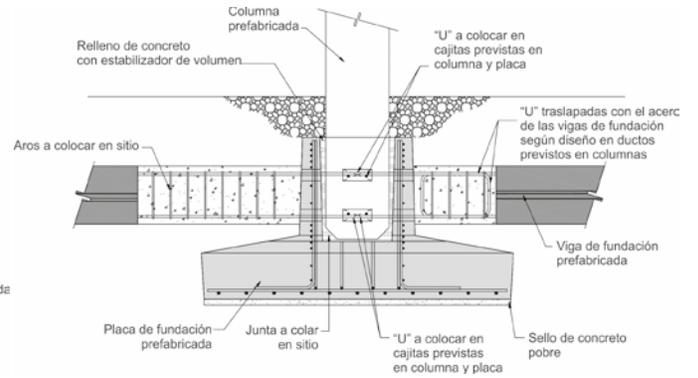
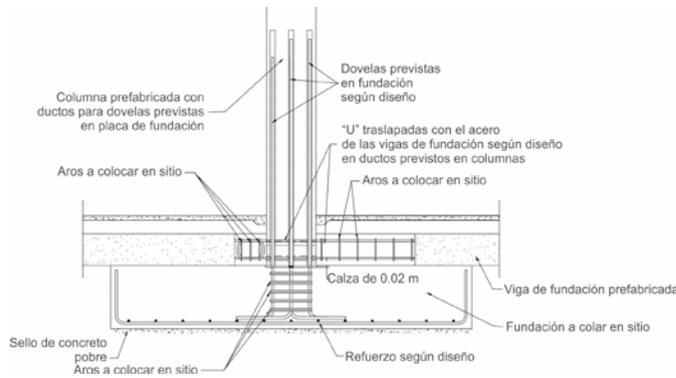


Figura 11.7 Detalles típicos de conexión placa-columna

Tabla 11.2 Dimensiones de columnas							
Columnas: habitacional, parqueos, oficinas							
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT kg/m <sup>2</sup>	Luz tributaria m	Altura del entrepiso* cm	Número de pisos	Tipología de columna			
				Luz de la viga de carga			
				6 m	8 m	10 m	11 m
400	6	15 + 6	2	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-40/1
			3	C 40-40/1	C 40-40/1.5	C 40-55/1	C 55-55/1
			4	C 40-55/1	C 40-55/1.5	C 55-55/1	C 55-55/1
			5	C 40-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1	C 60-60/1.5
			6	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1
			8	20 + 6	2	C 40-40/1	C 40-40/1
	3	C 40-55/1	C 55-55/1		C 55-55/1	C 55-55/1.5	
	4	C 55-55/1	C 55-55/1.5		C 60-60/2	C 70-70/1	
	5	C 55-55/1	C 60-60/2		C 70-70/1	C 70-70/2	
	6	C 60-60/1	C 70-70/1				
	10	25 + 6	2		C 40-40/1	C 40-55/1	C 55-55/1
	3		C 55-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	
	4		C 55-55/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1	C 70-70/2	
	5		C 70-70/1	C 70-70/1.5			
	6		C 70-70/1				
	11		25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
	3	C 55-55/1		C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1	
	4	C 60-60/1		C 70-70/1	C 70-70/2		
	5	C 70-70/1					
	6	C 70-70/2					

\* Altura del entrepiso sería peralte de la Losa Lex + espesor de la sobrelosa considerada

**Nota:** Supuestos:

- CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parqueos
- Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última
- Se supone viga Te para el cálculo del peso de las vigas
- Se supone una altura piso a piso de 3.75 m y una longitud de 1 m entre contrapiso y parte superior de placa de fundación
- Se supone una capacidad del concreto de f'c = 350 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de requerirse puede fabricarse con concreto de mayor resistencia
- Se supone una capacidad neta del terreno de 15 T/m<sup>2</sup> (Factor de seguridad de 3)
- Se revisan condiciones gravitacionales, el diseñador debe chequear condiciones sísmicas
- Lectura de tipologías:

**C 55-55/2**

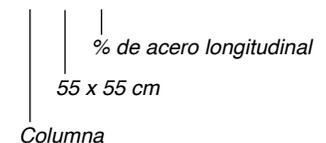


Tabla 11.2 Dimensiones de columnas (continuación)

Columnas: oficinas							
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT kg/m <sup>2</sup>	Luz tributaria m	Altura del entrepiso* cm	Número de pisos	Tipología de columna			
				Luz de la viga de carga			
				6 m	8 m	10 m	11 m
500	6	15 + 6	2	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-55/1
			3	C 40-40/1	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			4	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1
			5	C 55-55/1	C 55-55/1	C 60-60/2	C 70-70/1
			6	C 55-55/1	C 60-60/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1.5
	8	20 + 6	2	C 40-40/1	C 40-55/1	C 40-55/1	C 55-55/1
			3	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/2	C 60-60/1
			4	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1
			5	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/2	
			6	C 70-70/1	C 70-70/1.5		
	10	25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			3	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1
			4	C 60-60/1	C 70-70/1		
			5	C 70-70/1			
			6	C 70-70/2			
	11	25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1	C 55-55/2
			3	C 55-55/1	C 60-60/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1
			4	C 60-60/1.5	C 70-70/1		
			5	C 70-70/1			
			6				
Columnas: oficinas de alta densidad, centros comerciales, mercancía ligera, bodegas, cines, templos, gimnasios, teatros							
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT kg/m <sup>2</sup>	Luz tributaria m	Altura del entrepiso* cm	Número de pisos	Tipología de columna			
				Luz de la viga de carga			
				6 m	8 m	10 m	11 m
600	6	15 + 6	2	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-55/1	C 40-55/1
			3	C 40-40/1	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			4	C 40-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1	C 60-60/1.5
			5	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1
			6	C 55-55/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1.5	
	8	20 + 6	2	C 40-40/1	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			3	C 40-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1	C 60-60/1
			4	C 55-55/1	C 60-60/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1
			5	C 60-60/1	C 70-70/1		
			6	C 70-70/1			
	10	25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1	C 55-55/2
			3	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1	C 70-70/1
			4	C 60-60/1.5	C 70-70/1		
			5	C 70-70/1			
			6				
	11	25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/2	C 60-60/1
			3	C 55-55/1	C 70-70/1	C 70-70/1	C 70-70/2
			4	C 70-70/1			
			5				
			6				

\* Altura del entrepiso sería peralte de la Losa Lex + espesor de la sobrelosa considerada

**Nota:** Supuestos:

- CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parqueos
- Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última
- Se supone viga Te para el cálculo del peso de las vigas
- Se supone una altura piso a piso de 3.75 m y una longitud de 1 m entre contrapiso y parte superior de placa de fundación
- Se supone una capacidad del concreto de f'c = 350 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de requerirse puede fabricarse con concreto de mayor resistencia
- Se supone una capacidad neta del terreno de 15 T/m<sup>2</sup> (Factor de seguridad de 3)
- Se revisan condiciones gravitacionales, el diseñador debe chequear condiciones sísmicas
- Lectura de tipologías:

**C 55-55/2**

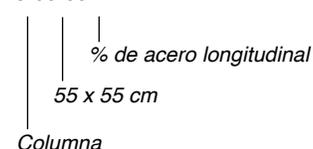


Tabla 11.2 Dimensiones de columnas (continuación)							
Columnas: centros comerciales, mercancías con peso intermedio, bibliotecas, estadios archivos							
Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT kg/m <sup>2</sup>	Luz tributaria m	Altura del entrepiso* cm	Número de pisos	Tipología de columna			
				Luz de la viga de carga			
				6 m	8 m	10 m	11 m
700	6	15 + 6	2	C 40-40/1	C 40-40/1	C 40-55/1	C 40-55/1
			3	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			4	C 55-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1	C 70-70/1
			5	C 55-55/1	C 60-60/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1.5
			6	C 60-60/1	C 70-70/1		
	8	20 + 6	2	C 40-40/1	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/1
			3	C 55-55/1	C 55-55/1	C 60-60/1.5	C 70-70/1
			4	C 55-55/1.5	C 70-70/1	C 70-70/1.5	
			5	C 70-70/1	C 70-70/1.5		
	10	25 + 6	2	C 40-55/1	C 55-55/1	C 55-55/2	C 60-60/1
			3	C 55-55/1	C 70-70/1	C 70-70/1	C 70-70/2
			4	C 70-70/1	C 70-70/2		
			5	C 70-70/1.5			
			6	C 70-70/2			

\* Altura del entrepiso sería peralte de la Losa Lex + espesor de la sobrelosa considerada

**Nota:** Supuestos:

- CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parques
- Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última
- Se supone viga Te para el cálculo del peso de las vigas
- Se supone una altura piso a piso de 3.75 m y una longitud de 1 m entre contrapiso y parte superior de placa de fundación
- Se supone una capacidad del concreto de f'c = 350 kg/cm<sup>2</sup>, en el caso de requerirse puede fabricarse con concreto de mayor resistencia
- Se supone una capacidad neta del terreno de 15 T/m<sup>2</sup> (Factor de seguridad de 3)
- Se revisan condiciones gravitacionales, el diseñador debe chequear condiciones sísmicas
- Lectura de tipologías:

**C 55-55/2**  
 |  
 | % de acero longitudinal  
 |  
 55 x 55 cm  
 Columna

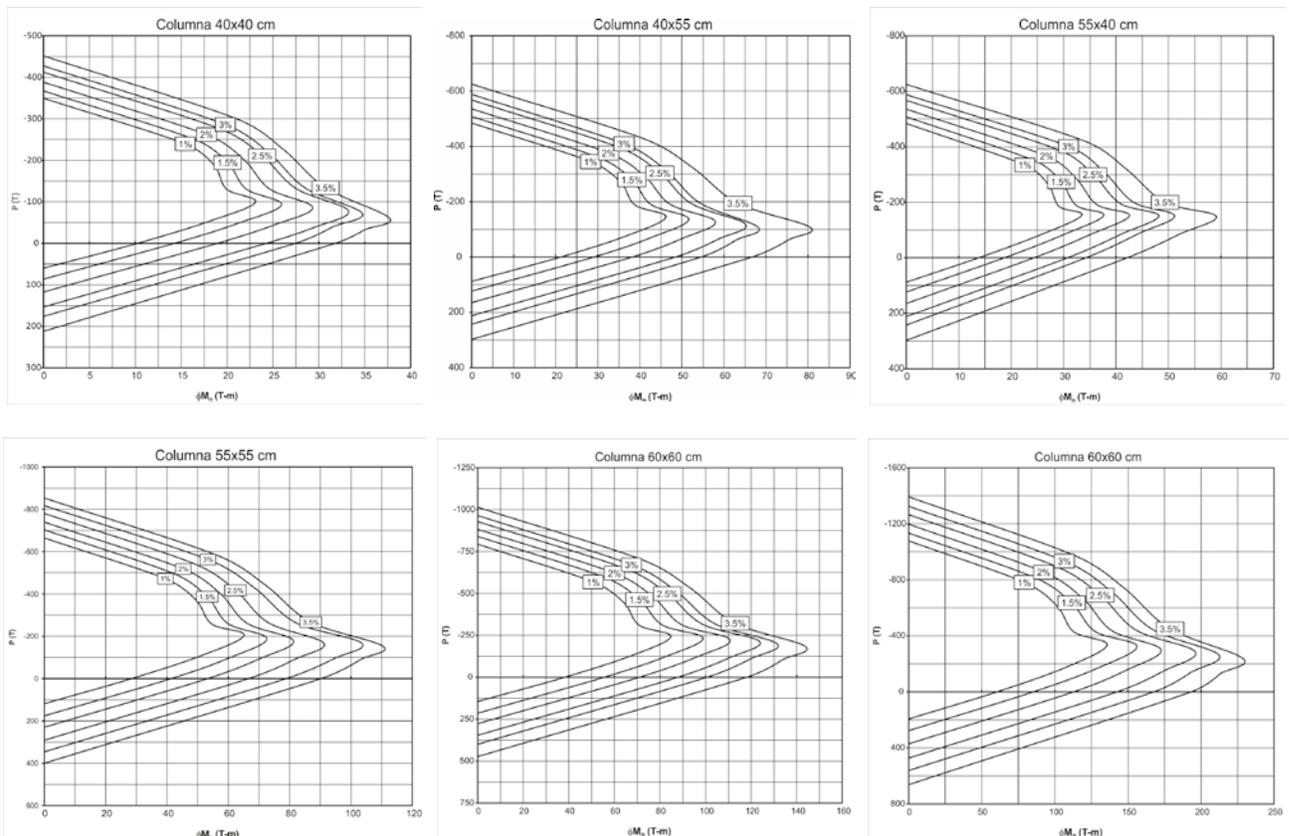


Figura 13.8 Diagramas de interacción de columnas

## Guía general para el dimensionamiento de vigas y selección de entrepisos

Los datos de entrada de las tablas de dimensionamiento de vigas son:

- La sobrecarga de diseño (carga permanente adicional al peso estructural más carga temporal).
- La longitud neta de la viga y la longitud tributaria de carga.

Con base en dicha información se pueden seleccionar vigas prefabricadas de sección Te (VT) o sección Torre (VTo) apropiadas para tomar las cargas. A continuación, se presenta una tabla con la descripción de las propiedades geométricas de cada tipo de viga.

Es importante tener en cuenta que las condiciones de apuntalamiento temporal durante el proceso constructivo tienen implicaciones sobre el desempeño estructural de las vigas. Por esto, en las tablas de dimensionamiento y selección se muestran opciones de diseños de vigas para diversos casos de apuntalamiento de los entrepisos de Losa Lex, a saber: a) sin apuntalamiento temporal y b) con apuntalamiento de la Losa Lex para el colado de la sobrelosa.

Para las vigas de carga se deben utilizar las tipologías descritas en las tablas de diseño, con referencia a la tabla de propiedades geométricas.

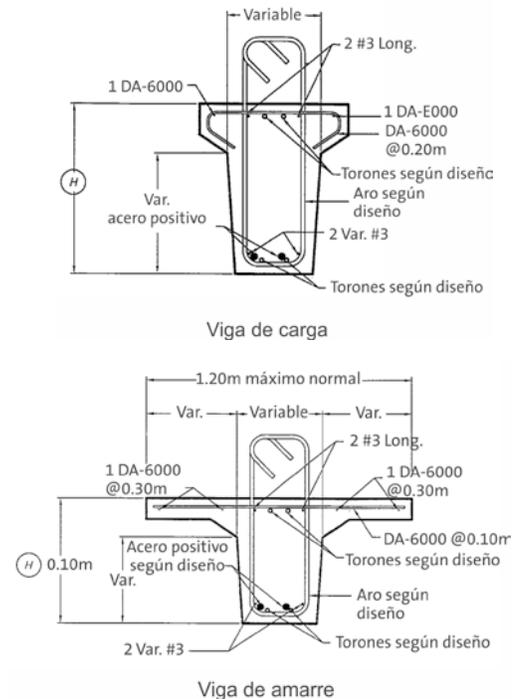


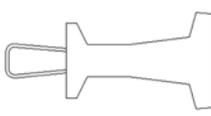
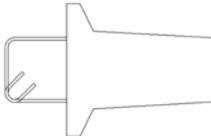
Figura 11.9 Secciones típicas de vigas de carga y amarre respectivamente

Tabla 11.3 Vigas de entrepiso: propiedades geométricas de la tipología de vigas							
Tipología	h cm	Área cm <sup>2</sup>	y cm	Inercia cm <sup>4</sup>	B <sub>ft</sub> cm	fM <sub>n</sub> <sup>+</sup> T-m	
1	VTo 40-2A/2C	40	860.27	21.55	133745	35	25.5
2	VTo 40-2A/4B	40	860.27	21.55	133745	35	34.1
3	VTo 50-2A/3C	50	1308.5	22.51	342839	35	42.6
4	VTo 50-2B/5C	50	1308.5	22.51	342839	35	59.8
5	VTo 60-2A/4C	60	1458.5	26.88	560333	35	62.7
6	VTo 60-2B/6C	60	1458.5	26.88	560333	35	77.8
7	VTo 70-2A/4C	70	1608.5	31.37	849808	35	72
8	VTo 70-2B/6C	70	1608.5	31.37	849808	35	97.2
9	VTo 80-2B/5C	80	1758.5	35.95	1219007	35	97.3
10	VTo 80-2C/7C	80	1758.5	35.95	1219007	35	119.9
11	VTo 90-2B/5C	90	1908.5	40.59	1675594	35	108.9
12	VTo 90-2C/7C	90	1905.5	40.59	1675594	35	141.1
1	VT 30-2A/3B	30	920.72	17.07	73079	46.9	22.6
2	VT 40-2A/3B	40	1201.17	22.51	172136	48.1	27.7
3	VT 40-2B/3C	40	1201.17	22.51	172136	48.1	37.1
4	VT 50-2A/3C	50	1493.17	27.91	334472	49.2	44.3
5	VT 50-2B/4C	50	1493.17	27.91	334472	49.2	56.4
6	VT 60-2B/3C	60	1796.72	33.32	576707	50.4	51.5
7	VT 60-2C/5C	60	1796.72	33.32	576707	50.4	79.3
8	VT 70-2B/4C	70	2111.83	38.75	916448	51.5	75.7
9	VT 70-2C/5C	70	2111.83	38.75	916448	51.5	91.4
10	VT 80-2B/4C	80	2438.5	44.22	1372280	52.7	85.4
11	VT 80-2C/5C	80	2438.5	44.22	1372280	52.7	103.6
12	VT 90-2C/5C	90	2776.72	49.73	1963748	53.8	115.8
13	VT 90-2C/6C	90	2776.72	49.73	1963748	53.8	135.3

**Nota:** Lectura de las tipologías: VT 50-2B/4C — Torones inferiores: A (torón de f = 3/8"), B (torón de f = 1/2"), C (torón de f = 0.6")  
 Tipo de viga: VT (viga Te) ó VTo (viga Torre) — Torones superiores: A (torón de f = 3/8"), B (torón de f = 1/2"), C (torón de f = 0.6")  
 Peralte en centímetros

La capacidad de momento positivo es al centro de la luz y se calcula suponiendo Losa Lex de 20 cm de peralte y una sobrelosa de 6 cm y un concreto de completamiento con f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 11.4 Selección de vigas de carga

Vigas de entrepiso	Sobre-carga CP <sub>adic</sub> + CT kg/m <sup>2</sup>	Luz tributaria m	Altura del entrepiso cm	Tipología de pastilla sin apuntalamiento				Tipología de pastilla apuntalada para la sobrelosa				Tipología de pastilla apuntalada para la LosalEx			
				Luz de la viga				Luz de la viga				Luz de la viga			
				6 m	8 m	10 m	11 m	6 m	8 m	10 m	11 m	6 m	8 m	10 m	11 m
<b>Viga Torre (VTo)</b> 	400 <sup>1</sup>	6	4	6	8	2	3	6	6	1	1	2	3		
		8	6	10	12	3	5	8	10	1	2	3	4		
		10	10			4	8	12		1	2	4	6		
	500 <sup>2</sup>	11	10			4	8			1	2	4	6		
		6	4	6	8	2	4	6	8	1	1	3	4		
		8	6	10	12	3	6	10	12	1	2	4	4		
	600 <sup>3</sup>	10	10			4	8			1	2	4	6		
		11	10			4	9			1	3	5	6		
		6	4	6	8	2	4	6	8	1	1	3	4		
	700 <sup>4</sup>	8	10			3	6			1	2	4	5		
		10	10			3	6			1	3	4	6		
6		10			4	8			1	3	6	6			
<b>Viga Te (VT)</b> 	400 <sup>1</sup>	6	5	9	11	2	4	7	9	1	1	3	4		
		8	9	13		4	7	12	13	1	2	4	5		
		10	12			5	11			1	3	5	7		
	500 <sup>2</sup>	11	13			7	11			1	3	5	7		
		6	7	9	11	2	5	7	10	1	1	4	5		
		8	9	13		4	7	12	13	1	2	5	7		
	600 <sup>3</sup>	10	12			5	11			1	3	7	7		
		11	13			7	12			1	3	7	9		
		6	7	9	12	2	5	8	11	1	2	4	5		
	700 <sup>4</sup>	8	9	13		4	7	12		1	3	5	7		
		10	12			5	11			1	3	7	9		
11		13			7	12			1	4	7	9			
	6	7	10	12	2	5	9	11	1	2	4	7			
	8	9	13		4	7	12		1	3	7	7			
	10	13			7	11			1	4	7	9			

**Estructuras de referencia para cada tipo de carga:**

1 Habitacional, parques, azoteas. 2 Oficinas. 3 Oficinas de alta densidad, centros comerciales mercancia ligera, bodegas, cines, templos, gimnasios, teatros. 4 Centros comerciales mercancias con peso intermedio, bibliotecas, estadios, archivos.

**Nota:** Supuestos: CP<sub>adic</sub> de 200 kg/m<sup>2</sup> general y de 100 kg/m<sup>2</sup> para parques. Se utiliza un factor de carga general de 1.40 para demanda última. Se utiliza un factor de continuidad de -0.65 (razón entre el momento de continuidad en extremos y el momento máximo simplemente apoyado). Se supone el concreto de completamiento de f<sub>c</sub> = 280 kg/cm<sup>2</sup>. La capacidad de momento positivo es al centro de la luz y se calcula suponiendo Losa lex de 20 cm de peralte y una sobrelosa de 6 cm.

## 11.5 La construcción y detallado de edificios prefabricados

A continuación, se presentan recomendaciones de diseño, detallado y construcción de edificios con entresijos prefabricados:

1. Se debe hacer lo posible por modular el entresijo de manera que no haya cortes longitudinales de Losa Lex (medias losas) ni "cuchillas" en planta.
2. Es posible modificar el ancho superior de las vigas de amarre o montar la Losa Lex sobre ellas para tratar de utilizar solamente piezas completas de esta losa.
3. Es conveniente que el peralte de las vigas de amarre tenga 10 cm menos que el peralte de las vigas de carga, de manera que se evite el choque del refuerzo inferior en el nudo.
4. El apoyo temporal de las vigas en las columnas debe hacerse preferiblemente mediante un capitel, que debe tener un angular dispuesto para soldar el herraje previsto en las vigas para tal efecto. También se pueden apoyar las vigas mediante otros detalles, tales como herrajes soldados en aceros de sacrificio en la columna.
5. Se debe procurar disminuir al máximo el apuntalamiento intermedio de las vigas para incrementar la eficiencia en el montaje. De esta forma se obtiene el mayor provecho posible del preesforzado.
6. El apuntalamiento lateral para evitar el vuelco de las vigas por carga excéntrica durante el proceso constructivo será el que resulte del análisis, pero deberá ser mínimo de dos puntales 4x por cada lado. Cuando no se pueda apuntalar lateralmente apoyándose en las alas de la viga, se deben emplear los ductos de 2,50 cm de diámetro previstos en las vigas para colocar en sitio pines #6 para tal efecto.
7. La cuadrilla típica para montar un entresijo son dos personas para bajar las piezas del camión, dos para el montaje y dos para soldar y apuntalar.
8. Debe evitarse en la medida de lo posible el uso de collarines de acero (ménsulas provisionales ancladas a las columnas mediante pernos en ductos previstos en la colada de estas). Se requieren cuatro personas adicionales para la colocación de los ductos, además de que estos elementos normalmente se mueven durante el colado de la columna.
9. Antes de empezar el diseño es conveniente determinar la secuencia de montaje, para evitar problemas con la posición de los aceros que salen una vez que las piezas están en sitio.
10. Es conveniente que las vigas tengan dientes de corte en sus extremos, ya que mejora su desempeño.
11. Es posible considerar una reducción en la demanda de momento en los extremos (de acuerdo con las condiciones de apuntalamiento supuestas), debido a que la viga toma ciertas cargas simplemente apoyada. Esto puede ayudar a reducir el acero negativo en los extremos y, consecuentemente, la demanda de cortante por capacidad.
12. Es conveniente revisar la posición de las gazas de izaje respecto a la distribución de los aros para evitar que estos se doblen excesivamente durante el montaje.
13. Cuando se requieran pasantes mecánicos en las vigas, es conveniente ubicarlos en los tercios de la viga para evitar problemas con el cortante. Además, deben reforzarse adecuadamente.

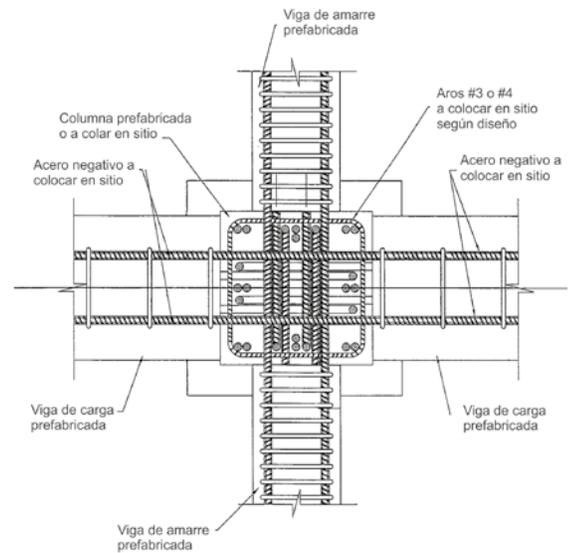


Figura 11.10 Detalle típico de nudo

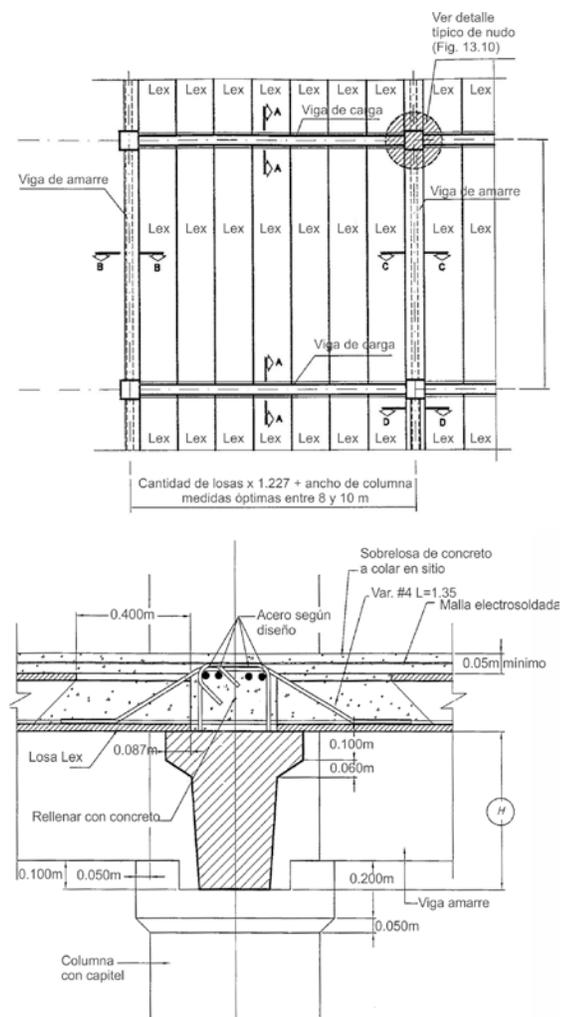


Figura 11.11 Planta típica de entresijos y sección A-A conexión de la viga de carga con el entresijo.

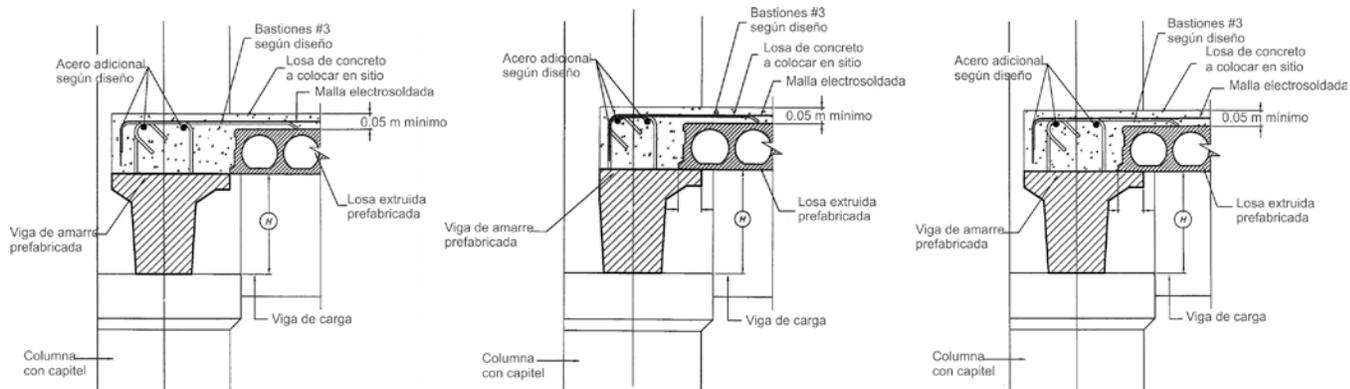


Figura 11.12 Secciones B-B, opciones 1, 2 y 3 de conexión viga de amarre lateral - entrepiso

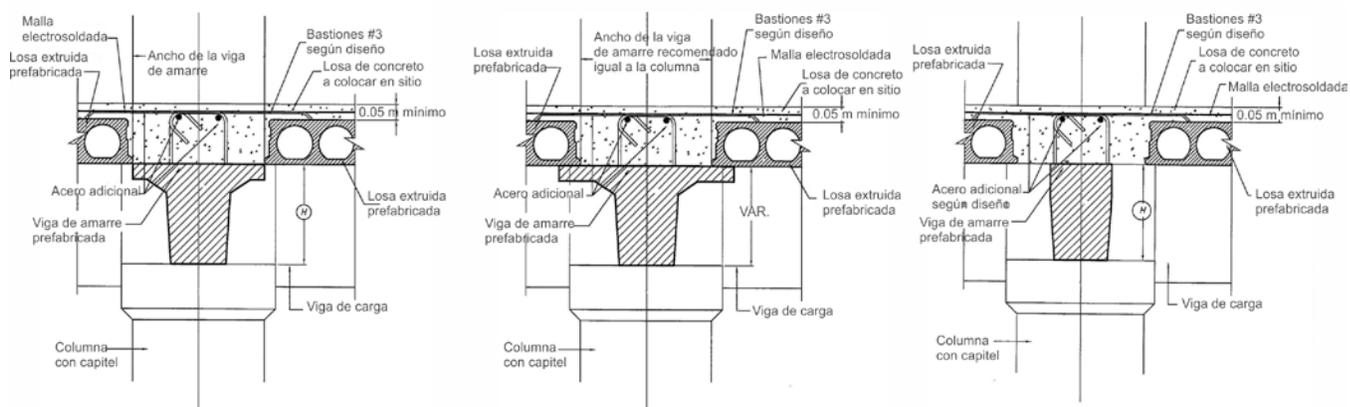


Figura 11.13 Secciones C-C, opciones 1, 2 y 3 de conexión viga de amarre central - entrepiso

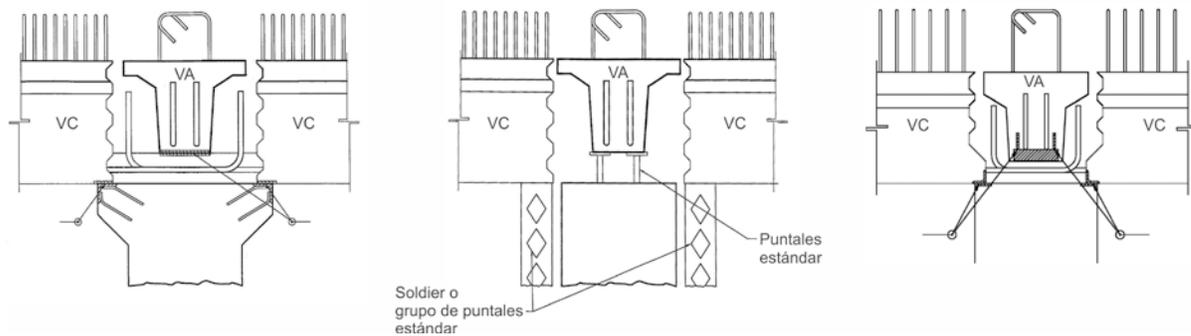


Figura 11.14 Sistemas de apoyo temporal de vigas en columnas

14. Revisar con el ingeniero residente el peso probable de las vigas antes de empezar el diseño, para verificar que se pueda manipular en sitio con el equipo que se prevea utilizar.
15. La Losa Lex debe llevar siempre bastiones de conexión a la viga como se indica en los detalles de este manual.
16. Es conveniente detallar ménsulas para el apoyo de la Losa Lex en la llegada de muros. También es posible la transferencia de carga por el mecanismo de cortante-fricción.
17. De requerirse un pasante mecánico grande en la Losa Lex (más de 20 cm), se debe solicitar y detallar una viga de borde que tome la carga que lleva dicha losa en este punto.
18. Cuando se estén utilizando columnas coladas en sitio, se debe tener cuidado con la madurez del concreto a la hora de cargar las columnas. Lo ideal es que el concreto tenga una resistencia mínima de 140 kg/cm<sup>2</sup> para colocar las vigas, aunque esta condición debe revisarse para cada caso particular.
19. Cuando se estén apuntalando las vigas en los extremos o en el centro, se debe mantener por lo menos dos pisos apuntalados a la vez, para dar tiempo al piso superior de alcanzar resistencia para tomar las cargas. Se debe verificar cada caso particular.

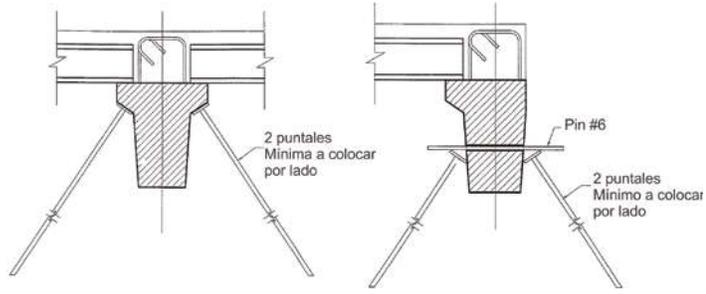


Figura 11.15 Apuntalamiento lateral

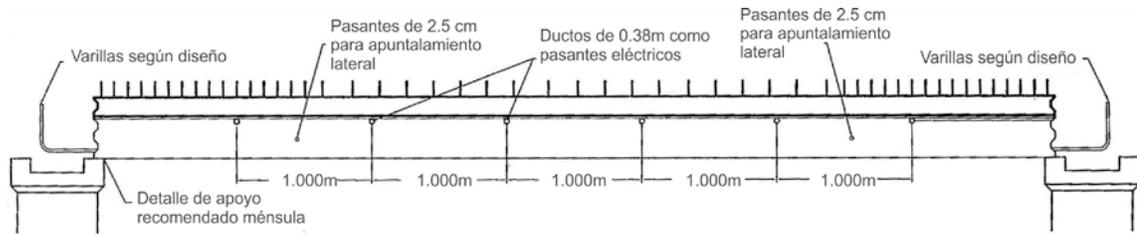


Figura 11.16 Vista longitudinal de viga de amarre, ubicación estándar de pasantes

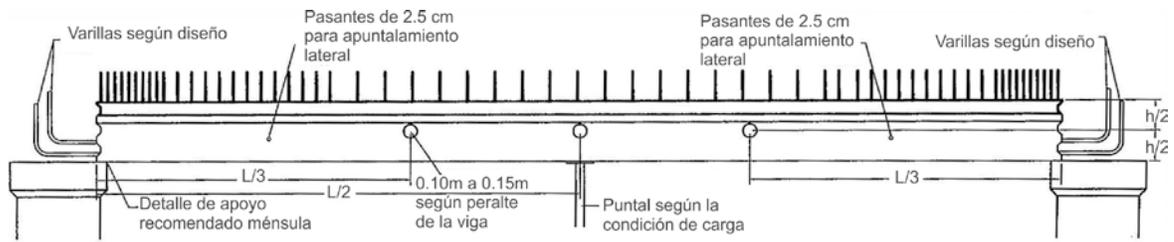


Figura 11.17 Vista longitudinal de viga de carga, ubicación estándar de pasantes



## CAPÍTULO 12

# INSTALACIONES DEPORTIVAS

Holcim Modular Solutions provee estructuras prefabricadas para la construcción de graderías y gimnasios, tales como placas de fundación, columnas, vigas y otros componentes.

### 12.1 Graderías

El sistema de graderías combinado se basa en estructuras de muros de mampostería o colados en sitio y elementos prefabricados. Cada proyecto se diseña según sus dimensiones. Los tamaños típicos y los mínimos supuestos para cada elemento se mencionan en la sección 12.3.

En las graderías con columna tipo pedestal todas las piezas son prefabricadas, (placas de fundación, columnas, vigas, graderías y gradines).

En otros tipos de graderías se trabaja con columnas tradicionales prefabricadas, lo mismo que el resto de la estructura, como en el caso anterior.



Graderías combinadas

Graderías con columnas tipo pedestal



Graderías de sol

Graderías de sombra

Figura 12.1 Graderías típicas

### 12.2 Graderías tipo Keystone

En este caso, la colocación de bloques Keystone Compact genera una retención que actúa por el peso propio de estos elementos y su relleno granular interno. De esta manera, se conforman pequeñas terrazas con tapas Keystone que funcionan como área para sentarse.

### 12.3 Gimnasios

Los gimnasios se construyen casi en su totalidad con componentes prefabricados, incluyendo placas de fundación (si la dimensión de diseño lo permite), columnas, graderías y las vigas que las soportan, gradines, escaleras, vigas de entrepiso, vigas de techo, cerchas, monitores, vigas de amarre, vigas canoa y largueros con clavador previsto hasta el cerramiento. El cerramiento puede hacerse con paneles verticales u horizontales. El aprovechamiento de las ventajas del prefabricado depende del diseñador.

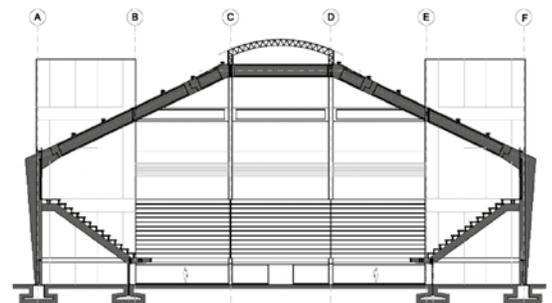


Figura 12.2 Esquema estructural de un gimnasio prefabricado



Algunos ejemplos de instalaciones deportivas que se han construido con el sistema prefabricado de Holcim Modular Solutions son:

a) Gradería para estadios:

- Estadio Ricardo Saprissa
- Estadio de Limón
- Estadio de Paraíso
- Estadio de San Ramón
- Estadio de San Antonio de Belén

b) Gradería para gimnasios:

- Costa Rica Country Club
- Colegio Saint Clare
- San Miguel de Desamparados

c) Graderías para plazas deportivas:

- Plaza de deportes en Sabanilla
- Plaza de deportes de Río Claro, Golfito

d) Gimnasios:

- Gimnasio de Esparza
- Gimnasio de Puntarenas
- Gimnasio de Nicoya
- Gimnasio de Santa Cruz



Figura 12.3 Gimnasio de Cartago

Figura 12.4 Ejemplos de gimnasios prefabricados

## 12.4 Ayudas de diseño

El Reglamento de Construcciones (publicado en la Gaceta N°56, Alcance N°17 de 22 de marzo de 1983, reformada en Gaceta N°117 del 22 de junio de 1987. Reformada en sesión N°65 del INVU el 23 de marzo de 1988), en su capítulo XI, artículo XI.1, apartado XI.1.3, clasifica como edificios deportivos los estadios, gimnasios, hipódromos, plazas de toros e instalaciones similares.

Dicho reglamento cita aspectos importantes que se deben tomar en cuenta al diseñar edificios deportivos, entre los cuales se mencionan los siguientes:

- La capacidad de los edificios deportivos será de un espectador por cada cuarenta y cinco centímetros de longitud de grada o por butaca o asiento.
- Con respecto a las salidas, todo sitio de reunión pública con capacidad hasta mil personas deberá tener por lo menos tres puertas de salida con anchura mínima de un metro ochenta centímetros (1,80 m) cada una y deberán abrir hacia afuera o a ambos lados. Cuando la capacidad sea mayor de mil personas, se deberá contar con cuatro puertas de salida adicionándole una puerta por cada mil personas o fracción de millar.
- Cada piso o local con capacidad superior a cien personas, deberá tener, además de las puertas especificadas en el artículo XI.5 dos salidas de emergencia que comuniquen a la calle directamente o por medio de pasillos independientes. La anchura de las salidas y pasillos deberá permitir el desalojo de la sala en tres minutos.
- El ancho mínimo de las puertas será de 1,20 m.
- Para la ubicación de las escaleras se tomará en cuenta que la distancia a recorrer para llegar hasta estas no exceda los treinta metros.

Para el diseño de la edificación debe tomarse en cuenta lo especificado por la norma NFPA 101, Código de Seguridad Humana (edición 2000), de la National Fire Protection Association, que en su capítulo 12 hace referencia a las ocupaciones nuevas para reuniones públicas, entre las que se encuentran los gimnasios.

El capítulo IV del Reglamento a la Ley 7600, Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad en Costa Rica, hace referencia al acceso al espacio físico que debe tomarse en cuenta al diseñar este tipo de instalaciones. Más adelante en este manual se muestra un esquema en corte con el ancho de pasillo indicado.

La grada prefabricada utilizada en los pasillos internos resuelve el tamaño solicitado por el reglamento. Para los pasillos externos se trabaja con el sistema de entrepiso Losa Lex.

En el siguiente esquema se muestran las dimensiones que se alcanzan con los elementos prefabricados en graderías. Se indican las dimensiones recomendadas para los pasillos, la altura mínima de baranda y el ángulo de la línea visual.

La longitud recomendada por el Reglamento a la Ley 7600 para las graderías es de hasta 10 m. Con ella se modulan la estructura y la distribución arquitectónica, logrando luces manejables y puntos clave para las salidas.

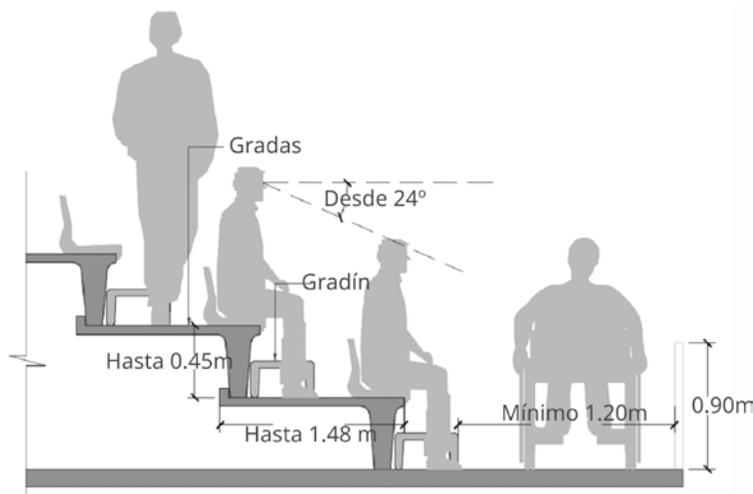


Figura 12.5 Dimensiones típicas de graderías

Tabla 12.1 Recomendaciones para las dimensiones de los terrenos de juego		
Juego	Tamaño de terreno de juego o pista (m)	Altura libre recomendada (m)
Aikido	9x9	
Atletismo artístico	12x12	5.5
Badminton	13.4x6.1	9
Baile deportivo	16x14	4
Baloncesto	26x14	7
Baloncesto alemán	60x25	
Balonmano	40x20	
Balonmano (juego a 7)	40x20	7
Balonvolea	18x9	12.5
Billar americano	2.7x1.4	
Bolos (competición)	40.9	
Boxeo	6.1x6.1	4
Cama elástica	5.2x3	
Ciclismo, polo y fútbol sobre bicicleta	14x11	4
Esgrima	14x2	
Fútbol sala	36x28	5.5
Fútbol	105x68	
Gimnasia artística	52x27	8
Gimnasia de trampolín	12.57x10.74	7
Gimnasia rítmica	13x13	8
Halterofilia	4x4	4
Hockey	91x55	
Hockey sala	40x20	5.5
Judo	16x16	4
Juego de la barra (Marro)	30x25	
Juego de pelota	50x20	
Juego de pelota con el puño	40x20	7
Karate	8x8	
Kendo	11x10	
Lanzamiento de pelota con onda	160x45	
Lucha	12x12	
Lucha grecoromana	12x12	4
Netball	30.5x15.2	
Patinaje	61x26	
Patinaje artístico / Baile sobre patines	40x20	4
Ping pong	2.74x1.525	4
Prellball	16x8	
Rugby (americano)	109.75x48.8	
Rugby (europeo)	100x68.4	
Snooker - Billar	3.7x1.9	
Squash	9.7x6.4	
Squash americano	9.7x5.6	
Squash dobles	13.7x7.6	
Tenis	23.77x10.97	7
Tiro con arco (6 arcos)	22x7.5	
Tiro de pelota	25x70	
Tiro de pequeño calibre (fusil)	25x4.2	
Tiro de pequeño calibre (pistola)	25x6.4	

Fuente: Colección dimensiones en arquitectura. Espacios deportivos cubiertos. GG/México.



## CAPÍTULO 13

# PUNTES PREFABRICADOS

Holcim Modular Solutions ofrece tecnología para la construcción de puentes. La prefabricación y el uso de concreto preesforzado son aspectos esenciales para lograr puentes económicos y estructuralmente eficientes.

Los puentes se pueden clasificar de acuerdo con:

- Su función: vehiculares, peatonales.
- Los materiales principales usados para la construcción de la estructura: concreto armado, concreto preesforzado, acero y sección compuesta, entre otros.
- El tipo de estructura: simplemente apoyados, continuos, simples de tramos múltiples, voladizos, en arco, atirantado, colgantes o levadizos, entre otras.



Figura 13.2 Puente peatonal tipo arco

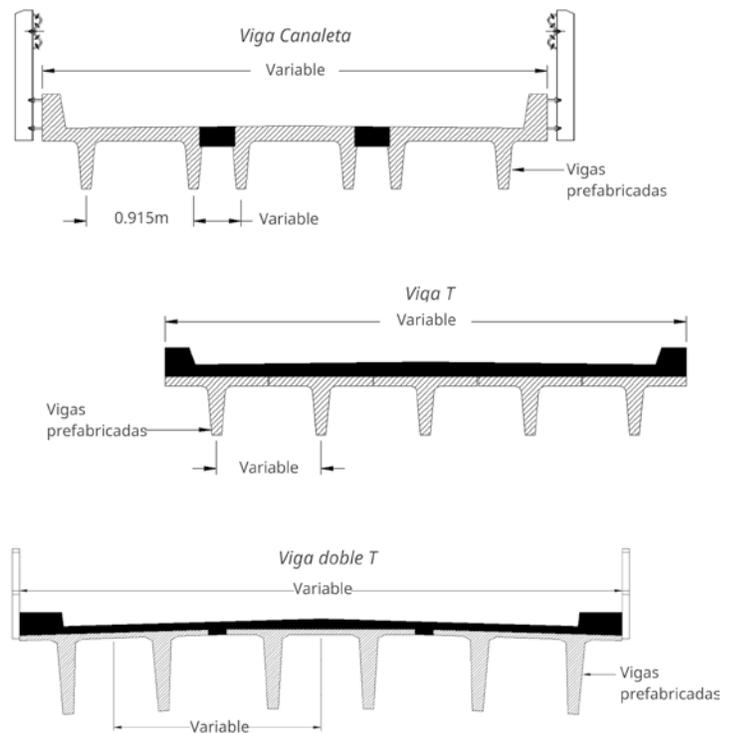


Figura 13.1 Elementos típicos de puentes

La estructura de un puente se puede subdividir en subestructura y superestructura. En la primera se incluyen bastiones y pilas, que pueden ser prefabricados o colados in situ. Su diseño depende de las condiciones del suelo, hidráulicas, sísmicas y del tipo de carga vehicular. Para los puentes vehiculares, en el caso de la superestructura, aunque puede colarse in situ, es más común usar elementos prefabricados pretensados o postensados, según el caso. Las secciones pueden ser canaletas, T, doble T o I, que dependen de la longitud que se requiera.

Las vigas canaletas, T o doble T pueden o no tener losa vaciada in situ. Cuando no tengan losa vaciada in situ, se vaciará solamente una junta entre ellas. Cuando se vacíe una losa in situ, el espesor mínimo requerido es de 10 cm. Para el caso de vigas I, I modificada y tipo bulbo, la losa se puede resolver vaciada in situ, con losas prefabricadas o una combinación de ambas.

Para el caso de los puentes peatonales, Holcim Modular Solutions ha construido puentes menos tradicionales, como los tipos arco que se han edificado durante los últimos años en varias rutas nacionales del país.

### 13.1 Puentes vehiculares

Como todo sistema prefabricado, estos puentes tienen muchas ventajas:

- Rapidez de construcción
- Disminución de formaletas en la obra
- Alta resistencia del concreto
- Excelente control de calidad
- Bajo mantenimiento

### Puentes cortos con el uso de vigueta

Holcim Modular Solutions suministra las viguetas en este caso, las cuales son útiles hasta cargas HS-15, con las siguientes ventajas:

- La solución más económica del mercado
- Instalación manual de vigas
- Alta resistencia

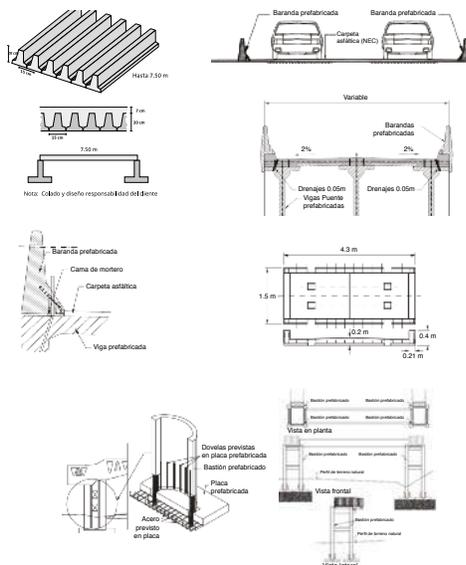


Figura 13.3 Geometría de puente con viguetas

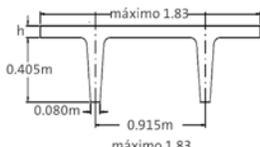
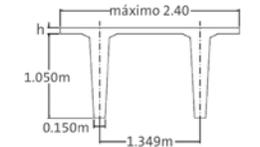
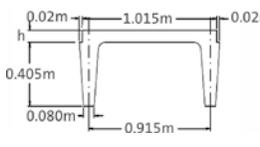
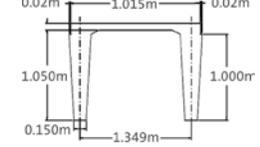
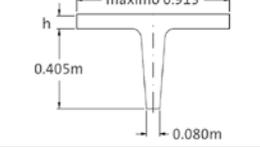
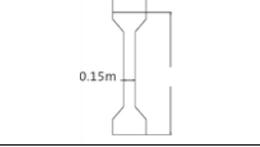
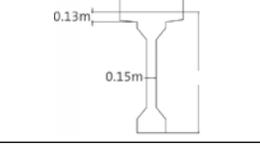
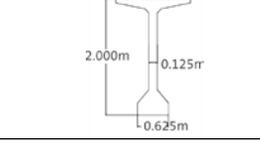
### Geometrías para puentes vehiculares

Tabla 13.1 Puentes de velocidad inferior a 70 km/h y sin ciclovia			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	-	-	No aplica.
Ap	6050	9700	Ancho total interno del puente.
h	150	150	Altura recomendada del bordillo, máximo 180 mm.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	-	-	No aplica.

Tabla 13.2 Puentes de velocidad superior a 70 km/h y sin ciclovia			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	-	-	No aplica.
Ap	6950	10600	Ancho total interno del puente.
h	-	-	No aplica.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	810	810	Altura mínima de la baranda New Jersey.

Tabla 13.3 Puentes con ciclovia			
	Un carril (mm)	Dos carriles (mm)	Comentarios
Av	3650	7300	Ancho de carril recomendado.
Aa	1200	1200	Ancho de acera mínimo considerando una silla de ruedas y una persona. Ideal 1500 mm.
Ac	2500	2000	Ancho mínimo recomendado. Ideal 2500 mm.
Ap	6950	14600	Ancho total interno del puente.
h	150	150	Altura recomendada del bordillo, máximo 180 mm.
hb	1070	1070	Altura mínima de la baranda peatonal. En este caso se debe diseñar para soportar el empuje de un vehículo.
hn	810	810	Altura mínima de la baranda New Jersey.

Tabla 13.4 Características de las secciones para puentes

Tipo de puente Sección de viga utilizada		Lux máxima	Altura H	Espesor de losa h (ver nota 2)	Área	Momento de inercia	Posición del centroide (Yb)	Módulo de la sección 5b	Módulo de la sección 5t	Peso	
											m
Viga doble T	Tipo I		7.5	48.0	7.5	2263.5	390488	35.53	10990.4	31314.2	565.9
		7.5	54.5	14.0	3453.0	587428	40.94	14348.5	43320.6	863.3	
	Tipo II		25.0	112.5	7.5	6326.0	7410917	72.82	101770.4	186767.1	1581.5
		25.0	119.0	14.0	7886.00	9722345	81.31	119571.3	257955.6	1971.5	
Viga canaleta	Tipo I		10.0	48.0	7.5	1652.25	323910	32.30	10028.2	20631.2	413.1
		10.0	54.5	14.0	2312.0	495538	37.71	13140.8	29513.9	578.0	
	Tipo II		27.0	112.5	7.5	5637.25	6439955	68.50	94013.9	146362.6	1409.3
		27.0	119.0	14.0	6661.00	8377513	75.76	110579.6	193744.5	1665.3	
Viga T		12.0	48.0	7.5	1131.75	195244	35.52	5496.7	15644.6	282.9	
		12.0	54.5	14.0	1726.50	293714	40.94	7174.3	21660.3	431.6	
Viga I		25.0	144.0	N/A	3402.0	8285571	67.40	122931.3	108166.7	850.5	
		28.0	170.2	N/A	3777.0	12794514	79.85	160231.9	141610.6	944.3	
Viga I modificada		30.0	157.0	N/A	4633.0	14593583	89.50	163056.8	216201.2	1158.3	
		38.0	183.2	N/A	4994.5	21511449	103.55	207739.7	270074.7	1248.6	
Viga bulbo		50.0	200.0	N/A	6790.75	37398196	106.77	350268.8	401139.1	1697.7	

Nota:

1. Las luces máximas están definidas para carga HS-20+25%, especificaciones AASHTO y condición isostática. Para cargas menores y/o puentes hiperestáticos estas luces pueden aumentarse.

2. Para las vigas sección T, doble T y canaleta se define que:

a) Cuando el espesor de la losa es 7.5cm, hay que vaciar una losa en sitio de 10 cm mínimo.

b) Cuando el espesor de la losa es de 14cm, no se requiere losa en sitio, sólo se vaciará una junta entre vigas Subestructura y superestructura puente vehicular Pauita, carretera Interamericana Sur

## Barandas de concreto para puentes

Holcim Modular Solutions ofrece barandas prefabricadas de concreto para separar:

- Calzadas de rodamiento-acera
- Sentidos de circulación de rodamiento en calzadas

Entre esas opciones, se dispone de barandas estándar o con faldones, que se colocan en la orilla de los puentes. La función principal del faldón es tapar la viga del puente, mejorando así su estética.

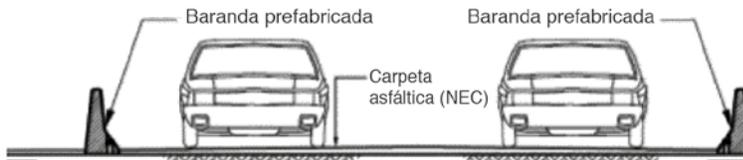


Figura 13.4 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto

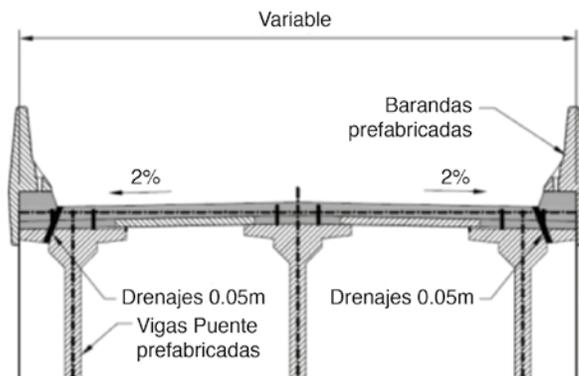


Figura 13.5 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto con faldones

En la figura 13.5 se aprecia un detalle del anclaje de una baranda simple en la calzada del puente.



Figura 13.6 Detalle de anclaje de una baranda



Figura 15.7 Ejemplo de barandas prefabricadas de concreto sobre puente Río Aranjuez

## Losas prefabricadas para puentes vehiculares

Las losas prefabricadas de concreto son elementos estructurales diseñados para soportar cargas de puentes en claros variables.

Estos elementos son ideales para edificar puentes y permiten reducir los costos de construcción y en los plazos de ejecución. Además, mejoran la calidad, la limpieza y la estética.

El tamaño estándar de la losa prefabricada es de 4,30 m de ancho por 1,50 m de largo, según se puede observar en la figura 13.8.

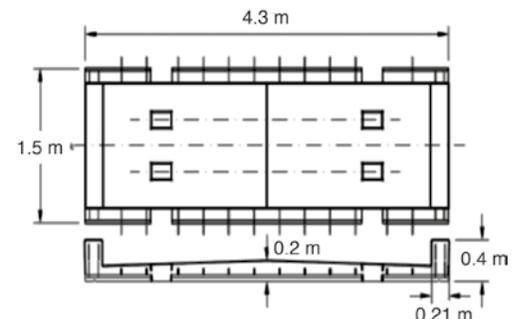


Figura 13.8 Losa prefabricada de concreto prefabricada típica

## Bastiones prefabricados

En general, los bastiones para puentes vehiculares y peatonales pueden ser prefabricados. En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos.

## Detalles de diafragmas laterales y centrales

Existe la posibilidad de contar con vigas de diafragma prefabricadas de concreto.

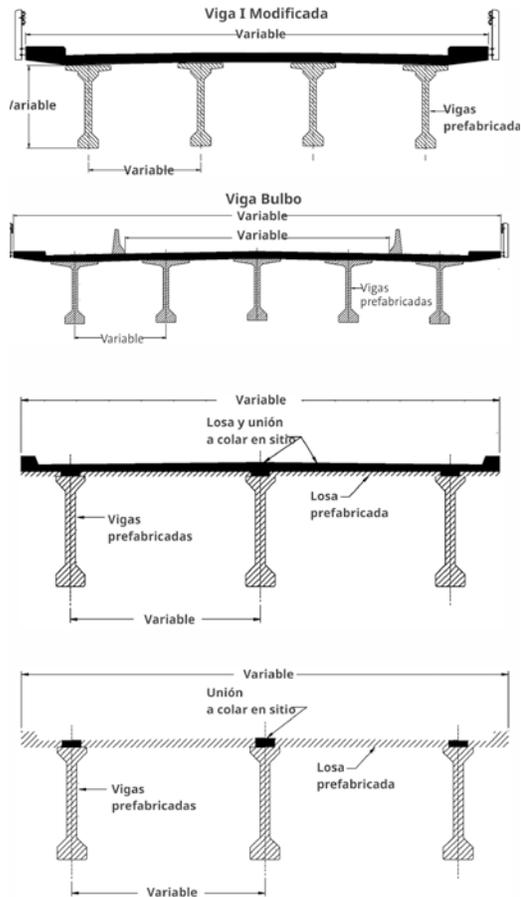


Figura 13.9 Losas prefabricadas para puentes

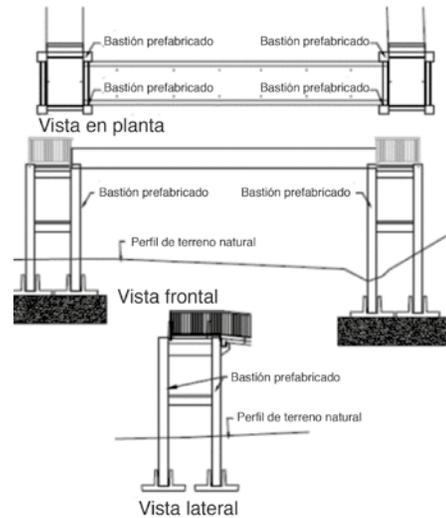
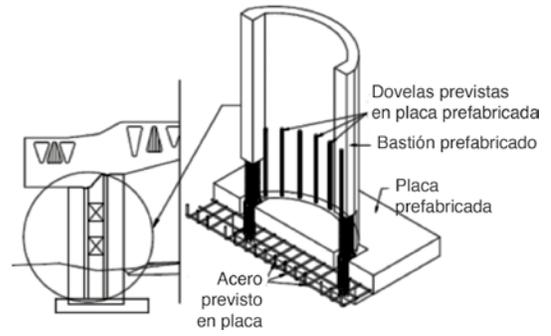


Figura 13.10 Ejemplos de bastiones prefabricados



Figura 13.11 Bastión prefabricado en puente peatonal Río Oro



Figura 13.12 Bastión prefabricado en puente peatonal Multiplaza Escazú



Figura 13.13 Bastión prefabricado en puente peatonal Pozos de Santa Ana

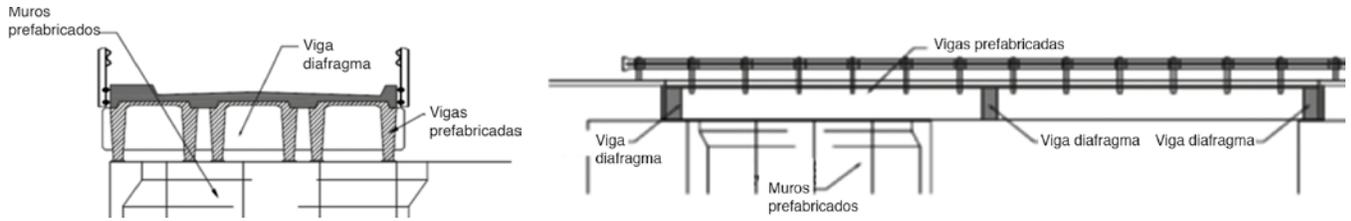


Figura 13.14 Ejemplo de vigas diafragma prefabricadas de concreto

### 13.2 Puentes peatonales

Estas obras se diseñan con las especificaciones de anchos y pendientes requeridas para personas discapacitadas. El sistema constructivo es similar al que se usa para puentes vehiculares.

Como todo sistema prefabricado, estos puentes minimizan el tiempo de construcción, dado que se reduce el tiempo de las obras que deben ser coladas en sitio. Además, permiten tener una mayor limpieza y son amigables ambientalmente porque utilizan menos formaleta y hay menos desperdicio. A continuación, se enlistan elementos básicos geométricos para el diseño de puentes peatonales.

#### Requisitos técnicos para rampas accesibles

El entorno físico se diseña teniendo en mente los conceptos de seguridad y eficacia para el mayor número de personas, incluyendo aquellas con discapacidad. La accesibilidad a los puentes peatonales debe garantizar el cumplimiento de la ley 7600, Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad en Costa Rica y su reglamento. A continuación se presenta una lista de los requisitos técnicos para las rampas de acceso a los puentes peatonales.

#### Pendiente longitudinal

Las pendientes máximas de las rampas de acceso dependen de su longitud, la que se mide en su proyección horizontal (L). Cuando la longitud es menor que 3,0 m, la pendiente máxima es de 12 %.

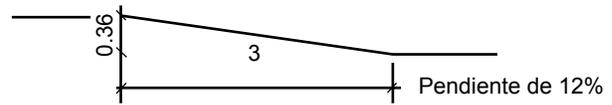


Figura 13.15 Pendiente máxima del 12%. Fuente: INTE W4 Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas. Requisitos.

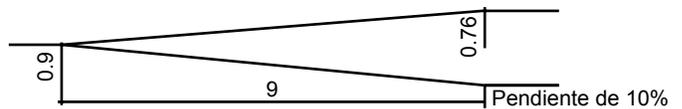


Figura 13.16 Pendiente máxima del 10%

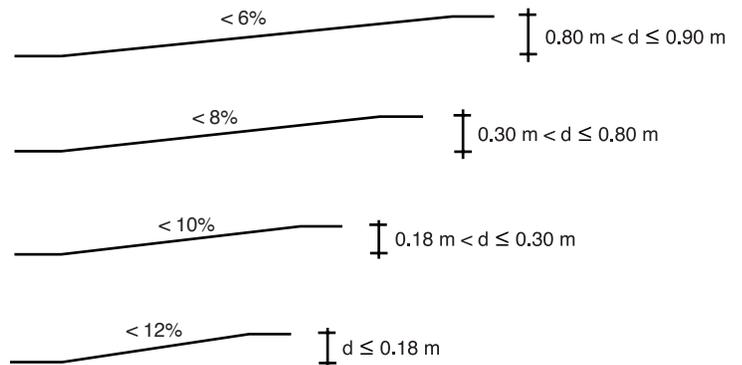


Figura 13.17 Pendientes máxima longitud en función del desnivel a salvar (d). Fuente: INTE W4 "Accesibilidad de las personas al medio físico. Rampas. Requisitos."



Figura 13.18 Puentes peatonales sobre la ruta 27 Santa Ana

## Ancho

El ancho mínimo libre de las rampas debe ser de 1,2 m.

## Descansos

Los descansos deben colocarse:

- Entre tramos de rampa no mayores a 9 m.
- Cuando exista la posibilidad de un giro.
- Frente a cualquier tipo de acceso.

El largo y ancho del descanso debe tener una dimensión libre mínima de 1,2 m.

## Superficies de aproximación a rampas

Al iniciar y finalizar la rampa de acceso, debe existir una superficie de aproximación:

- Que permita inscribir un círculo de 1,5 m de diámetro como mínimo.
- Que cuente con un cambio de textura a piso como advertencia.
- Que no debe ser invadida por elementos fijos, móviles o desplazables.

## Pasamanos

Los pasamanos son un elemento continuo de apoyo y sujeción que acompaña la dirección de una circulación horizontal o vertical.

Cuando las rampas salven desniveles superiores a 25 cm, deben llevar pasamanos que cumplan con la norma INTE W7 “Accesibilidad de las personas al medio físico edificios. Equipamientos. Pasamanos. Requisitos”.

En el diseño de rampas con anchos superiores al doble del mínimo, se recomienda colocar pasamanos intermedios. Si se presenta doble circulación simultánea, deben ubicarse en el centro.

## Bordillos

Para rampas que salven desniveles superiores a 10 cm se deben colocar bordillos, según la citada norma INTE W7.

## Pavimentos

Los pavimentos deben ser firmes, antideslizantes y no presentar obstáculos. No se admiten los tratamientos químicos de la superficie (como el encerado) que modifiquen estas condiciones.

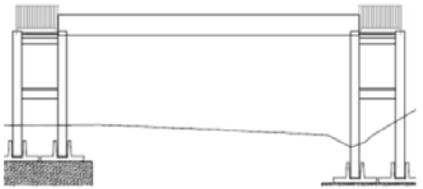
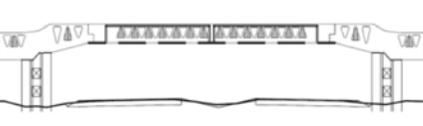
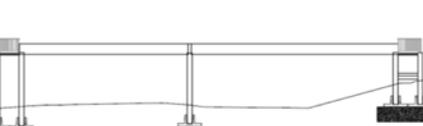
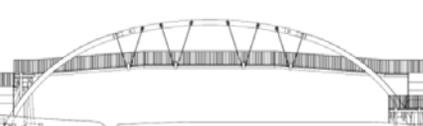
Tipo de puente	Claro a salvar (m)	Ejemplos		
Peatonal placas de fundaciones	Hasta 15 m			Puente peatonal Coyolar, sobre Ruta 27
Peatonal con bastiones	Hasta 30 m			Puente peatonal Río Oro, sobre Ruta 27
Peatonal con pila en centro del claro	Hasta 40 m			Puente peatonal Forum I, sobre Ruta 27
Arco	Hasta 45 m			Puente peatonal Los Arcos, sobre Ruta 1

Figura 13.19 Clasificación de puentes vehiculares en función del claro a salvar

## Obstáculos

Las rampas deben estar libres de obstáculos en su ancho mínimo, desde su piso terminado hasta un plano paralelo a él ubicado a 2,1 m de altura. Dentro de este espacio no se deben colocar elementos que lo invadan, como luminarias, carteles y equipamiento.

## Señalización

Las rampas deben estar señaladas de forma adecuada, cumpliendo con los requisitos de la norma INTE W12 "Accesibilidad de las personas al medio físico. Símbolo internacional de acceso (SIA). Requisitos".

## Soluciones típicas para puentes peatonales en función del claro a salvar

Según la luz que deban salvar los puentes peatonales, estas estructuras se pueden clasificar en uno de los grupos que se muestran en la figura 13.19.

## 13.3 Cargas para puentes

De acuerdo con la AASHTO, en la historia reciente del diseño de puentes se pueden distinguir claramente tres periodos:

Previo a 1993: se usa la especificación AASHTO Standard, en la que las cargas, factores de carga y capacidades se manejan de modo determinístico, es decir, sin consideraciones mayores en cuanto a la variabilidad de esos elementos.

Entre 1993 y el 2007: se comienza usar la metodología AASHTO bajo los conceptos de diseño por factorización de cargas y resistencias LRFD (Load and Resistance Factor Design, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, coexisten dos metodologías para la determinación de cargas y diseño de puentes.

A partir del 2007: se emplea únicamente la metodología LRFD para el diseño de puentes.

Bajo la metodología de diseño LRFD, se consideran las siguientes cargas:

### Camión estándar de diseño

El camión estándar de diseño que se utiliza es el especificado en la figura 13.20, donde la distancia de los ejes delanteros es de 4300 mm y la distancia al eje trasero varía entre 4300 mm y 9000 mm. La distancia entre los dos ejes más pesados se toma como aquella que, estando entre los límites de 4300 mm y 9000 mm, produce los mayores efectos. El Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) de Costa Rica utiliza en algunos casos una carga que denomina HS 20 + 25, equivalente a la HS25.

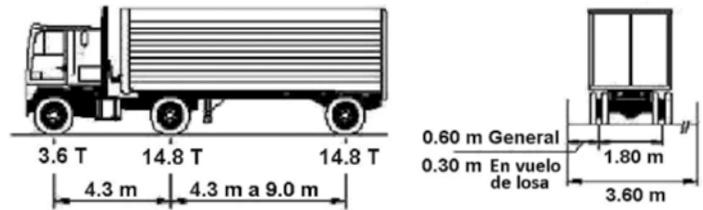


Figura 13.20 Camión estándar de diseño. Nota: 0.60 m de distancia a la baranda o bordillo para diseño de superestructura. 0.30 m de distancia a la baranda o bordillo para diseño de la viga de borde.

### Carga tándem

La carga tándem de diseño que se utiliza es la especificada en la figura 13.21. Consiste de dos ejes separados 1200 mm de una carga de 11 200 kg; transversalmente, las llantas se consideran espaciadas 1800 mm.

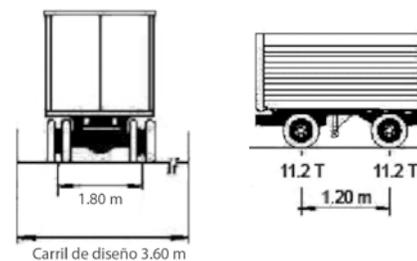


Figura 13.21 Carga Tándem

### Carga de carril

La carga de carril (figura 13.22) se define como una carga distribuida de 960 kg/m en un ancho de carga de 3000 mm.

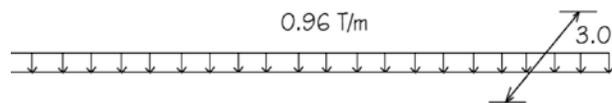


Figura 13.22 Carga de carril

### Carga de fatiga

La carga para el análisis de fatiga se considera una combinación de Camión de diseño o tándem de diseño + carga de carril de diseño.

Como nota general, para un momento negativo entre puntos de contraflexión bajo carga uniforme, así como en la reacción de pilares interiores, se utiliza 90 % de la solicitación debida a dos camiones de diseño separados como mínimo 15 m entre el eje delantero de un camión y el eje trasero del otro, combinada con 90 % de la solicitación debida a la carga del carril de diseño

En la tabla 13.5 se muestran los momentos y cortantes máximos producidos en puentes simplemente apoyados utilizando estas cargas.

En el manual AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2010) se pueden encontrar mayores detalles de las cargas de diseño, presencia de múltiples sobrecargas, factores dinámicos, factores de distribución entre las vigas centrales o de borde, fuerzas centrífugas y de frenado, entre otros aspectos.

**Tabla 13.5 Reacciones, cortantes y momentos máximos para carga viva HL-93 actuando en una vía y en condición simplemente apoyada sin factorar**

Claro	Momentos					Cortante y Reacciones			
	Camión	Tanden	Carril	Total	% del claro	Camión	Tanden	Carril	Total
m	Ton m	Ton m	Ton m	Ton m	%	Ton	Ton	Ton	Ton
0.3	1.1	0.9	0.0	1.1	0.50	14.4	11.3	0.1	14.5
0.6	2.2	1.7	0.0	2.2	0.50	14.4	11.3	0.3	14.7
0.9	3.3	2.6	0.1	3.4	0.50	14.4	11.3	0.5	14.9
1.2	4.4	3.4	0.2	4.6	0.50	14.4	11.3	0.6	15.0
1.5	5.5	4.3	0.3	5.8	0.50	14.4	13.5	0.7	15.1
1.8	6.6	5.1	0.4	7.0	0.50	14.4	15.0	0.9	15.9
2.1	7.7	6.0	0.5	8.2	0.50	14.4	16.1	1.0	17.1
2.4	8.8	6.9	0.7	9.5	0.50	14.4	16.9	1.2	18.0
2.7	9.9	8.6	0.9	10.8	0.50	14.4	17.5	1.3	18.8
3.0	11.0	10.3	1.1	12.1	0.50	14.4	18.0	1.4	19.4
3.4	11.6	12.6	1.3	13.9	0.40	14.4	18.4	1.6	20.0
3.7	12.6	14.3	1.5	15.8	0.40	14.4	18.8	1.7	20.5
4.0	14.1	15.9	1.8	17.7	0.45	14.4	19.0	1.9	20.9
4.3	15.2	17.6	2.1	19.7	0.45	14.4	19.3	2.0	21.3
4.6	16.3	19.3	2.4	21.7	0.45	15.3	19.5	2.2	21.6
4.9	17.4	21.0	2.8	23.8	0.45	16.2	19.7	2.3	22.0
5.2	18.5	22.7	3.1	25.8	0.45	16.9	19.8	2.4	22.3
5.5	19.6	24.4	3.5	27.9	0.45	17.6	20.0	2.6	22.6
5.8	20.6	26.1	3.9	30.0	0.45	18.2	20.1	2.7	22.9
6.1	21.7	27.8	4.3	32.1	0.45	18.7	20.3	2.9	23.1
6.4	22.8	29.5	4.8	34.3	0.45	19.2	20.3	3.0	23.4
6.7	23.9	31.2	5.3	36.4	0.45	19.6	20.5	3.2	23.6
7.0	25.0	32.9	5.7	38.6	0.45	20.0	20.6	3.3	23.9
7.3	26.1	34.6	6.3	40.8	0.45	20.4	20.6	3.5	24.1
7.6	27.2	36.3	6.8	43.1	0.45	20.7	20.7	3.6	24.3
7.9	28.8	38.0	7.3	45.3	0.45	21.1	20.8	3.7	24.8
8.2	31.0	39.7	7.9	47.6	0.45	21.3	20.8	3.9	25.2
8.5	33.2	41.4	8.5	49.9	0.45	21.6	20.9	4.1	25.7
8.8	35.4	43.1	9.1	52.2	0.45	22.0	21.0	4.2	26.1
9.1	37.5	44.8	9.8	54.5	0.45	22.3	21.0	4.3	26.6
9.4	39.7	46.4	10.4	56.9	0.45	22.6	21.1	4.5	27.1
9.8	42.1	48.1	11.1	59.3	0.45	23.0	21.1	4.6	27.5
10.1	44.6	49.8	11.8	61.7	0.45	23.2	21.2	4.8	28.0
10.4	45.5	51.4	12.7	64.1	0.50	23.5	21.2	4.9	28.4
10.7	48.0	53.1	13.4	66.6	0.50	23.8	21.2	5.0	28.8
11.0	50.5	54.9	14.2	69.1	0.50	24.0	21.2	5.2	29.2
11.3	52.9	56.6	15.0	71.6	0.50	24.2	21.3	5.3	29.6
11.6	55.4	58.3	15.8	74.1	0.50	24.4	21.3	5.5	29.9
11.9	57.9	60.0	16.7	76.7	0.50	24.7	21.3	5.6	30.2
12.2	60.4	61.7	17.6	79.3	0.50	24.8	21.4	5.8	30.6
12.8	66.6	65.1	19.2	85.7	0.45	25.2	21.4	6.0	31.2
13.4	71.4	68.5	21.0	92.5	0.45	25.5	21.5	6.3	31.9
14.0	76.3	71.9	23.0	99.3	0.45	25.8	21.5	6.6	32.4
14.6	81.2	75.3	25.0	106.2	0.45	26.1	21.6	6.9	33.0
15.2	86.1	78.7	27.2	113.3	0.45	26.4	21.6	7.2	33.6
15.8	91.0	82.1	29.4	120.4	0.45	26.6	21.6	7.5	34.1
16.5	95.9	85.5	31.7	127.6	0.45	26.8	21.6	7.8	34.6
17.1	100.8	88.9	34.1	134.8	0.45	27.0	21.7	8.1	35.1
17.7	105.7	92.3	36.5	142.2	0.45	27.2	21.7	8.4	35.6
18.3	110.6	95.7	39.1	149.7	0.45	27.4	21.7	8.6	36.0
18.9	115.4	99.1	41.8	157.2	0.45	27.5	21.8	8.9	36.5
19.5	120.3	102.5	44.5	164.8	0.45	27.7	21.8	9.2	36.9
20.1	125.2	105.9	47.3	172.5	0.45	27.8	21.8	9.5	37.3
20.7	130.1	109.2	50.2	180.3	0.45	27.9	21.8	9.8	37.8
21.3	135.0	112.6	53.2	188.2	0.45	28.1	21.9	10.1	38.2
22.9	146.8	121.7	61.7	208.5	0.50	28.4	21.9	10.8	39.2
24.4	159.1	130.3	70.2	229.3	0.50	28.6	22.0	11.5	40.1
25.9	171.5	138.9	79.3	250.7	0.50	28.8	22.0	12.2	41.1
27.4	183.8	147.4	88.9	272.7	0.50	29.0	22.0	13.0	42.0
29.0	196.1	156.0	99.0	295.2	0.50	29.2	22.0	13.7	42.9
30.5	208.5	164.6	109.7	318.2	0.50	29.4	22.1	14.4	43.8
33.5	233.2	181.7	132.8	365.9	0.50	29.7	22.1	15.8	45.5
36.6	257.9	198.9	158.0	415.9	0.50	29.9	22.1	17.3	47.2
39.6	282.5	216.0	185.4	468.0	0.50	30.1	22.1	18.7	48.8
42.7	307.2	233.2	215.1	522.3	0.50	30.2	22.2	20.2	50.4
45.7	331.9	250.3	246.9	578.8	0.50	30.4	22.2	21.6	52.0
48.8	356.6	267.5	280.9	637.5	0.50	30.5	22.2	23.0	53.6
51.8	381.3	284.6	317.1	698.4	0.50	30.6	22.2	24.5	55.1
54.9	406.0	301.8	355.5	761.5	0.50	30.7	22.2	25.9	56.7
57.9	430.7	318.9	396.1	826.8	0.50	30.8	22.3	27.4	58.2
61.0	455.4	336.0	438.9	894.3	0.50	30.9	22.3	28.8	59.7



## CAPÍTULO 14

# ESTRUCTURAS DE CONCRETO POSTENSADO

El concreto se preesfuerza, es decir, mediante sistemas mecánicos, normalmente cables y sus sistemas de anclaje, es afectado por la introducción de cargas de compresión antes de entrar en servicio, con el propósito de balancear el efecto de tracción de las cargas impuestas.

Se le llama concreto postensado, al resultado de introducir esas cargas mediante cables que se colocan en los elementos una vez que el concreto ha endurecido.

La base o fundamento mecánico aplicado en el postensado, es el hecho de que los cables transmiten, mediante sus anclajes o soportes, fuerzas que pre comprimen el concreto. Cuando se aplican las cargas externas, ellas generan esfuerzos de tracción en ciertas zonas, en las cuales ya había esfuerzos de compresión, ocurriendo entonces un balance de esfuerzos. El resultado global es un mejor aprovechamiento del concreto, al mejorar su debilidad ante esfuerzos de tracción

De este modo, se eleva la carga que puede soportar el elemento antes de que el concreto presente un fisuramiento excesivo. Esto se traduce en elementos con secciones menores o en la posibilidad de resolver luces más largas.

Después de que los cables han sido tensados, se llenan los ductos con una lechada, con el fin de dar protección a los torones y completar la sección de concreto para que participe en la capacidad de la pieza.

Los límites de esfuerzos se pueden encontrar en el capítulo 18 del ACI 318S-14 o en el manual de la AASHTO, en el capítulo sobre diseño de concreto preesforzado. Una ventaja del postensado sobre el pretensado es que el concreto puede ganar resistencia fuera del molde, por lo que no es necesario obtener altas resistencias iniciales para optimizar la producción.

Una de las ventajas principales de la postensión es la variedad de trayectorias que se logran definir por medio de los ductos.

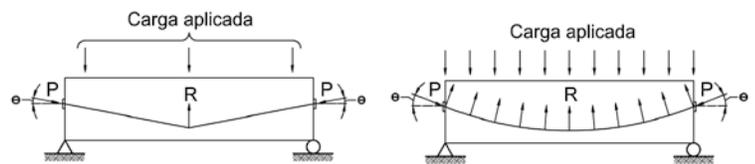


Figura 14.1 Información sobre torones

Esto permite optimizar el preesfuerzo cuando este se coloca basado en el diagrama de momentos del elemento. En la figura 14.1 se esquematiza este proceso para dos distintos tipos de carga.

### 14.1 Materiales

#### Concreto

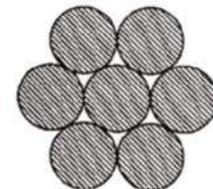
El concreto utilizado en los elementos postensados debe cumplir con la resistencia requerida para que, en las diferentes etapas de carga, no se sobrepasen los esfuerzos admisibles, tanto de tensión como de compresión.

#### Acero

Los cables de postensión consisten usualmente de conjuntos de torones de acero de alta resistencia. Esta es una característica importante, ya que el uso de aceros de resistencias de fluencia menores provoca altos porcentajes de pérdida de fuerza.



a. Rollo de torón



b. Sección transversal de un torón

Figura 14.2 Acero de pre-esfuerzo

En Holcim Modular Solutions se utilizan torones de acero de baja relajación con grado 270, que cumple con la norma ASTM A416.

Tabla 14.1 Información sobre torones					
Dimensiones torón (Ø)		Peso	Área	Grado	Fuerza tensado
mm	pulgadas	kg/mL	cm <sup>2</sup>	ksi	kgf
7.00	1/4	0.27	0.35	240	4500
0.95	3/8	0.43	0.548	270	7280
1.27	1/2	0.77	0.987	270	13100
1.52	0.60	1.09	1.387	270	18350



Figura 14.3 Ductos metálicos para el enhebrado de cables

### Ductos

Los ductos en los que se enhebran los cables pueden ser de diversos materiales. El manual de la AASHTO tiene requerimientos básicos para ductos variados, tales como los metálicos y los plásticos. En Holcim Modular Solutions se utilizan ductos de fleje metálico en diversos diámetros, según lo requiera el cable.

### Lechada de inyección

La lechada de inyección se utiliza para completar los ductos una vez que ha concluido la operación de tensado. La lechada debe ser lo suficientemente fluida como para garantizar el correcto llenado de toda la longitud del ducto.

Por lo general, la lechada se compone de cemento más agua y se suele incluir un plastificante retardante; sin embargo, si el ducto es muy grande puede emplearse un material de relleno, como arena fina.

### Anclajes

Los anclajes tienen la función de transmitir la fuerza de tensado de los cables a la superficie de concreto endurecido. Existen dos tipos: anclajes muertos o fijos y anclajes vivos o activos.



Figura 14.4 Anclajes fijos y detalle de anclaje vivo

Los anclajes muertos son aquellos que quedan embebidos en la pieza de concreto y no permiten la operación de tensado por medio de ellos. Trabajan por adherencia y tienen la ventaja de que suelen ser más económicos.

Los anclajes vivos sí permiten la labor de tensado y normalmente consisten de una placa o bloque de acero que reacciona contra el concreto.

Para los anclajes vivos, Holcim Modular Solutions utiliza el llamado "Sistema K de Freyssinet". Este tipo de anclaje consiste de un bloque de acero previsto para la sujeción de los torones por medio de cuñas que reacciona contra una placa también de acero colocada sobre el concreto. En general, los cables multitorones se forman con torones de 1,27 mm y 1,52 mm de diámetro.

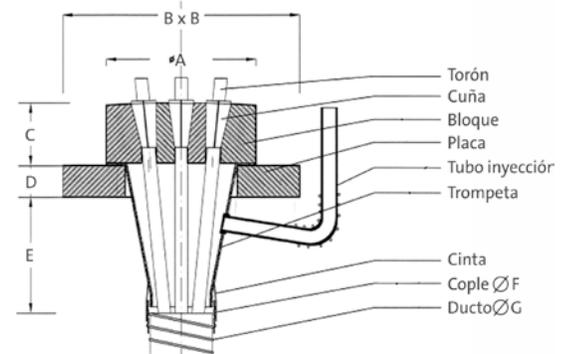


Figura 14.5 Esquema de anclaje de postensión, sistema K de Freyssinet

El tamaño de los anclajes depende del número de torones por cable. A continuación, se presenta una tabla en la que se resumen las dimensiones de los accesorios para el sistema K.

### 14.2 Procedimiento de postensión

1. Se enhebra el cable en el ducto respectivo (puede existir más de un ducto en la pieza). Los torones deben estar limpios, libres de corrosión y aislados de sustancias que puedan perjudicar la adherencia contra el concreto.
2. Se coloca el bloque de postensión, así como las cuñas en cada torón.
3. Se procede con la maniobra de tensado.

Se deben registrar las elongaciones obtenidas para diferentes etapas de carga. Estas mediciones se verifican contra los valores teóricos para asegurarse de que la maniobra se está realizando correctamente.

Para llevar este control, el encargado de la operación debe contar con la "Tabla de tensado", que contiene la información necesaria para ir revisando en sitio los valores obtenidos contra los teóricos. Según la AASHTO, los valores no deben diferir entre sí más de un 5 % en cables de más de 15 m o un 7 % en cables de menos de 15 m.

Tabla 14.2 Dimensiones de los accesorios para el sistema K									
Torón	Tipo	Dimensiones en mm							Posición torones
		A	B	C	D	E	F	G	
Torón T13	2 K13	80	120	45	15	65	42	39	
	3 K13	80	120	45	15	65	42	39	
	7 K13	120	190	50	25	93	53	50	
	12 K13	140	240	55	32	140	66	63	
	19 K13	162	280	63	38	182	78	75	
	23 K13	220	350	65	44.5	344	105	100**	
	27 K13	220	350	65	44.5	344	105	100**	
Torón T15	4 K15	120	190	50	25	93	53	50	
	7 K15	140	240	55	32	140	66	63	
	12 K15	162	280	64	38	182	78	75	
	19 K15	220	350	65	51	338	108	100**	

\* No hay purga en la trompeta.  
\*\* Ducto va directo a trompeta, no hay acople.

Tabla 14.3 Capacidades de cables				
Torón	Tipo	Capacidad de cable (kg)	Posición torones	Ducto a utilizar
Torón T13	2 K13	26200		39
	3 K13	39300		39
	7 K13	91700		51
	12 K13	157200		66
	19 K13	248900		75
	23 K13	301300		100
	27 K13	353700		100
Torón T15	4 K15	73400		50
	7 K15	128450		63
	12 K15	220200		75
	19 K15	348650		100

Si los valores de error son excesivos, significa que existen problemas y deben ser corregidos. A continuación, se presentan algunas fallas y las razones por las que se pueden elevar los porcentajes de error.

#### a) Mayor elongación que la esperada para una fuerza de tensado definida:

- Equipo mal calibrado.
- Fricción entre los cables y el concreto menor que la supuesta.
- Menor sección de acero que la supuesta.
- Módulo de elasticidad del acero menor que el supuesto.
- Asentamiento de los anclajes o deslizamiento del torón en la cuña. Esta se caracteriza por un aumento de la elongación sin elevación en la fuerza aplicada.
- Falla de un torón. Normalmente va acompañada de un estallido y un descenso repentino en el manómetro.

#### b) Menor elongación que la esperada para una fuerza de tensado definida:

- Sección de acero mayor a la supuesta.
  - Módulo de elasticidad del acero mayor al supuesto.
  - Fuerza de fricción mayor que la esperada. Esto se puede dar por oxidación del cable o por entrada de lechada al ducto.
4. Una vez que se ha realizado el tensado de los cables y se han obtenido porcentajes de error admisibles, se procede con la inyección de los ductos.



Figura 14.6 Vigas sobre puente Salitral



Figura 14.7 Edificio híbrido. Centro de Negocios Paseo de las Flores, Módulo A



Figura 14.8 Piso industrial postensado. Nave industrial Kimberly Clark

## Uso de la postensión en Costa Rica

- Vigas de puente
- Edificios
- Pisos industriales
- Tanques
- Naves industriales
- Instalaciones deportivas

### Soluciones típicas para tramos continuos de preesfuerzo

A continuación, se muestra detalle típico para tramos continuos de preesfuerzo.

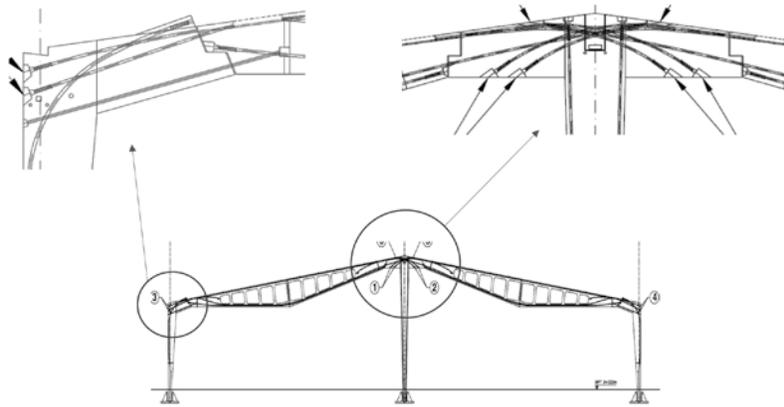


Figura 14.9 Soluciones típicas para tramos continuos de preesfuerzos

### Detalles para zonas de confinamiento

A continuación se muestran detalles para zonas de confinamiento.

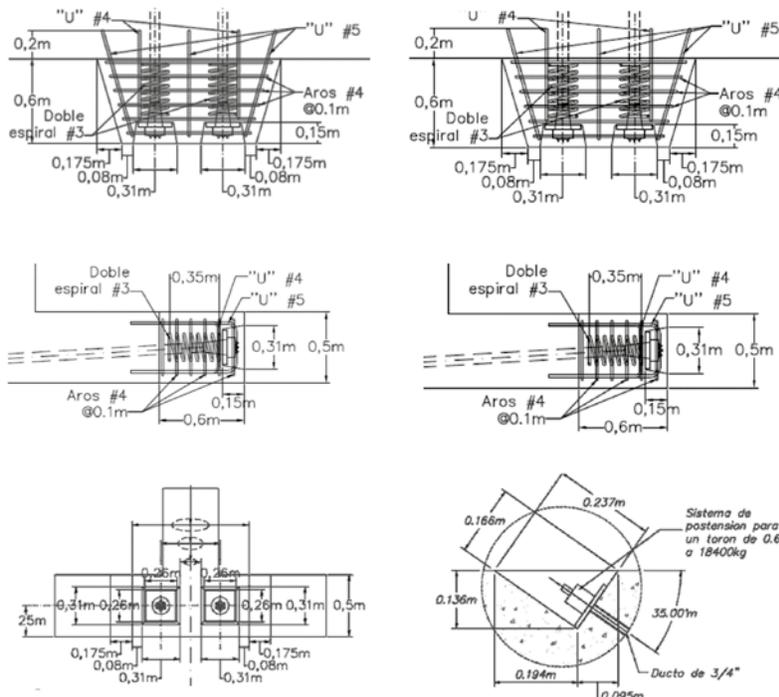


Figura 14.10 Detalles para zonas de confinamiento

## 14.3 Aplicaciones especiales

### Tanques postensados

Un tanque postensado es una estructura de almacenamiento o depósito que se construye usando el método de postensión del concreto antes explicado. Este método se creó ante la necesidad de disponer de tanques de mayor capacidad que, a la vez, ofrecieran mayor resistencia y durabilidad.

Con el empleo del postensado el espesor de la pared de concreto se reduce significativamente, utilizando así menos material y mano de obra que en las estructuras convencionales de concreto. Se ha comprobado que el concreto postensado para tanques es un material muy durable, impermeable, de alta resistencia, larga vida útil y mantenimiento mínimo.

### Anclajes a tierra (anclajes activos)

Los anclajes a tierra son elementos Los anclajes a tierra son elementos constructivos que se introducen dentro de una perforación realizada en el terreno. Permiten aplicar una carga de tensado. Están conformados por cables de acero que se anclan en las zonas estables del terreno. La longitud libre de estos cables permite la transmisión de la carga.

Se recomienda el uso de anclajes activos en las siguientes situaciones:

- Para minimizar deformaciones en la corona de la zona a proteger.
- Cuando material estable está a una gran profundidad.
- Cuando las cargas requeridas son elevadas.

### Refuerzos externos

La reparación o el refuerzo de estructuras existentes puede ser necesario debido a:

- Envejecimiento natural.
- Diseño inadecuado, calidad pobre de materiales, defectos de ejecución.
- Influencias severas medioambientales y accidentales (sobrecargas, impactos de vehículos, terremotos fuertes, huracanes, incendios, etc.).
- Cambio de usos (aumento de las cargas útiles por encima de la capacidad de diseño original).
- Requerimientos de seguridad más exigentes.

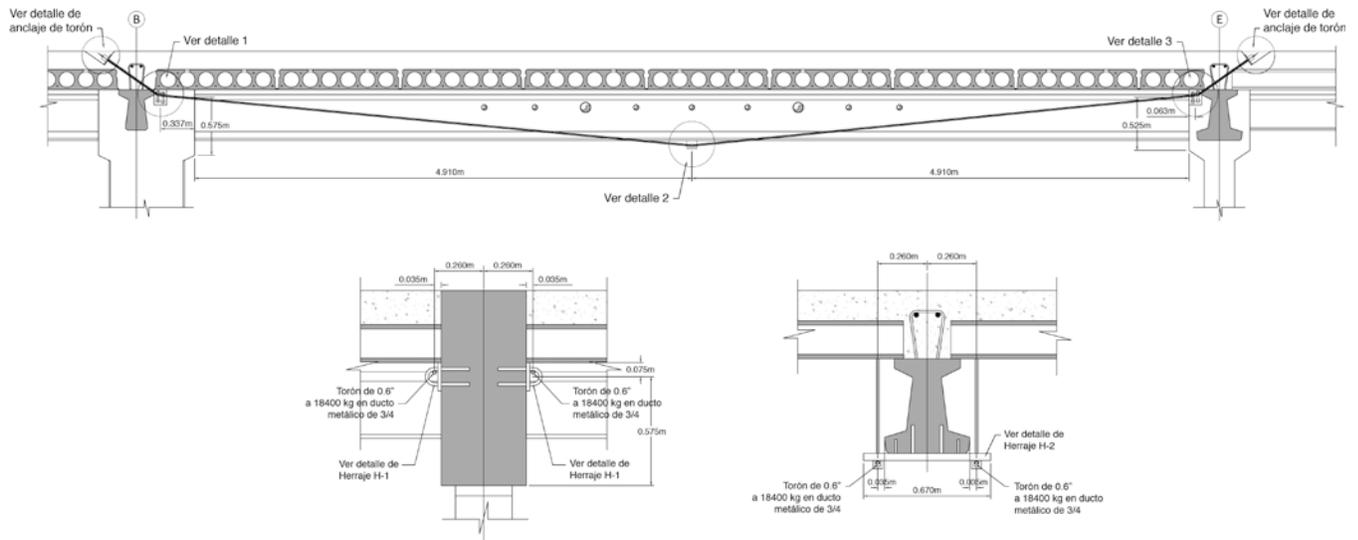


Figura 14.11 Detalle de refuerzo externo

### Losas de fundación

El postensado de losas es un sistema relativamente nuevo en el medio costarricense. Con él se logran estructuras más eficientes y, por ende, obras más económicas, seguras y atractivas; además se reducen los tiempos del proceso de construcción debido a las grandes ventajas que ofrecen.

Las principales ventajas que se han obtenido gracias al uso de losas postensadas en estructuras de hormigón armado se resumen a continuación:

- Notable reducción en la sección de las losas. De esta manera se disminuye la carga muerta en cada piso y se obtiene una menor carga final en las fundaciones. El promedio de reducción que se obtiene en cada piso es del 50 %.
- Obtención de claros más largos, lo que permite una mejor distribución de columnas en sótano y mayor libertad en el uso de los espacios en los ambientes interiores.
- Debido al balance de cargas logrado por los tendones de postensión, las deflexiones a largo plazo de las losas son notablemente menores.
- Mejores condiciones estéticas en cielos falsos, debido a que las losas postensadas no tienen vigas entre columnas, a diferencia de las losas clásicas de hormigón armado.
- Gracias a que las losas postensadas no cuentan con demasiado refuerzo convencional, el armado resulta más fácil para el personal de armado y amarre de hierro.
- Debido a las propiedades del postensado, una vez tensados los cables y anclados en el hormigón, la losa ya está lista para resistir el peso del encofrado y armado de la siguiente losa, reduciéndose así notablemente los tiempos de armado y vaciado de losas en el cronograma general de la obra.



Figura 14.12 Postensado de vigas de Fundación, Parque Acobo, San Pedro



## CAPÍTULO 15

# APLICACIONES ESPECIALES

### Muelles

Existen varios tipos de elementos prefabricados que se utilizan en la construcción de muelles y obras portuarias en general. La mayoría de ellos son preesforzados y eso aumenta su durabilidad, ya que se pueden diseñar para desempeñarse sin agrietamientos bajo cargas de servicio, con lo que disminuye el potencial de corrosión a través de las fisuras.

Algunos de los elementos que se ofrecen para obras portuarias son:

- Vigas y losas para superficie de rodamiento
- Tablestacas
- Pilotes
- Barandas y parapetos.

### Materiales

Para estos elementos prefabricados se utilizan los siguientes materiales:

- Concreto  $f'c$ : 280 a 700 kg/cm<sup>2</sup> (depende del tipo y la resistencia requerida).
- Acero acorde con las normas ASTM A706 o ASTM A615 si fuera requerido.
- Fibras metálicas y sintéticas (por ejemplo, nylon) si fuera requerido.
- Acero de preesfuerzo grado 270.
- Cemento con adiciones para asegurar el buen comportamiento de la estructura en un ambiente marino.



Figura 15.1.1 Muelle taiwanés en Limón. a) Pavimento de concreto.  
b) Pilotes de concreto.



Figura 15.1.2 Prefabricado para Proyecto de APM Terminales en Limón

### Geometría

La geometría utilizada depende del diseño del muelle, por lo que se requiere la recomendación de un ingeniero consultor especialista para seleccionar correctamente el tipo de elementos. Holcim Modular Solutions está en capacidad de suministrar los elementos en la geometría solicitada por el cliente o consultor según cada caso específico. Para ello se dispone de:

Los elementos prefabricados para un muelle pueden ser:

- Losas pretensadas para muelle.
- Cajas de registro eléctricas, sanitarias y de comunicación de diferentes dimensiones.
- Barreras divisorias tipo New Jersey.
- Bordillos especiales.
- Cabezales para tubería.
- Tuberías clase V de diferentes diámetros.



## Dolos

En general, el sistema de protección que se ofrece consiste en apilar de forma estratégica elementos prefabricados disipadores que geoméricamente han sido diseñados para soportar el oleaje marino.

Existen varios tipos de elementos para la protección costera, tales como dolos, acrópodos, cubos, tetrápodos, etc. Todos ellos deben utilizarse en forma masiva para proporcionar la protección requerida.

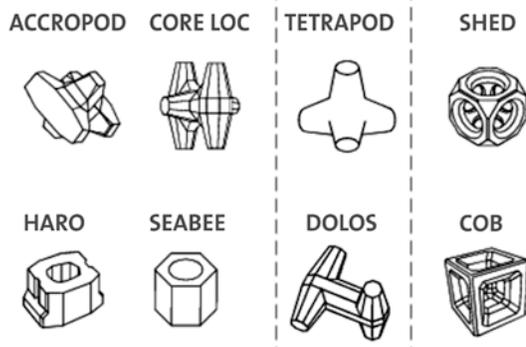


Figura 15.2.1 Tipos de disipadores de oleaje marino existentes

## Materiales

Para estos elementos prefabricados se utilizan los siguientes materiales:

Concreto  $f'c$ : 280 a 700 kg/cm<sup>2</sup> (depende del tipo y la resistencia requerida).

Acero acorde con la norma ASTM A706.

Fibras metálicas y sintéticas (por ejemplo, nylon) si fuera requerido.

Cemento con adiciones para asegurar el buen comportamiento de la estructura en un ambiente marino.

## Geometría

La geometría utilizada depende directamente del diseño hidráulico, por lo que se requiere la recomendación de un ingeniero consultor especialista para la correcta selección del tipo de elemento.

Algunos de los criterios que se toman en cuenta para una adecuada selección de los elementos son los siguientes:

- Propósito de la protección costera
- Estabilidad hidráulica
- Capacidad estructural
- Capacidad de los materiales a utilizar
- Desempeño ingenieril en función del costo de la obra
- Eficiencia volumétrica
- Facilidad de construcción

## Conexión entre componentes

Estos componentes no requieren ningún tipo de conexión mecánica adicional al entrelazado físico que ocurre al apilarlos. Es por eso que su instalación y funcionamiento se reducen a apilar en forma masiva las piezas de acuerdo con el diseño.



## Dovelas

Las dovelas son elementos prefabricados de concreto reforzado (acero convencional o fibras) que se fijan entre sí formando anillos. La construcción de un túnel cubierto por anillos prefabricados permite el trazado de curvas, tanto en planta como en alzado.

## Materiales

Para las dovelas de concreto se utilizan los siguientes materiales:

- Concreto  $f'c$ : 280 a 700 kg/cm<sup>2</sup> (depende del tipo y la resistencia requerida).
- Acero acorde con la norma ASTM A706.
- Fibras metálicas y sintéticas si fuera requerido.

## Geometría

La geometría utilizada depende de las necesidades del cliente y el consultor. Es por eso que deberán analizarse las condiciones solicitadas en cada caso específico.

En general, el tipo de dovela que más se utiliza a nivel mundial en la actualidad es el anillo universal, que consiste de siete piezas independientes que se entrelazan entre sí para conformar un solo elemento circular. En este sistema, una de las piezas tiene dimensiones menores al resto y se usa como cierre del anillo.

También existen otros sistemas que requieren menor cantidad de piezas (por ejemplo, cuatro) y todas pueden tener las mismas dimensiones.

## Condiciones de diseño

Para el diseño estructural de las dovelas se tienen en cuenta todas las acciones a las que estarán sometidas. Este proceso comienza con el desencofrado y continúa con las etapas de manipulación, almacenamiento y colocación; posteriormente se analizan los empujes producidos por los gatos hidráulicos y se concluye en la entrada en carga del anillo debido a la acción del terreno.

## Conexión entre dovelas

En general, las dovelas que conforman los anillos tienen geometrías distintas según su posición. Estas dovelas se montan en el túnel de forma perimetral mediante el encaje de unas con otras, atornillándose en las juntas, circunferenciales y radiales con tornillos rectos de alta resistencia.



Figura 15.3.1 Proyecto Hidroeléctrico La Joya



## Paraderos de autobús

Con el fin de crear un refugio peatonal que funcione como paradero de autobús, se construyen estaciones con un alto valor arquitectónico. El sistema, al ser modular, permite hacer estaciones de diferentes largos, incluyendo columnas, según se necesite para alcanzar la dimensión requerida.

Constructivamente, es un sistema muy versátil que, dependiendo de la cantidad de elementos, puede instalarse en dos días. Primero se colocan las fundaciones en el sitio y luego se instalan las columnas y vigas que se construyeron en planta. Una vez que se tiene la estructura de concreto, se instalan los largueros y la cubierta.

Por último, se procede a soldar las bancas que llevan herrajes metálicos para unir las columnas con el sentadero. Esta unión metálica no queda visible, contribuyendo con la buena apariencia de la estructura.

## Geometría

Holcim Modular Solutions cuenta con modelos estándar para los paraderos, sin embargo, se puede definir otra geometría si fuera necesario.

## Materiales

Para estos elementos prefabricados se utilizan los siguientes materiales:

- Concreto  $f'c$ : 280 a 700  $\text{kg/cm}^2$  (depende del tipo y la resistencia requerida).
- Acero acorde con la norma ASTM A706.
- Ventajas
- Diseño esbelto y moderno
- Mínimo mantenimiento
- A la medida y gusto del cliente
- Fácil y rápida construcción en sitio
- Mínimo riesgo de vandalismo, al no tener acero expuesto fácil de sustraer



Figura 15.4.1 Paradero de autobús



### Cajas de registro

Con el fin de canalizar aguas pluviales o sanitarias e instalaciones eléctricas o de comunicación, se fabrican cajas de registro de diferentes dimensiones, que se pueden transportar de forma horizontal si su altura lo requiere.

Existe la opción de realizar pruebas hidrostáticas en caso de que las especificaciones del proyecto lo soliciten.

#### Geometría

La geometría de estos elementos puede ajustarse según los requerimientos del cliente. Se pueden variar los espesores de pared, así como las dimensiones, las formas de los buques y el ángulo de entrada de la tubería a la caja de registro.

#### Materiales

Para estos elementos prefabricados se utilizan los siguientes materiales:

Concreto  $f'c$ : 280 a 700  $kg/cm^2$  (depende del tipo y la resistencia requerida), con la opción de incluir aditivos que mejoren el desempeño de la estructura en el ambiente marino.

- Acero acorde con la norma ASTM A706.
- Ventajas
- Fácil instalación
- Ajustables a tubos de diferentes diámetros
- Capacidad para fabricar cajas de grandes dimensiones



Figura 15.5.1 Cajas de registro para Proyecto de APM  
Terminales en Limón



### Cabezales de desfogue

Los cabezales de desfogue se ajustan a los diámetros de las tuberías que ofrece Holcim Modular Solutions o bien de las dimensiones específicas de tubos que el cliente solicite.

#### Geometría

La geometría de estos elementos puede ajustarse según los requerimientos del cliente.

#### Materiales

Para estos elementos prefabricados se utilizan los siguientes materiales:

- Concreto  $f'c$ : 280 a 700  $kg/cm^2$  (depende del tipo y la resistencia requerida), con la opción de incluir aditivos que mejoren el desempeño de la estructura en el ambiente marino.
- Acero acorde con la norma ASTM A-706.

#### Ventajas

- Ajustables a diferentes diámetros de tubería.
- Rápida instalación.



## CAPÍTULO 16

# ELEMENTOS PLANOS PREFABRICADOS DE CONCRETO

**El uso de elementos planos prefabricados para paredes y entresijos, y otras aplicaciones, permite reducir el tiempo de ejecución total del proyecto y, sobre todo, el tiempo en sitio. De esta manera se elimina el desperdicio y se optimiza el uso de los materiales.**

Los elementos prefabricados se producen en una variedad de espesores, según los requerimientos del cliente. En los formatos estándar las hay de 10 cm, 12 cm, 15 cm y 20 cm, con perímetros adaptables a las necesidades específicas del proyecto. Se pueden incluir buques para puertas, ventanas u otras previstas similares.

### 16.1 Características generales

#### Estabilidad estructural

El proceso productivo puede incorporar los detalles que resulten del diseño estructural aplicable. Los profesionales de Prowall® trabajan colaborativamente con el equipo del cliente para consensuar los detalles que resulten más eficientes y así optimizar el sistema y aumentar su eficiencia.

#### Velocidad de construcción

Para colocar en sitio los elementos hechos en planta se requiere muy poca preparación. Se trata básicamente de dos: las previstas de conexión estructural y los elementos de conexión electromecánicos. Los componentes que van dentro de la masa de concreto se colocan en planta, mientras que las previstas en sitio requieren de la precisión normal de este tipo de elementos constructivos.

La simplicidad y rapidez en sitio provienen de varios factores: el sistema constructivo no requiere formaleta, solo apuntalamiento temporal; el tamaño de los elementos permite cubrir grandes áreas con una sola pieza, es decir, con muy pocos movimientos.

En sitio únicamente se requiere colar en las juntas en un volumen reducido de concreto. El proceso en sitio se parece más a uno de carácter industrial que al típico de la construcción y puede alcanzar productividades típicas de los sistemas en serie.

#### Control de costos

Con el sistema constructivo de paneles prefabricados para paredes y entresijos se eliminan los desperdicios y se controla adecuadamente

la compra de otros materiales en sitio. La mayor velocidad de construcción permite ahorros importantes en costos financieros, administrativos y planillas de construcción.

#### Respaldo técnico

Los clientes cuentan con el apoyo de los departamentos técnicos de Holcim Modular Solutions y Prowall® a lo largo de todo su proyecto y en todos los aspectos relacionados con él. Ingenieros con experiencia trabajan estrechamente con sus consultores, formando equipos eficientes.

Asimismo, los diseñadores, equipos comerciales, de producción y de sitio comparten la información de manera constante y transparente. De esta manera, se mantiene un alto nivel de control en el cumplimiento de los requisitos acordados.

### 16.2 Normativa vigente

Prowall® está disponible en Panamá, producido bajo el auspicio de nuestra empresa SCI, con tecnología HMS.

Aplicamos por lo tanto la siguiente normativa:

- Reglamento Estructural de Panamá (REP, 2014). Establece los requisitos de diseño de estructuras, demandas de diseño y materiales de construcción.
- Código de Cargas de Diseño Mínimas para Edificios y otras Estructuras (ASCE/SEI 7-05). Establece el procedimiento de cálculo para las demandas sísmicas y de viento, así como las combinaciones de carga últimas.
- Código de Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). Establece los requisitos de diseño de elementos de concreto.

### 16.3 Componentes del sistema

Se pueden fabricar elementos en dimensiones externas límite de 600 cm x 300 cm, en espesores de 8 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm y 20 cm. Dependiendo del volumen requerido, se fabrican paredes dobles o de centro vacío de hasta 40 cm de espesor. En las paredes se pueden dejar previstas para tuberías de conducción electromecánica, en diámetros compatibles con los espesores respectivos, según la norma que se aplique. Los elementos se utilizan en cualquier aplicación que determinen los diseñadores, tales como paredes portantes o divisorias no portantes, fachadas, muros de contención, tapias, entrepisos, etc.

Holcim Modular Solutions fabrica entrepisos livianos con losas del tipo filigrana y simplifica la construcción combinando las ventajas de un componente prefabricado con las de flexibilidad en sitio, para acomodar elementos metalmeccánicos y acabados.

### 16.4 Instalación

Las previstas de conexiones, anclajes, accesorios y tuberías electromecánicas y cualquier otra que se necesite se definen de común acuerdo con los clientes, utilizando para ello un sistema coordinado de información. De esta manera, se asegura la concordancia completa entre los elementos fabricados en planta y todos los aspectos relacionados con cada uno de ellos en sitio, garantizándose así una fácil integración de las paredes y los paneles al proyecto.



Figura 16.1 Preparación del terreno

#### Construcción de la fundación

Las paredes se conectan a las fundaciones mediante conectores mecánicos, dovelas de anclaje inyectadas, anclajes adheridos o cualquier otro procedimiento que el proyecto requiera, siempre en cumplimiento de normas y especificaciones acordadas con los clientes.

En las figuras siguientes se ilustran algunos ejemplos, con propósitos puramente ilustrativos, sin que esos detalles impliquen limitación alguna a las opciones disponibles.

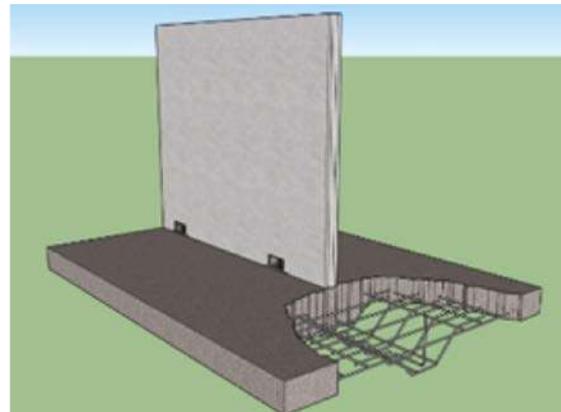


Figura 16.2 Sección que ejemplifica el acero previsto en la fundación

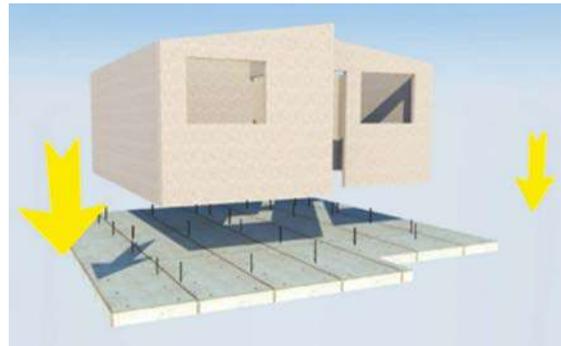


Figura 16.3 Pernos de anclaje para paneles embebidos en la fundación

Es importante colocar los anclajes de los paneles de manera correcta y según se indica en los planos, para que coincidan perfectamente al realizarse el montaje de las paredes.

#### Montaje de los paneles

Para la conexión vertical entre paneles se pueden usar los anclajes mecánicos previstos durante el proceso de fabricación, a los cuales se les aplican pernos de ojo. Durante la instalación, los pernos quedan alineados entre sí verticalmente, creando un pasaje para una barra que se desliza a través de ellos. Por último, la junta se rellena con mortero o concreto líquido, que se ha estabilizado en sus cambios volumétricos, cerrándose con un acabado continuo en toda la pared.

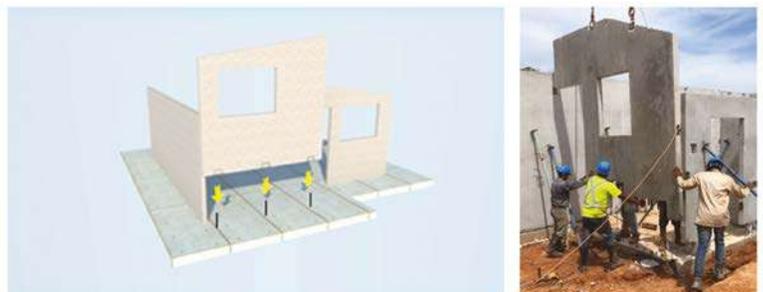


Figura 16.4 Montaje de paredes sobre los pernos de anclaje



Figura 16.5 Pernos de ojo para el acople de las paredes



Figura 16.6 Apuntalamiento lateral de paredes de paneles prefabricados

### Resumen de aplicaciones

Los elementos planos prefabricados tienen una amplia gama de aplicaciones, entre las que sobresalen:

- Paredes estructurales o no estructurales
- Elementos para muros y tapias en linderos
- Entrepisos
- Fachadas
- Cerramientos para edificios industriales
- Pre losas para puentes muelles
- Componentes para fundaciones
- Muros de retención

Se pueden fabricar para cumplir los más altos requerimientos de acabado de concreto, con colores y texturas incorporados.



## CAPÍTULO 17

# OTROS PRODUCTOS INDUSTRIALES

Los productos industriales que se presentan en este capítulo son el resultado de procesos controlados, tanto en lo que respecta a las materias primas como a su fabricación, curado, almacenamiento y despacho.

### Materiales y normativa

- **Agregados:** los agregados son de alta calidad y cumplen con las normas INTE C15 (ASTM C33) Requisitos de los Agregados para Concreto.
- **Cemento:** el cemento cumple con las especificaciones del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agua:** el agua cumple con la norma INTE C92 (ASTM C1602). Especificación del agua de mezcla utilizada en la fabricación de concreto de cemento hidráulico.
- **Acero:** la armadura se realiza con acero que cumple con la norma INTE C113 (ASTM A615), indicada para la producción de este tipo de elementos.

Para cada uno de estos materiales, Holcim Modular Solutions cuenta con los certificados de calidad emitidos por el respectivo proveedor.

### Control de calidad

Todos los productos de la empresa cuentan con diseños de mezcla que aseguran concretos bien dosificados y de alta durabilidad. Diariamente se realizan en su planta pruebas de asentamiento (INTE C41/ASTM C143) de los concretos plásticos, para garantizar la consistencia de las mezclas. Además, los concretos son muestreados periódicamente de acuerdo con la norma INTE C17 (ASTM C172) y ensayados para determinar la resistencia a la compresión según la norma INTE C19 (ASTM C31).

### 17.1 Pilas

Las pilas son unidades de concreto prefabricado de color rojo; también se cuenta con pilas enchapadas. Todas ellas han sido elaboradas mediante un riguroso control del proceso, garantizando así la calidad del producto.



Figura 17.1 Pilas de concreto

Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

En la siguiente tabla se detallan las características de las distintas pilas que se ofrecen.

Tabla 17.1 Características de las pilas				
Código	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (kg)
T-000058	Pila roja 1.25	125	65	105
T-000063	Pila roja batea izquierda	90	66	78
T-000059	Pila roja batea derecha	90	66	78
T-000458	Pila enchapada 1.25	128	70	130
T-000452	Pila enchapada izquierda	94	68	85
T-000451	Pila enchapada derecha	94	68	85

## Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Concreto denso
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación
- Excelente apariencia

Las pilas son para uso doméstico y no para uso industrial.



Figura 17.2 Dimensiones de las pilas de concreto

## 17.2 Parrillas de concreto

Las parrillas de concreto armado se usan en proyectos de infraestructura vial para captar el flujo superficial de agua y direccionarlo hasta la alcantarilla, funcionando como drenaje de aguas pluviales en zonas de estacionamiento, áreas de tránsito peatonal, parques, etc.

Las parrillas se fabrican mediante el sistema de vibrocompactación, garantizando un producto uniforme. Asimismo, el estricto control del proceso de producción permite asegurar la resistencia del concreto.

Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 245 kg/cm² promedio a los 28 días.



Figura 17.3 Parrillas de concreto



Figura 17.4 Parrillas de concreto

## Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Reducen el índice de robo de parrillas
- Se garantiza un concreto de calidad certificada
- Proporcionan mayor durabilidad al sistema
- El montaje pueden hacerlo grupos de trabajadores, porque no requiere equipo especial ni grúa

## Características

Las parrillas de concreto están diseñadas en longitudes variables para mayor comodidad a la hora de su uso.

Tabla 17.2 Características de las parrillas de concreto

Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor centro (cm)	Espesor extremo (cm)	Peso (kg)
100	50	8,0	10,0	95
80	50	20,2	20,2	179

## 17.3 Losetas de paso

Las losetas de paso se utilizan para pasos en general. Son elementos prefabricados en concreto armado bajo un estricto control del proceso para asegurar una resistencia a la compresión de 245 kg/cm² promedio a los 28 días.

## Ventajas

- Fáciles de instalar
- Alta resistencia
- Durabilidad
- Fáciles de limpiar

Tabla 17.3 Características de las losetas de paso

Código	Diámetro		Peso kg	Longitud (L) +/- 2	Radio (D1) cm	Espesor de pared cm	Forma
	plg	cm					
T-000004	6"	15,2	26,0	98	7,60	3,6	Semi-circular
T-000697	8"	20,3	37,0	97	11,65	5,4	Semi-circular
T-000463	10"	25,2	45,0	96	12,60	3,6	Semi-circular
T-000030	12"	29,3	73,0	96	14,65	5,9	Semi-hexagonal
T-000031	14"	35,6	86,0	93	17,80	5,6	Semi-hexagonal
T-000032	18"	45,7	111,5	93	55,75	6,4	Semi-circular
T-000033	24"	60,1	150,0	100	75,00	6,6	Semi-circular

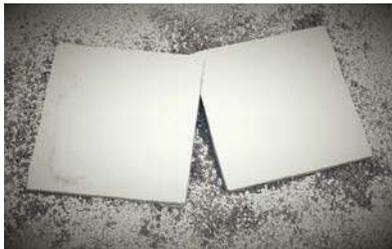


Figura 17.5 Losetas de paso



Figura 17.6 Loseta de paso sometida a carga

## 17.4 Bancas de concreto

La banca de concreto prefabricado se elabora con concreto estructural bajo un estricto control del proceso, a fin de garantizar la calidad del producto.

Se utiliza en jardines o áreas de estar para el disfrute de todo tipo de público.



Figura 17.7 Banca de concreto

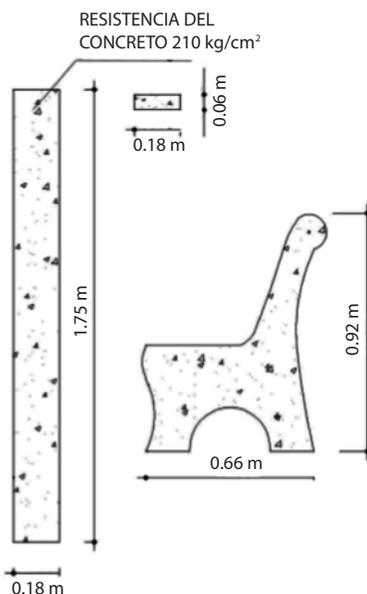


Figura 17.8 Dimensiones de los elementos de la banca de concreto

El concreto utilizado alcanza una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Fáciles de limpiar
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fáciles de instalar
- Excelente apariencia
- Larga durabilidad

## 17.5 Juegos de jardín

Los juegos de jardín son unidades de concreto prefabricado elaboradas con concreto estructural mediante un estricto control del proceso, garantizando así la calidad del producto. Pueden utilizarse en jardines o áreas de estar para el disfrute de todo tipo de público.

Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Larga durabilidad
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fáciles de instalar
- Excelente apariencia
- Fáciles de limpiar

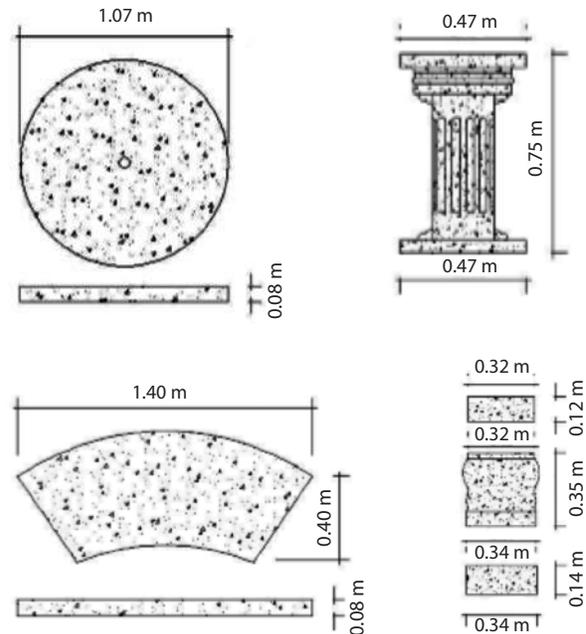


Figura 17.9 Dimensiones de los elementos del juego de jardín



Figura 17.10 Juego de jardín

## 17.6 Cunetas

Las cunetas de concreto se utilizan para la construcción de canales de conducción de aguas, caños para aceras o caminos.

Estos elementos se fabrican mediante el sistema de vibrocompactación, garantizando un producto uniforme. El estricto control del proceso de producción asegura la resistencia del concreto.

Las cunetas se fabrican con un concreto que tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- Facilidad de instalación
- Alta resistencia al fuego
- Bajo peso
- Durabilidad
- No se deforman



Figura 17.11 Cunetas

Tabla 17.4 Características de las cunetas							
Código	Diámetro		Peso kg	Longitud (L) +/- 2	Radio (D1) cm	Espesor de pared cm	Forma
	plg	cm					
T-000004	6"	15,2	26,0	98	7,60	3,6	Semi-circular
T-000697	8"	20,3	37,0	97	11,65	5,4	Semi-circular
T-000463	10"	25,2	45,0	96	12,60	3,6	Semi-circular
T-000030	12"	29,3	73,0	96	14,65	5,9	Semi-hexagonal
T-000031	14"	35,6	86,0	93	17,80	5,6	Semi-hexagonal
T-000032	18"	45,7	111,5	93	55,75	6,4	Semi-circular
T-000033	24"	60,1	150,0	100	75,00	6,6	Semi-circular

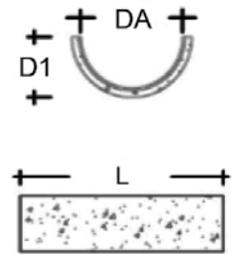


Figura 17.12 Almacenamiento de cunetas

## 17.7 Sifones de concreto

Los sifones son unidades de concreto prefabricado elaboradas con una geometría que evita el paso de los malos olores. Este concreto tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Buena hermeticidad
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación de tuberías
- Excelente permeabilidad
- Fáciles de limpiar



Figura 17.13 Sifón de concreto

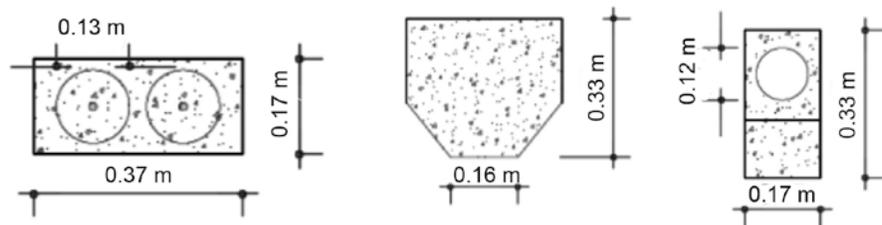


Figura 17.14 Dimensiones del sifón de concreto

## 17.8 Trampas de grasa y ceniceros de concreto

Las trampas de grasa y los ceniceros de concreto permiten retener sólidos o grasas para su retiro posterior. Se fabrican con concretos densos que evitan la infiltración o exfiltración de los líquidos.

Su producción se somete a un estricto control del proceso que garantiza un producto uniforme.

Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Concreto denso
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación de tuberías
- Excelente apariencia



Figura 17.15 Trampas de grasa y ceniceros de concreto

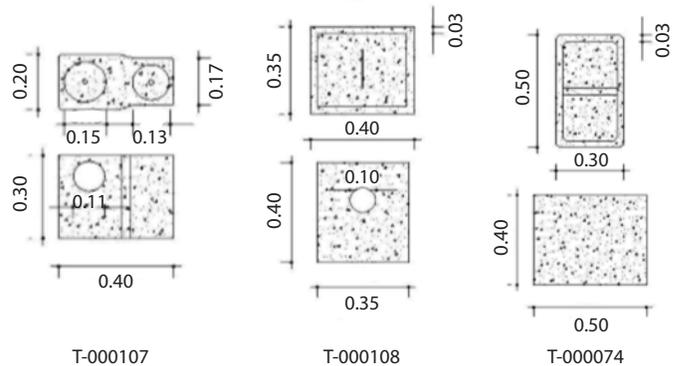


Figura 17.16 Dimensiones de las trampas de grasa y ceniceros de concreto (m)

## 17.9 Puentes de concreto para bananera

Los puentes de concreto se fabrican mediante un sistema de vibración que logra la homogeneidad del producto. Además, se aplica un estricto control del proceso para asegurar la resistencia del concreto. Su diseño estructural es supervisado por el Departamento de Ingeniería de Holcim Modular Solutions, con el fin de garantizar que cumpla con las especificaciones requeridas.

La resistencia a la compresión del concreto es de 245 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Los puentes se encuentran disponibles en las siguientes medidas:

- Puente bananera 0,37 x 0,21 x 2 m
- Puente bananera 0,37 x 0,21 x 3 m
- Puente bananera 0,37 x 0,21 x 4 m
- Puente bananera 0,37 x 0,21 x 5 m
- Puente bananera 0,37 x 0,21 x 6 m

### Ventajas

- Fáciles de instalar
- Bajo costo
- Calidad del producto

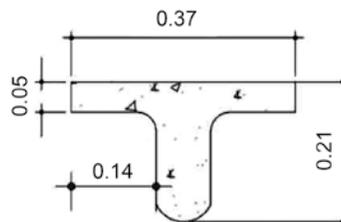


Figura 17.17 Sección transversal puentes para bananera (m)

## 17.10 Postes para cercas

Los postes de concreto se utilizan para la construcción de cercas perimetrales en conjunto con alambres de púas. Los postes se fabrican mediante el sistema de vibrocompactación, garantizando un producto uniforme. Además, se aplica un estricto control del proceso de producción para asegurar la resistencia del concreto y la consistencia necesaria para este tipo de elementos.

Los postes se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 245 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.



Figura 17.18 Postes para cercas

## Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Resistentes a la intemperie
- Aseguran la correcta ubicación del alambre para cerramiento
- Concreto de calidad certificada

Tabla 17.5 Características del poste de concreto			
Código	Descripción	Peso (kg)	Medidas (m)
T-000903	Poste Concreto 2,5 m	56	0,1 x 0,1 x 2,5
T-000055	Poste Concreto 2,0 m	42	0,1 x 0,1 x 2,0

## 17.11 Tapas de concreto

Las tapas son unidades de concreto prefabricado. Se elaboran con un diseño geométrico que sirve como cerramiento para los tubos y asegurar la hermeticidad del concreto.

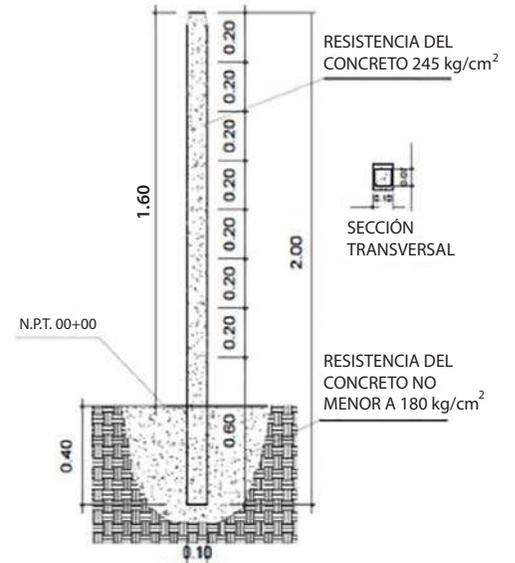
Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

## Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Buena hermeticidad
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación
- Excelente apariencia
- Fáciles de limpiar



Figura 17.20 Tapas de concreto



El poste de 2,0 m tiene 7 orificios cada 20 cm  
El poste de 2,5 m tiene 9 orificios cada 20 cm

Figura 17.19 Detalle del poste para cerca

Tabla 17.6 Características de las tapas de concreto			
Código	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Peso (kg)
T-000123	60,96	5,08	40
T-000065	76,20	5,08	51
T-000066	91,44	5,08	61
T-000067	106,68	5,08	71
T-000137	134,62	5,08	90

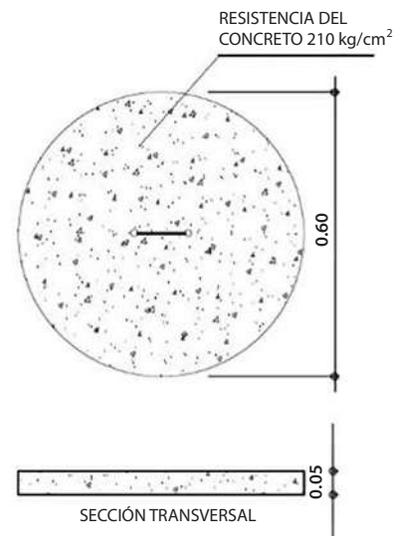


Figura 17.21 Dimensiones de las tapas de concreto (m)

## 17.12 Topes de parqueo

Los topes de concreto se utilizan en los parqueos. Se fabrican mediante el sistema de vibrocompactación, garantizando un producto uniforme. El estricto control del proceso de producción que se aplica asegura la resistencia del material.

Estos elementos se fabrican con un concreto que tiene una resistencia a la compresión de 245 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Resistentes a la intemperie
- Aseguran el correcto estacionamiento de los vehículos
- Concreto de calidad certificada

Tabla 17.7 Características del tope de parqueo			
Código	Descripción	Peso (kg)	Medidas (cm)
T-000052	Tope parqueo	53,91	10,2 x 10,2 x 180,0



Figura 19.22 Topes para parqueo

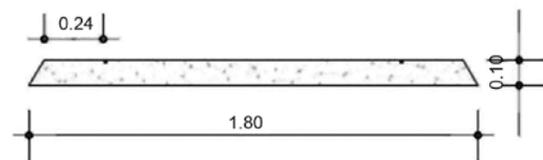


Figura 17.23 Dimensiones de tope de parqueo

## 17.13 Loseta táctil de concreto

Las losetas táctiles de paso se utilizan para guiar y orientar a los peatones con discapacidad visual. Se fabrican de dos tipos y ambos cumplen con la norma INTE W17:

Loseta para guía: la cara superior se confecciona con franjas horizontales que se utilizan para indicar la dirección de un recorrido. Estas acanaladuras siempre están orientadas en la dirección de la marcha.

Loseta para prevención: la cara superior se confecciona con un relieve de conos truncados sin aristas vivas. Indican el comienzo y la finalización de una franja guía, las bifurcaciones, la presencia de escaleras o rampas, la existencia de paradas de los vehículos de transporte público, los obstáculos, elementos de información o bordes de andenes.

### Ventajas

- Fáciles de instalar
- Alta resistencia
- Durabilidad
- Fáciles de limpiar
- Resistentes al deslizamiento
- Resistentes a la intemperie



Figura 17.24 Loseta táctil de concreto

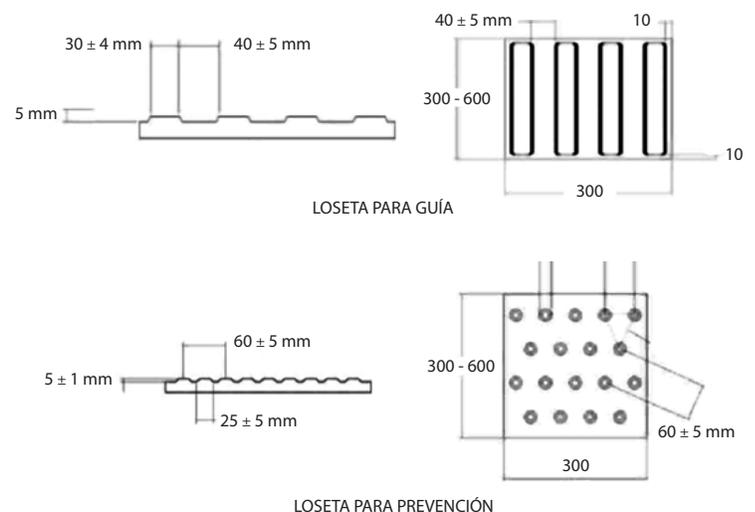


Figura 17.25 Dimensiones de las losetas táctiles

## 17.14 Block zacate

El block zacate es un bloque arquitectónico prefabricados con concreto de alta calidad y bajo un estricto control de proceso, garantizando un producto uniforme.

Son elementos decorativos ideales para jardines, parques y parqueos. Su diseño permite rellenar los espacios vacíos con zacate o piedras.

La resistencia mínima promedio a la compresión del elemento es de 133 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación
- Excelente apariencia

### Instalación

Cuando se usan en jardines se pueden instalar directamente en la tierra, que debe estar nivelada y ser compacta. En pavimento peatonal, se deben instalar sobre una base compactada (el diseño sería de 10 cm de lastre, la subbase de 5 cm de arena industrial), luego se pueden colocar las piezas una junto a la otra, siguiendo el patrón.

Código	Descripción	Peso (kg)	Cantidad (Unidades/m <sup>2</sup> )	Medidas (cm)
T-000044	Block zacate	10,6	10	25,0 x 8,0 x 40,5



Figura 17.26 Block zacate

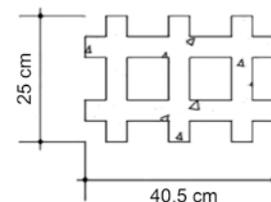


Figura 17.27 Dimensiones del Block zacate

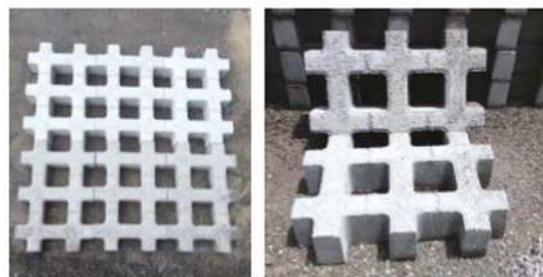


Figura 17.28 Block zacate

## 17.15 Baldosas para bananera

Las baldosas de concreto para bananera se utilizan tanto en el sector del agro, y cubre cualquier otra necesidad de área de paso. Las baldosas se fabrican mediante un estricto control del proceso de producción para asegurar la resistencia del concreto, el cual tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Aprovechamiento al máximo del tiempo
- Se reduce el desperdicio en la construcción
- Concreto de calidad



Figura 17.29 Baldosa para bananera

Medidas (cm)	Acero	Peso (kg)
152,4 x 152,4 x 5,1	Armadura varilla 1/2"	38,5
152,4 x 152,4 x 10,2	Armadura varilla 1/2"	77,0
203,2 x 203,2 x 10,2	Armadura varilla 1/2"	105,0
76,2 x 76,2 x 5,1	Malla electrosoldada	8,0

## 17.16 Balustres

Los balustres son unidades de concreto prefabricado, que se elaboran con un diseño geométrico que sirve para la decoración de cualquier área en la que se desee colocar barandas.

Estos elementos se fabrican con un concreto cuya resistencia a la compresión es de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Fáciles de limpiar
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación
- Excelente apariencia

Código	Descripción	Peso (kg)
T-000083	Balustre Mandarina	14,0
T-000082	Balustre Gota	14,0



**Balustre  
Mandarina**

**Balustre  
Gota**

Figura 17.30 Balustres de concreto

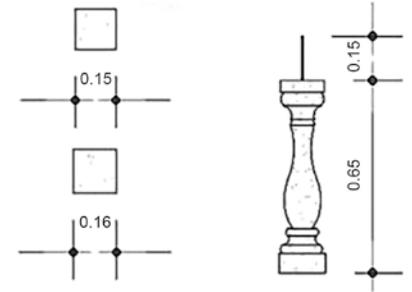


Figura 17.31 Dimensiones de los balustres de concreto (m)

## 17.17 Bloques celosía

Los bloques arquitectónicos tipo celosía son piezas prefabricadas con concretos de alta calidad. Su fabricación conlleva un estricto control del proceso que garantiza un producto uniforme.

Estos bloques son un elemento decorativo que no cumple ninguna función estructural, especiales para cerramientos que requieren ventilación.

Se fabrican con un concreto que tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.



### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Concreto denso
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Fácil instalación
- Excelente apariencia



Figura 17.32 Block celosía

### 17.18 Block cuadrado

El block cuadrado es un bloque de concreto que se utiliza para la construcción de viviendas, cerramientos o columnas para los sistemas constructivos de mampostería. Se fabrican mediante vibrocompactación de alta intensidad, garantizando un producto uniforme.

El estricto control del proceso de producción asegura la resistencia exigida para los bloques de concreto, los cuales cumplen con las normas del Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) y el reglamento de construcción. Según lo anterior, estos bloques son clase A.

La resistencia mínima a la compresión de estos elementos es de 133 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

#### Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Reducen el desperdicio en la construcción
- Concreto de calidad certificada
- Permiten colocar más fácilmente los repellos
- Excelente apariencia

Tabla 17.11 Características del Block cuadrado					
Código	Dimensiones (cm)	Peso (kg)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
T-000120	20 x 20 x 19	12	19	19	19
T-000045	30 x 30 x 19	10	29	29	19

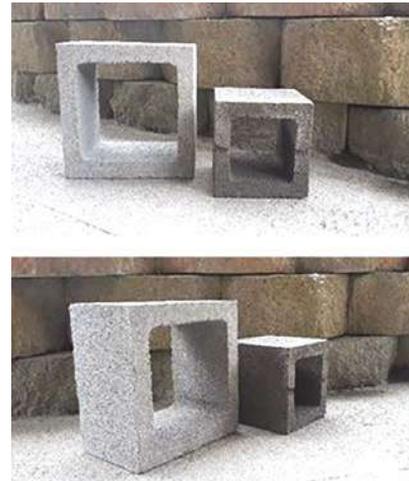


Figura 17.33 Block cuadrado de concreto

### 17.19 Cajas octogonales

Las cajas octogonales son unidades de concreto prefabricado, elaboradas con una geometría que permite la retención de sólidos livianos en el agua.

Se fabrican con un concreto que tiene una resistencia a la compresión de 245 kg/cm<sup>2</sup> promedio a los 28 días.

#### Ventajas

- No se deforman en la instalación
- Concreto denso
- Resistentes a la humedad y al fuego
- Permiten una fácil instalación de tuberías
- Excelente apariencia gracias al estricto control de calidad



Figura 17.34 Caja octogonal

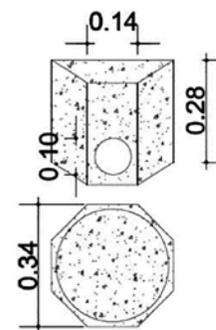


Figura 17.35 Dimensiones de la caja octogonal

## 17.20 Baldosa de Bananera

Las baldosas de bananera en concreto se pueden utilizar tanto en bananeras como en algún otro tipo de paso. Las baldosas son fabricadas mediante un estricto control de proceso de producción para asegurar la resistencia del concreto, así como la resistencia que se requiere para ellas.

Estos elementos se fabrican con un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> promedio a 28 días.

### Ventajas

- Fáciles de transportar
- Fáciles de instalar
- Aprovechamiento al máximo del tiempo
- Reducen el desperdicio en la construcción
- Se asegura un concreto de calidad

### Materiales

**Agregados:** nuestros agregados son de alta calidad, los cuales cumplen con las normas INTECO 06-01-02-08 y ASTM C- 33 (Requisitos de los Agregados para Concreto).

**Cemento:** Utilizamos cemento MP-AR (28Mpa a los 28 Días) Holcim (RTCR-383-2004). El cual cuenta con certificados de calidad emitido por Holcim. Cumple con la norma INTE 147-2018.

**Agua:** Cumple con la norma INTE 06-01-06-06. Agua para la realización del producto que elaboramos en nuestra planta.

**Acero:** La armadura es realizada con acero que cumple con la norma INTE 06-09-01 , INTE 06-09-02, INTE 06-09-03, ASTM-A421, ASTM-A416M, ASTM-A722M y ASTM-A615 del acero, indicados para la producción de este tipo de elementos. También contamos con los certificado se calidad emitido por nuestro proveedor.



Figura 17.36 Elemento de concreto para baldosa de bananera

**Aditivo:** Nuestros aditivos cumplen con la norma INTE 06-01-10.

### Características

Las baldosas de bananera están diseñadas en longitudes variables para así facilitar la colocación en sus respectivas funciones.

### Control de calidad

Todos nuestros productos cuentan con diseños de concreto que aseguran concretos bien dosificados y de alta durabilidad. Además contamos con certificado de calidad.

Realizamos diariamente pruebas de revenimiento en nuestras plantas para garantizar la consistencia de nuestras mezclas de concreto (ASTM C-143).

Nuestros concretos son muestreados periódicamente de acuerdo a la norma ASTM C-31.

Además cumplimos con las normas generales para concreto estructural ACI 3185-08.

Tabla 17.12 Características de las baldosas de bananera

Código	Dimensiones (cm)	Acero	Peso (kg)
T-000050	60 x 60 x 10,2	Armadura varilla 1/2	79
T-000051	60 x 60 x 10,2	Armadura varilla 1/2	105



Figura 17.37 Estibas de baldosas de bananera

# ANEXOS

## Anexo 1 Factores de conversión

### Medidas de longitud

1 pulgada	=	2.54	cm
1 pie	=	12.00	pulg
1 pie	=	30.48	cm
1 yarda	=	3.00	pies
1 yarda	=	91.44	cm
1 milla	=	1.61	km
1 milla náutica	=	1.85	km
1 vara	=	83.60	cm
1 centímetro	=	0.39	pulg
1 metro	=	3.28	pies
1 metro	=	39.37	pulg
1 metro	=	1.09	yardas
1 metro	=	1.20	varas
1 kilómetro	=	0.62	millas
1 kilómetro	=	0.54	millas náuticas

### Medidas de volumen

1 pulgada <sup>3</sup>	=	16.387	cm <sup>3</sup>
1 pie <sup>3</sup>	=	0.028317	m <sup>3</sup>
1 pie <sup>3</sup>	=	28.317	litros
1 pie <sup>3</sup>	=	7.4805	gls
1 yarda <sup>3</sup>	=	27	pies <sup>3</sup>
1 yarda <sup>3</sup>	=	0.76456	m <sup>3</sup>
1 galón (USA)	=	3.7854	litros
1 galón (USA)	=	128	onzas
1 galón (USA)	=	0.13368	pies <sup>3</sup>
1 botella	=	0.67	litros
1 metro <sup>3</sup>	=	264.2	galones (USA)
1 metro <sup>3</sup>	=	35.3145	pies <sup>3</sup>
1 metro <sup>3</sup>	=	1000	litros
1 metro <sup>3</sup>	=	1.3079	yd <sup>3</sup>
1 centímetro <sup>3</sup>	=	0.06102	pulg <sup>3</sup>
1 litro	=	61.0234	pulg <sup>3</sup>
1 litro	=	0.26417	galones (USA)
1 onza	=	0.02957	litros
1 cuarta	=	2.00	pintas
1 cuartillo	=	0.125	fanegas
1 cuartillo	=	0.25	cajuelas

### Momento flector o torque

1 lb-pulg	=	1.15213	kg-cm
1 lb-pie	=	0.13825	kg-m
1 kg-cm	=	0.86795	lb-pulg
1 kg-m	=	7.233	lb-pie
1 kg-m	=	86.795	lb-pulg

### Constantes

π (Pi)	=	3.14159	
e	=	2.71828	
g	=	9.8	m/seg <sup>2</sup>
Vel sonido	=	343.2	m/seg
Vel luz	=	3x10 <sup>8</sup>	m/seg

### Pesos

1 libra	=	453.59	grs
1 libra	=	16	onzas
1 onza	=	28.35	grs
1 ton corta	=	2000	lbs
1 ton corta	=	907.19	kgf
1 arroba	=	25	lbs
1 arroba	=	0.25	quintales
1 dina	=	10 <sup>7</sup>	Newtons
1 kilogramo	=	2.2046	lbs
1 kilogramo	=	35.274	onzas
1 ton métrica	=	1.1023	ton cortas
1 ton métrica	=	45.36	kgf
1 ton métrica	=	2204.6	lbs
1 quintal	=	45.36	kgf
1 Newton	=	0.102	kgf
1 Newton	=	4.448	lbs

### Medidas de superficie

1 pulgada <sup>2</sup>	=	6.45	cm <sup>2</sup>
1 pie <sup>2</sup>	=	144.0	pulg <sup>2</sup>
1 yarda <sup>2</sup>	=	9.00	pies <sup>2</sup>
1 yarda <sup>2</sup>	=	0.84	m <sup>2</sup>
1 acre	=	4.84	yd <sup>2</sup>
1 acre	=	0.40	ha
1 vara <sup>2</sup>	=	0.70	m <sup>2</sup>
1 área	=	100.0	m <sup>2</sup>
1 área	=	0.01	ha
1 manzana	=	6989	m <sup>2</sup>
1 manzana	=	0.70	ha
1 centímetro <sup>2</sup>	=	0.16	pulg <sup>2</sup>
1 metro <sup>2</sup>	=	10.76	pies <sup>2</sup>
1 metro <sup>2</sup>	=	1.20	yd <sup>2</sup>
1 metro <sup>2</sup>	=	1.43	varas <sup>2</sup>
1 kilómetro <sup>2</sup>	=	0.39	millas <sup>2</sup>
1 hectárea	=	14233	varas <sup>2</sup>

### Presiones y carga

1 lb/pulg <sup>2</sup> (psi)	=	0.0703	kgf/cm <sup>2</sup>
1 lb/pulg <sup>2</sup> (psi)	=	0.0069	N/mm <sup>2</sup>
1 lb/pulg <sup>2</sup> (psi)	=	0.0069	MPa
1 Kip/pulg <sup>2</sup> (Ksi)	=	6.8946	MPa
1 lb/pie <sup>2</sup>	=	4.882	kgf/m <sup>2</sup>
1 lb/pie lin	=	1.488	kgf/m lin
1 lb/yd lin	=	0.496	kgf/m lin
1 atm	=	1.0333	kgf/cm <sup>2</sup>
1 atm	=	76	cm de mercurio
1 bar	=	1.0198	kgf/cm <sup>2</sup>
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	14.223	lb/pulg <sup>2</sup> (psi)
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	2048.2	lb/pie <sup>2</sup>
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	0.09804	MPa
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	98039.2	Pa
1 kgf/m <sup>2</sup>	=	0.20482	lb/pie <sup>2</sup>
1 kgf/m lin	=	0.67197	lb/pie lin
1 kgf/m lin	=	2.0159	lb/yd lin
1 bar	=	0.9869	atm
1 bar	=	10 <sup>6</sup>	Dinas/cm <sup>2</sup>
1 pascal	=	1	Newton/m <sup>2</sup>
1 pascal	=	1x10 <sup>-5</sup>	kg/cm <sup>2</sup>

### Velocidad

1 pie/seg	=	30.48	cm/seg
1 milla/h	=	1.61	km/h
1 milla/h	=	0.447	m/seg
1 nudo	=	1.8532	km/h
1 cm/seg	=	0.0328	pie/seg
1 km/h	=	0.621	millas/h
1 km/h	=	27.78	cm/seg

### Ángulos

1 grado	=	0.01745	radianes
1 grado	=	60	minutos
1 radian	=	57.2958	grados
1 radian	=	3437.75	minutos

### Caudal

1 pie <sup>3</sup> /min	=	0.472	litro/seg
1 galón/min	=	0.0631	litro/seg
1 litro/seg	=	2.12	pie <sup>3</sup> /min
1 litro/seg	=	15.85	galón/min

### Peso volumétrico

1 lb/pie <sup>3</sup>	=	16.018	kg/m <sup>3</sup>
1 ton corta/yd <sup>3</sup>	=	1.1865	ton met/m <sup>3</sup>
1 kg/m <sup>3</sup>	=	0.0624	lb/pie <sup>3</sup>
1 ton met/m <sup>3</sup>	=	0.843	ton corta/yd <sup>3</sup>

### Potencia

1 HP	=	0.74569	KW
1 KW	=	1.34	HP
1 KCal/seg	=	4.184	KW

Anexo 2 Sobrecargas							
Cargas en kgf/m <sup>2</sup>				Cargas en kgf/m <sup>2</sup>			
		ASCE-7-10	CSCR			ASCE-7-10	CSCR
Lugares de reunión	Asientos fijos	293	400	Edificios de oficinas (2)	Lobbies y corredores de primer piso	489	400
	Lobbies	489	N/A		Oficinas	245	250
	Asientos removibles	489	500		Corredores segundo y pisos superiores	391	400
	Plataformas	489	500	Centros penales	Celdas	196	200
	Escenarios	734	N/A		Corredores	489	400
	Otras áreas de reunión	489	400	Edificios residenciales (3)	Áticos no habitables sin bodegaje	49	N/A
Balcones y azoteas	489		Áticos no habitables con bodegaje		98	N/A	
Azoteas con pendiente superior al 5%	N/A	100	Áticos habitables y dormitorios		147	200	
Azoteas con pendiente igual o inferior al 5%	N/A	200	Otras áreas excepto escaleras		196	200	
Catwalks y pasillos de mantenimiento		196	N/A	Techos	Techos ordinarios planos, inclinados o curvos	98	40
Corredores	Primer nivel	489	400		Techos utilizados como jardineras	489	N/A
	Segundo nivel (1)		400	Escuelas	Salones de clase	196	250
Restaurantes		489	200		Corredores sobre el primer nivel	391	400
Hospitales	Salas de operaciones	293	200		Corredores en el primer nivel	489	400
	Salas para pacientes	196	200	Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera	611	500	
	Corredores segundo y pisos superiores	391	400	Comercios, bodegas y fábricas de mercancía de peso intermedio	N/A	650	
Bibliotecas	Salas de lectura	293	250	Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada	1223	800	
	Salas de libreros y almacenaje	734	500	Parqueos para vehículos livianos	196	300	
	Corredores segundo y pisos superiores	391	400				

(1) La misma carga del área servida sin exceder 500 kgf/m<sup>2</sup>

(2) Espacios para archivos de cómputo deben diseñarse para las cargas específicas de los materiales y equipos.

(3) Viviendas uni y duo familiares

Nota: Aplicar la especificación más exigente vigente en su país.

Anexo 3 Cargas al viento		
Altura sobre el terreno (m)	Presión básica del viento: Kg/m <sup>2</sup>	
	Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable	Construcciones en campo abierto, frente al mar y sitios similares
0	55	70
1	55	70
7	65	95
10	70	105
15	75	120
20	85	125
30	95	135
40	105	145
50	110	150
75	120	165
100	130	170

Los valores dados en esta tabla están de acuerdo con el Reglamento de Construcciones de Costa Rica. Para alturas intermedias a las anotadas, deberá interpolarse linealmente.

#### Anexo 4 Pesos de diferentes elementos constructivos

A. Partes de obra	kg/m <sup>2</sup>
Entrepiso de viguetas pretensadas constituidos por viguetas y bloques con losa de 5 cm de espesor	Ver Cap. Entrepisos, Tabla 6.2
Entrepiso de losa extruida de 20 cm con losa de 5 cm de espesor	366
Entrepiso de losa extruida de 25 cm con losa de 5 cm de espesor	431
Pisos de cerámica y mortero adicional para el afinado	50
Pisos de madera laminada	10
Pisos de mármol y mortero adicional	100
Pisos y peldaños de granito en escaleras	120
Enchapados de piedra arenisca para fachadas (espesor 20 mm)	80 a 90
Lámina rectangular de hierro galvanizado (calibre 26)	5
Lámina ondulada de hierro galvanizado (calibre 26)	5
Lámina tipo teja de hierro galvanizado (calibre 26)	5
Lámina tipo canaleta estructural de hierro galvanizado (calibre 26)	5
Lámina engrapada sencilla (calibre 22)	9
Lámina engrapada doble con 50 mm de aislante de poliuretano (calibre 22)	18
Lámina lisa de hierro galvanizado (calibre 26)	3.8
Lámina lisa de aluminio (calibre 22)	2
Teja de barro incluido el mortero	75
Losa de concreto por centímetro de espesor	24
Listón de madera de 2 centímetros	12
Tablilla para forros (espesor 13 mm)	15
Impermeabilización	15
Cielo raso liviano	5 a 10
Cielo raso medianamente pesados (madera)	30 a 50
Lámina de fibrocemento (espesor 8 mm)	9
Lámina de fibrocemento (espesor 11 mm)	13
Lámina de fibrocemento (espesor 22 mm)	25
Lámina de Densglass (espesor 13 mm)	10
Lámina de Gypsum (espesor 13 mm)	10
Lámina de Durok (espesor 13 mm)	17
Pared tipo emparedado con núcleo de espuma expandida y mortero lanzado (espesor 14 cm)	120
Lámina de Plywood por centímetro de espesor	6
Lámina de Policarbonato por centímetro de espesor	12
<b>B. Materiales</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Hormigón armado con compactación normal	2400
Hormigón simple	2300
Hormigón armado con compactación mecánica intensa	2500
Hormigón presforzado	2500
Acero	7900
Aluminio laminado	2800
Hierro dulce	7840
Zinc laminado	7200
Vidrio común	2600
Madera de Caobilla	600
Madera de Ceiba	450
Madera de Ciprés	460
Madera de Encino	750
Madera de Jaúl	370
Madera de Laurel	395
Madera de Melina	600
Madera de Nispero	1100
Madera de Pilón	715
Madera de Pino	405
Madera de Pino Canadiense	485
Madera de Pino Chileno	550
Madera de Pino Sureño	670
Madera de Roble	800
Madera de Teca	700
Mampostería de bloques de concreto huecos rellenos @ 80 cm	1650
Mampostería de bloques de concreto huecos rellenos @ 60 cm	1850
Mampostería de bloques de concreto huecos todos rellenos	2250
Mortero de cemento	2100
Piedra caliza	2200
Pizarra	2800
Plomo	11400
Yeso	1250 a 1600

### Anexo 4 Pesos de diferentes elementos constructivos (continuación)

C. Materiales de almacenaje		kg/m <sup>3</sup>
Cal en bultos		1000
Cemento en bultos		1600
Cemento en polvo		1200
Estanterías, archivos, otros		600
Libros y planillas apilados		850
Papel		1100
Harina en bultos		500
Azúcar		750
Arroz		800
D. Tierras y materiales granulares		kg/m <sup>3</sup>
Arena y grava, con humedad natural		1,800
Arena y grava, mojadas		2,000
Cantos rodados		1,900
Tierra común, con humedad natural		1,700

*Nota: Los pesos de las maderas son al 12% de contenido de humedad.*

### Anexo 5 Áreas y perímetros de varillas en cantidades de 1 a 10

Tamaño de varilla	Diámetro (pulg) (mm)	Peso (kg/m)	Cantidad de varillas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N°2	0.250	0.249	0.32	0.63	0.95	1.27	1.59	1.90	2.22	2.54	2.85	3.17
	6.4		1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	19.90
N°3	0.375	0.560	0.71	1.43	2.14	2.85	3.57	4.28	4.99	5.70	6.42	7.13
	9.5		2.99	5.98	8.97	11.96	14.95	17.94	20.93	23.92	26.91	29.90
N°4	0.500	0.994	1.27	2.53	3.80	5.07	6.34	7.60	8.87	10.40	11.40	12.67
	12.7		3.99	7.98	11.97	15.96	19.95	23.94	27.93	31.92	35.91	39.90
N°5	0.625	1,552	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.87	13.83	15.83	17.81	19.79
	15.9		4.99	9.98	14.97	19.96	24.95	29.94	34.93	39.92	44.91	49.90
N°6	0.750	2,235	2.85	5.70	8.55	11.40	14.25	17.10	19.95	22.80	25.65	28.50
	19.1		5.98	11.96	17.94	23.92	29.90	35.88	41.86	47.84	53.82	59.80
N°7	0.875	3,042	3.88	7.76	11.64	15.52	19.40	23.27	27.15	31.03	34.91	38.79
	22.2		6.98	13.96	20.94	27.92	34.90	41.88	48.86	55.84	62.82	69.80
N°8	1,000	3,973	5.07	10.13	15.20	20.27	25.34	30.40	35.47	40.54	45.60	50.67
	24.4		7.98	15.96	23.94	31.92	39.90	47.88	55.86	63.84	71.82	79.80
N°9	1,128	5,060	6.45	12.89	19.34	25.79	32.24	38.68	45.13	51.58	58.02	64.47
	28.7		9.00	18.00	27.00	36.00	45.00	54.00	63.00	72.00	81.00	90.00
N°10	1,270	6,404	8.17	16.35	24.52	32.69	40.87	49.04	57.21	65.38	73.56	81.73
	32.3		10.13	20.26	30.39	40.52	50.65	60.78	70.91	81.04	91.17	101.30
N°11	1,410	7,907	10.07	20.15	30.22	40.30	50.37	60.44	70.52	80.59	90.67	100.74
	35.8		11.25	22.50	33.75	45.00	56.25	67.50	78.75	90.00	101.25	112.50

*Número superior: área en cm<sup>2</sup> Número inferior: perímetro en cm*

### Anexo 6 Cantidad de varillas que puede acomodarse en una sola capa de vigas de varios anchos

Ancho de la viga (cm)	Tamaño de las varillas																	
	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#7	#8	#9	#10	#11
15	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	2	2	-	-	-
20	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	2	2	2
25	6	5	5	4	4	4	5	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3
30	7	7	6	6	5	5	6	5	5	5	4	4	3	5	5	4	4	3
35	9	8	7	7	6	6	7	7	6	6	5	4	4	6	6	5	4	4
40	10	9	8	8	7	7	8	8	7	7	6	5	5	7	7	6	5	5
45	11	10	10	9	8	8	9	9	8	8	7	6	5	8	7	7	6	5
50	13	12	11	10	9	9	11	10	9	9	8	7	6	9	8	7	7	6
55	14	13	12	11	10	10	12	11	10	10	8	8	7	10	9	8	7	7
60	16	14	13	12	11	11	13	12	11	11	9	8	8	11	10	9	8	7
Diámetro del estribo			#2						#3						#4			

*Notas: 1/ Recubrimiento al estribo o aro: 2,5 cm 2/ Espacio libre entre varillas: 2,5 cm o un diámetro, el que es mayor en cada caso.*

### Anexo 7 Áreas y perímetros de varillas en secciones de un metro de ancho

Espaciamiento "s"	Tamaño de las varillas										Varillas por metro "n"
	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	
8.0	3.96 24.88	8.91 37.38	15.84 49.88	24.74 62.38	35.63 74.74	48.49 87.25	63.34 99.75	80.59 112.50	102.16 126.63	125.93 140.63	12.3
8.5	3.74 23.48	8.41 35.28	14.95 47.08	23.35 58.88	33.63 70.56	45.77 82.36	59.79 94.16	76.07 106.20	96.44 119.53	118.87 132.75	11.8
9.0	3.52 22.09	7.91 33.19	14.06 44.29	21.97 55.39	31.64 66.38	43.06 77.48	56.24 88.58	71.56 99.90	90.72 112.44	111.82 124.88	11.1
9.5	3.33 20.90	7.49 31.40	13.30 41.90	20.78 52.40	29.93 62.79	40.73 73.29	53.20 83.79	67.69 94.50	85.82 106.37	105.78 118.13	10.5
10.0	3.17 19.90	7.13 29.90	12.67 39.90	19.79 49.90	28.50 59.80	38.79 69.80	50.67 79.80	64.47 94.50	81.73 101.30	100.74 112.50	10.0
10.5	3.01 18.91	6.77 28.41	12.04 37.91	18.80 47.41	27.08 56.81	36.85 66.31	48.14 75.81	64.47 90.00	77.64 96.24	95.70 106.88	9.5
11.0	2.88 18.11	6.49 27.21	11.53 36.21	18.00 45.41	25.94 54.42	35.30 63.52	46.11 72.61	67.69 90.00	74.37 92.18	91.67 102.38	9.1
11.5	2.76 17.31	6.20 26.01	11.02 34.71	17.22 43.41	24.80 52.03	33.75 60.73	44.08 69.43	61.25 85.50	71.11 88.13	87.64 97.88	8.7
12.0	2.65 16.52	5.92 24.82	10.52 33.12	16.43 41.42	23.66 49.63	32.20 57.93	42.06 66.23	58.67 81.90	67.84 84.08	83.61 93.38	8.3
12.5	2.54 15.92	5.70 23.92	10.13 31.92	15.83 39.92	22.80 47.84	31.03 55.84	40.54 63.84	59.09 78.30	65.38 81.04	80.59 90.00	8.0
13.0	2.44 15.32	5.49 23.01	9.76 30.72	15.24 38.42	21.95 46.05	29.87 53.75	39.02 61.45	63.51 74.70	62.93 78.00	77.57 86.63	7.7
13.5	2.35 14.73	5.28 22.13	9.38 29.53	14.64 36.93	21.09 44.25	28.70 51.56	37.50 59.05	51.58 72.00	60.48 74.96	74.55 83.25	7.4
14.0	2.25 14.13	5.06 21.23	9.00 28.33	14.05 35.43	20.24 42.46	27.54 49.56	35.98 56.66	49.64 63.90	58.03 71.92	71.53 79.88	7.1
14.5	2.19 13.73	4.92 20.63	8.74 27.53	13.66 34.43	19.67 41.26	26.77 48.10	34.96 55.06	44.48 62.10	56.39 69.90	69.51 77.63	6.9
15.0	2.12 13.33	4.78 20.03	8.49 26.73	13.26 33.43	19.10 40.07	25.99 46.77	33.95 53.47	43.19 60.30	54.76 67.87	67.50 75.38	6.7
16.0	2.00 12.54	4.49 18.84	7.98 25.14	12.47 31.44	17.96 37.67	24.44 43.97	31.92 50.27	40.62 56.70	51.49 63.82	63.47 70.88	6.3
18.0	1.78 11.14	3.99 16.74	7.05 22.34	11.08 27.94	15.96 33.49	21.72 39.09	28.38 44.69	36.10 50.40	45.77 56.73	56.41 63.00	5.6
20.0	1.56 9.95	3.57 14.95	6.34 19.95	9.90 24.95	14.25 29.90	19.40 34.90	25.34 39.90	32.24 45.00	40.87 50.65	50.37 56.25	5.0
25.0	1.27 7.96	2.85 11.96	5.07 15.96	7.92 19.96	11.40 23.92	15.52 27.92	20.27 31.92	25.79 36.00	32.69 40.52	40.30 45.00	4.0
30.0	1.05 6.57	2.35 9.87	4.18 13.17	6.53 16.47	9.40 19.73	12.80 23.03	16.72 26.33	21.28 26.70	26.97 33.43	33.24 37.13	3.3

Número superior: área en cm<sup>2</sup> Número inferior: perímetro en cm

### Anexo 8 Agua libre que llevan los agregados

Condición de humedad	Cantidad aproximada de agua por metro cúbico de agregado (litros)	Cantidad aproximada de agua por pie cúbico de agregados (litros)
Grava y roca triturada húmeda	60	2.2
Arena muy mojada	120 - 150	4.3 - 5.4
Arena algo mojada	110	4.0
Arena húmeda	60	2.2

*Nota: estas cantidades deberán deducirse del total requerido por el diseño de mezcla.*

Anexo 9 Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción				
Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta (1) $l_{ext}$ , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	Nº 10 a Nº 25	$6d_b$	$12d_b$	
	Nº 29 a Nº 36	$8d_b$		
	Nº 43 y Nº 57	$10d_b$		
Gancho de 180 grados	Nº 10 a Nº 25	$6d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	Nº 29 a Nº 36	$8d_b$		
	Nº 43 y Nº 57	$10d_b$		

(1) El gancho estándar para las barras corrugadas en tracción incluye el diámetro interior específico del doblado y el largo de la extensión recta. Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la resistencia de anclaje del gancho.

Anexo 10 Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos, amarras y estribos cerrados de confinamiento				
Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta (1) $l_{ext}$ , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	Nº 10 a Nº 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	Nº 19 a Nº 25	$6d_b$	$12d_b$	
Gancho de 135 grados	Nº 10 a Nº 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	Nº 19 a Nº 25	$6d_b$		
Gancho de 180 grados	Nº 10 a Nº 16	$4d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	Nº 19 a Nº 25	$6d_b$		

(1) El gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento incluye el diámetro interior del doblado específico y el largo de la extensión recta. Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la resistencia de anclaje del gancho.

### Anexo 11 Secuencia de dosificación y mezclado de concreto en batidora

Pasos	Tiempo de mezclado
1. Curar el tambor de la batidora agregando media palada de arena y media palada de cemento, cuando no se ha iniciado el trabajo del día	2 min
2. Agregar el agregado grueso, seguido el agregado fino y mezclar	30 seg
3. Agregar el cemento y mezclar	1 min
4. Agregar el agua y mezclar	3 min - 4 min
5. Detener la batidora cuando se observe una mezcla homogénea en color y distribución de materiales	

### Anexo 12 Cantidad de materiales por metro cuadrado de pared de bloques

Tipo de bloque	Mortero (dm <sup>3</sup> )	Cemento (sacos)	Cal (kg)	Arena (m <sup>3</sup> )	Bloques (c/u)	Volumen de concreto de relleno (m <sup>3</sup> )
Bloque de 10 x 20 x 40 cm	7.70	0.0616	0.65	0.0116	12.5	0.0112
Bloque Patarrá de 12 x 20 x 40 cm	9.30	0.0744	0.80	0.014	12.5	0.0159
Bloque de 15 x 20 x 40 cm	11.60	0.0928	0.99	0.0174	12.5	0.0227
Bloque de 20 x 20 x 40 cm	15.50	0.1240	1.32	0.0233	12.5	0.0341

Nota: se asume una pega de 1.0 cm de espesor. El concreto de relleno se ha calculado para una celda vertical rellena a cada 80 cm.

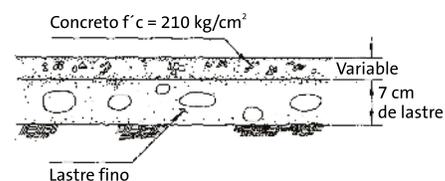
### Anexo 13 Cantidad de materiales y mano de obra por metro cuadrado de repello

	Mortero (1 m <sup>3</sup> )	Cemento (sacos)	Arena (m <sup>3</sup> )	Cal (kg)	m <sup>2</sup> de repello por jornada de 8 horas	Horas hombre por m <sup>2</sup> de repello
Una cara	0.015	0.12	0.0225	3.54	16	0.5
Dos caras	0.030	0.24	0.045	7.08	8	1.0

Nota: se asume un repello de 1.5 cm de espesor.

### Anexo 14 Cantidad de materiales por metro cuadrado de contrapiso

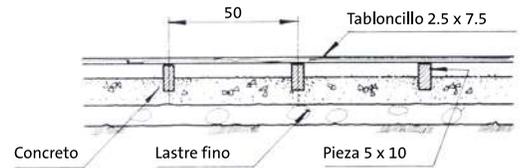
Espesor de la capa de lastre compactado	Espesor del concreto (cm)	Lastre (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
7	5	0.105	0.055
7	6	0.105	0.066
7	7	0.105	0.077
7	8	0.105	0.088



Nota: 1/ Se asume un 35% de reducción en el volumen final del material de lastre por efectos de compactación. 2/ Se asume un 10% de desperdicio del concreto.

### Anexo 15 Cantidad de materiales por metro cuadrado de piso sordo de madera

Rubro	Unidad	Cantidad por m <sup>2</sup>
Pieza de 5.0 x 7.5 cm	metro lineal	1.79
Tabloncillo de 2.5 x 7.5 cm	metro lineal	14.97



### Anexo 16 Cantidad de materiales por metro cuadrado de piso de terrazo

Rubro	Unidad	Cantidad por m <sup>2</sup>
Terrazo de 30 x 30 cm	m <sup>2</sup>	11
Terrazo de 33 x 33 cm	m <sup>2</sup>	9
Mortero de pega	m <sup>3</sup>	0.028
Cemento blanco o gris para fraguado		
Para terrazo de 30 x 30 cm	kg	1.77
Para terrazo de 33 x 33 cm	kg	1.60

Nota: se asume un 10% de desperdicio en el terrazo y el mortero.

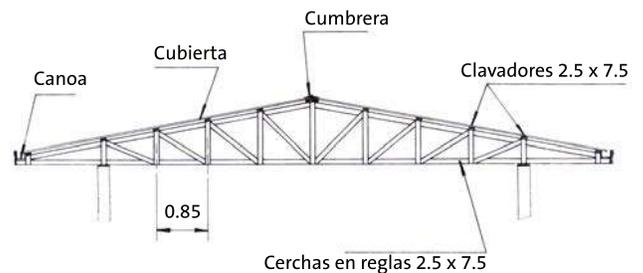
### Anexo 17 Cantidad de materiales por metro cuadrado de cielo de fibro-cemento

Rubro	Unidad	Cantidad por m <sup>2</sup>
Regla de 2.5 x 5.0 cm	metro lineal	4.17
Lámina A.C. 0.61 x 1.22 cm	c/u	1.44



### Anexo 18 Cantidad de materiales para techos

Rubro	Unidad	Cantidad por m <sup>2</sup>
Regla de 2.5 x 7.5 cm	metro lineal	5.27
Lámina de H.G. corrugado	c/u	1.09
Lámina de H.G. corrugado	c/u	0.50
Clavos	kg	0.18
Arandelas de plomo	g	45.0



Detalle constructivo de estructura de techo

**Anexo 19 Datos útiles de algunas maderas estructurales**

Especie	Contracción volumétrica (%)	Peso específico bruto (PEB) (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzos de diseño a 18% contenido de humedad (kg/cm <sup>2</sup> )				Módulo de elasticidad E (kg/cm <sup>2</sup> )	
			Grado	Fb	Fv	Fcl		Fcll
<b>DURAS: Construcción pesada, carrocerías, torres con cargas altas, pisos con tráfico pesado.</b>								
Almendro	13.9	0.940	N°1	265.8	13.5	232.5	232.5	275086
			N°2	204.0	13.5	232.5	178.6	247578
			N°3	154.0	13.5	232.5	134.8	220069
Jicaro	8.18	0.636	N°1	167.7	9.0	62.2	127.5	224000
			N°2	128.7	9.0	62.2	97.9	202000
			N°3	97.2	9.0	62.2	73.1	179000
<b>SEMIDURAS: Construcción de armaduras, marcos rígidos, entrepisos, donde las cargas son importantes.</b>								
Cocobolo	13.80	0.699	N°1	212.3	5.5	94.0	135.7	189713
			N°2	163.0	5.5	94.0	104.2	170742
			N°3	123.0	5.5	94.0	78.7	151770
Manga Larga	11.87	0.636	N°1	167.5	8.7	59.1	132.0	181000
			N°2	128.5	8.7	59.1	101.0	163000
			N°3	97.1	8.7	59.1	76.0	144000
Gavilán	22.20	0.518	N°1	122.0	8.4	32.0	88.2	110000
			N°2	93.8	8.4	32.0	67.8	99000
			N°3	70.8	8.4	32.0	51.1	88000
María	15.00	0.554	N°1	133.4	10.1	61.7	114.8	144747
			N°2	102.4	10.1	61.7	88.1	130272
			N°3	77.3	10.1	61.7	66.5	115797
Pilon	13.4	0.610	N°1	134.0	8.0	34.0	77.3	108000
			N°2	103.0	8.0	34.0	59.4	97000
			N°3	77.8	8.0	34.0	44.8	86500
<b>SUAVES: Para estructuras sometidas a cargas livianas. Paredes divisorias, cerchas de claros no mayores de 7 m.</b>								
Lagarto	14.70	0.424	N°1	130.0	5.7	19.0	94.9	166000
			N°2	100.0	5.7	19.0	72.9	149000
			N°3	75.6	5.7	19.0	55.0	133000
Palsia	8.80	0.412	N°1	117.8	6.8	27.8	79.3	114393
			N°2	90.4	6.8	27.8	60.9	102953
			N°3	68.3	6.8	27.8	46.0	91514
Chancho Colorado	6.41	0.394	N°1	80.0	4.6	15.3	52.0	81000
			N°2	62.0	4.6	15.3	40.0	73000
			N°3	46.5	4.6	15.3	30.0	65000
Aceituno	6.02	0.3361	N°1	115.7	4.5	19.8	78.6	117872
			N°2	88.7	4.5	19.8	60.3	106085
			N°3	67.0	4.5	19.8	45.5	94297
Jaúl	10.69	0.353	N°1	107.0	6.0	15.7	44.9	115000
			N°2	92.0	6.0	15.7	34.5	104000
			N°3	662.0	6.0	15.7	26.0	92000
Chancho Blanco	6.81	0.394	N°1	95.0	5.6	19.6	55.0	105529
			N°2	73.0	5.6	19.6	42.2	94976
			N°3	55.1	5.6	19.6	31.8	844223
<b>MUY SUAVERES: Para construcción de forro de casas, muebles económicos y formaletas.</b>								
Laurel	8.80	0.42	N°1	96.4	3.4	13.1	54.8	93000
			N°2	74.0	3.4	13.1	42.1	83900
			N°3	55.9	3.4	13.1	31.8	74500
Jacaranda	17.10	0.312	N°1	53.4	3.4	8.0	53.5	125000
			N°2	41.0	3.4	8.0	41.0	111000
			N°3	31.0	3.4	8.0	31.0	99000
Chilemate	13.00	0.315	N°1	58.2	2.2	10.0	44.2	68850
			N°2	44.6	2.2	10.0	34.6	61965
			N°3	33.7	2.2	10.0	25.6	55080
Fb = Módulo de ruptura		Fv = Cortante		Fcl = Compresión perpendicular				
Fcll = Compresión paralela		E = Módulo de elasticidad						
Notas: Todas las unidades en kg/cm <sup>2</sup> . Contenido de humedad de la madera = 18%. Duración permanente de la carga. La albura de todas las especies debe ser preservada sin excepción. Las especies suaves y muy suaves deben ser preservadas por ser muy susceptibles al ataque de insectos y a la pudrición.								

Anexo 20 Cantidad de materiales por metro cuadrado de cielo de tablilla		
Rubro	Unidad	Cantidad por m <sup>2</sup>
Regla 2.5 x 5.0 cm *	metro lineal	2.86
Tablilla 1.27 x 7.50 cm **	metro lineal	15.88

Notas: \*La plantilla es en un solo sentido. \*\* Sector comercial.

Anexo 21 Datos meteorológicos e índices climáticos de riesgo de pudrición de madera a la intemperie														
Región	Índice climático de pudrición de madera	Datos (°C) (días)	(para varias regiones de Costa Rica)											
			Mes											
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Valle Central San José	116.34	Temperatura media	17.3	18.2	18.3	19.3	19.5	18.8	18.3	18.0	19.0	18.8	18.7	18.1
		Días de lluvia	5	2	6	5	19	20	17	16	23	25	11	3
Costa Atlántica Limón	294.41	Temperatura media	23.4	24.3	24.7	25.4	25.9	25.9	25.1	25.6	25.5	25.5	25.3	25.2
		Días de lluvia	22	11	17	24	19	21	30	25	20	22	20	17
Península Guanacaste Liberia	94.64	Temperatura media	27.1	26.5	27.5	29.3	28.0	26.4	27.6	27.0	26.0	25.7	25.9	26.4
		Días de lluvia	27.1	26.5	27.5	29.3	28.0	26.4	27.6	27.0	26.0	25.7	25.9	26.4
Valle del General San Isidro de Pérez Zeledón	210.87	Temperatura media	0	0	1	0	12	17	8	16	17	22	6	2
		Días de lluvia	22.8	23.5	24.4	24.3	23.9	23.9	23.9	23.7	23.2	22.8	23.6	23.6
Pacífico Central Quepos	110.55	Temperatura media	3	7	4	21	20	19	23	25	25	28	16	8
		Días de lluvia	26.4	27.1	27.7	27.8	27.4	26.8	26.5	26.4	26.7	26.0	27.0	27.7
Valle Central Occidente Grecia	110.78	Temperatura media	26.4	27.1	27.7	27.8	27.4	26.8	26.5	26.4	26.7	26.0	27.0	27.7
		Días de lluvia	0	0	2	9	14	9	12	11	17	25	12	0
Valle Central Occidente Grecia	110.78	Temperatura media	23.0	23.0	23.4	24.1	24.0	23.8	23.9	24.0	23.6	23.3	23.6	23.5
		Días de lluvia	0	1	1	4	16	20	13	14	20	23	7	2

Fuente: Departamento de Investigación de Xiloquímicas de Costa Rica S.A.  
 Notas: El índice climático de riesgo de pudrición de madera está dado por  $IC = \sum [(T-2) * (D-3)] / 16.7$  donde: IC= Índice climático D= número de días por mes de precipitación mayor a 25mm. T= Temperatura media mensual en °C.

Anexo 22 Cantidad de materiales por metro lineal de formaleta para vigas corona de diferentes secciones				
Sección (cm) (ml)	Regla de 2.5 x 7.5 cm (ml)	Tabla de 2.5 x 20 cm (ml)	Tabla de 2.5 x 25 cm (ml)	Tabla de 25 x 30 cm
Viga de 12 x 30 cm	2.00	0.00	4.00	0.00
Viga de 12 x 20 cm	1.60	0.00	0.00	2.00
Viga de 12 x 25 cm	1.60	0.00	0.00	2.00
Viga de 12 x 15 cm	1.20	2.00	0.00	0.00

Anexo 23 Cantidad de formaleta por metro cuadrado de losa de 10 a 15 cm de espesor y 3 m de alto				
Tabla 2.5 x 25 cm	Pieza 5 x 10 m	Pieza 10 x 10 cm	Regla 2.5 x 7.5 cm	Total madera
25.88	14.62	41.95	3.17	86.45

Unidades en dm<sup>3</sup>

### Anexo 24 Cantidad de material por metro lineal de viga corona

Nº	Secciones Dimensiones (cm)	Varilla #2 (ml)	Varilla #3 (ml)	Varilla #4 (ml)	Concreto sin % desperdicio (m³)	Concreto con 10% desperdicio (m³)	Alambre (kg)
1	12x20	2.95	4.00	-	0.0240	0.0264	0.1239
2	12x20	2.95	-	4.00	0.0240	0.0264	0.1885
3	12x30	3.95	4.00	-	0.0360	0.0396	0.1339
4	12x30	3.95	-	4.00	0.0396	0.0436	0.1985
5	15x20	3.25	4.00	-	0.0300	0.0330	0.1269
6	15x20	3.25	-	4.00	0.0300	0.0330	0.1915
7	15x30	4.25	4.00	-	0.0450	0.0495	0.1369
8	15x30	4.25	-	4.00	0.0450	0.0495	0.2015

Vigas 1 y 2

Vigas 3 y 4

Vigas 5 y 6

Vigas 7 y 8

*Notas importantes: 1/ Cantidades de acero longitudinal no incluyen porcentaje de desperdicio ni traslapes. 2/ Cantidad de alambre negro obtenido utilizando 4% del peso de acero de refuerzo por metro lineal sin incluir traslapes ni desperdicios.*

### Anexo 25 Superficie en metros cuadrados que cubre madera en diferentes anchos y largos

Ancho (cm)	Área en m <sup>2</sup> que cubre cada largo de:			
	0,836 ml	1,672 ml	2,508 ml	3,334 ml
2.50	0.02125	0.04250	0.06375	0.08500
5.00	0.04250	0.08500	0.12750	0.17000
7.50	0.06375	0.12750	0.19125	0.25500
10.00	0.08500	0.17000	0.25500	0.34000
12.50	0.10625	0.21250	0.31875	0.42500
15.00	0.12750	0.25500	0.38250	0.51000
17.50	0.14875	0.29750	0.44625	0.59500
20.00	0.17000	0.34000	0.51000	0.68000
22.50	0.19125	0.38250	0.57375	0.76500
25.00	0.21250	0.42500	0.63750	0.85000
27.50	0.23375	0.46750	0.70125	0.93500
30.00	0.25900	0.51000	0.76500	1.02100
32.50	0.27625	0.55250	0.82875	1.12500
35.00	0.29750	0.59500	0.89250	1.19000

### Anexo 26 Cantidad de formaleta por metro lineal de columna de sección cuadrada o rectangular

Sección de la columna (m)	Perímetro (m)	Tabla (dm <sup>3</sup> )	Pieza 5 x 19 cm (dm <sup>3</sup> )	Total madera (dm <sup>3</sup> )
0.15x0.20	0.70	20.71	17.60	38.31
0.15x0.30	0.90	25.88	19.67	45.56
0.20x0.20	0.80	23.30	18.64	41.93
0.20x0.30	1.00	28.47	18.55	49.18
0.20x0.40	1.20	33.65	22.78	56.43
0.25x0.25	1.00	28.47	20.71	49.18
0.25x0.40	1.30	36.24	23.81	60.05
0.25x0.50	1.50	41.41	25.88	67.30
0.30x0.30	1.20	33.65	22.78	56.43
0.30x0.40	1.40	38.83	24.85	63.67
0.30x0.50	1.60	44.00	26.92	70.49
0.30x0.60	1.80	49.18	28.99	78.17

Anexo 27 Cantidad de formaleta por metro lineal de viga

Sección de la viga (m)	Perímetro (m)	Tabla (dm <sup>3</sup> )	Pieza 5 x 10 cm (dm <sup>3</sup> )	Pieza 10 x 10 cm (dm <sup>3</sup> )	Regla 2.5 x 7.5 cm (dm <sup>3</sup> )	Total madera
0.15x0.20	0.70	10.35	1.88	28.26	2.96	43.44
0.15x0.30	0.90	15.53	1.88	28.26	3.73	49.40
0.20x0.20	0.80	11.65	2.11	28.26	3.34	45.36
0.20x0.30	1.00	15.75	2.11	28.26	4.12	50.24
0.20x0.40	1.20	22.00	2.11	28.26	4.90	57.27
0.25x0.30	1.10	18.12	2.35	28.26	4.49	53.21
0.25x0.40	1.30	23.30	2.35	28.26	5.26	59.17
0.25x0.50	1.50	28.47	2.35	28.26	6.04	65.12
0.30x0.40	1.40	24.59	2.59	28.26	5.63	61.06
0.30x0.50	1.60	29.77	2.59	28.26	6.41	67.02
0.30x0.60	1.80	34.94	2.59	28.26	5.76	72.97

Anexo 28 Cantidad de materiales por metro cuadrado de pared de madera

Rubro	Unidad	Cantidad
Lámina de fibrocemento 1.22 x 2.44 m	c/u	0.69
Pieza de 5.0 x 10.0 cm	ml	2.29
Pieza de 2.5 x 7.5 cm	ml	2.32
Tablilla de 1.27 x 7.5	ml	32.70

*Nota: Por las dos caras de la pared.*

Anexo 29 Ecuaciones y diagramas para diseño de vigas

(1) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$R = V \dots\dots\dots = \frac{wl}{2}$$

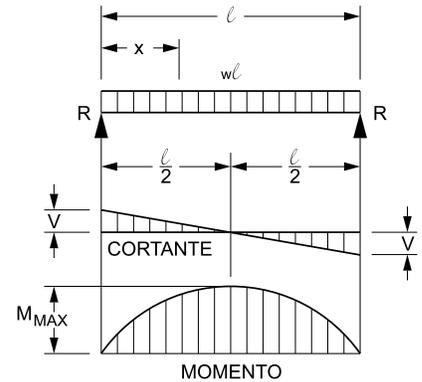
$$V_x \dots\dots\dots = w \left( \frac{l}{2} - x \right)$$

$$M_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{wx}{2} (\ell - x)$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{5wl^4}{384EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{wx}{24EI} (\ell^3 - 2(\ell x^2 + x^3))$$



(2) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA CONCENTRADA AL CENTRO DE LA VIGA

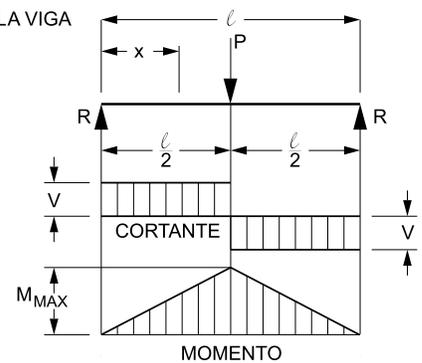
$$R = V \dots\dots\dots = \frac{P}{2}$$

$$M_{MAX} \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{P\ell}{4}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2} \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Px}{2}$$

$$\Delta_x \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{P\ell^3}{48EI}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2} \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Px}{48EI} (3\ell^2 - 4x^2)$$



(3) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA CONCENTRADA A CUALQUIER DISTANCIA

$$R_1 = V_1 \text{ (MAX CUANDO } a < b \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Pb}{\ell}$$

$$R_2 = V_2 \text{ (MAX CUANDO } a > b \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Pa}{\ell}$$

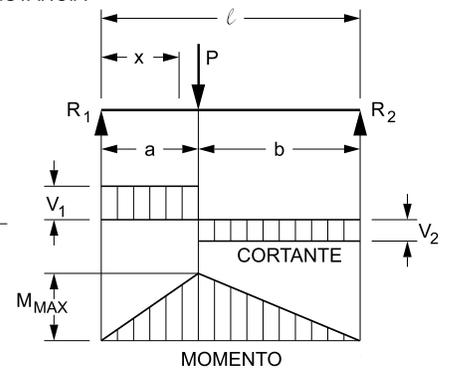
$$M_{MAX} \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{Pab}{\ell}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Pbx}{\ell}$$

$$\Delta_{MAX} \left( \text{EN } x = \sqrt{\frac{a(a+2b)}{3}} \text{ CUANDO } a > b \right) \dots\dots\dots = \frac{Pab(a+2b)\sqrt{3a(a+2b)}}{27EI\ell}$$

$$\Delta_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{Pa^2b^2}{3EI\ell}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Pbx}{6EI\ell} (\ell^2 - b^2 - x^2)$$



(4) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-DOS CARGAS CONCENTRADAS IDENTICAS UBICADAS SIMETRICAMENTE

$$R = V \dots\dots\dots = P$$

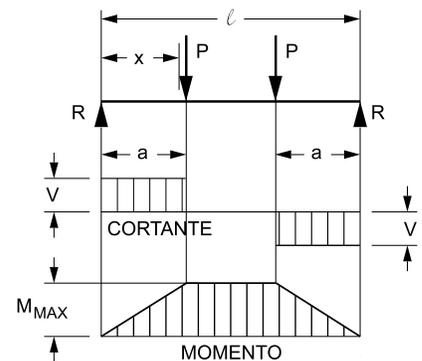
$$M_{MAX} \text{ (ENTRE CARGAS)} \dots\dots\dots = Pa$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a \text{)} \dots\dots\dots = Px$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{Pa}{24EI} (3\ell^2 - 4a^2)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Px}{6EI} (3\ell a - 3a^2 - x^2)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x > a \text{ Y } < (\ell - a) \text{)} \dots\dots\dots = \frac{Pa}{6EI} (3(\ell - x) - 3(\ell - x)^2 - a^2)$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

Anexo 29 Ecuaciones y diagramas para diseño de vigas (continuación)

(5) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-DOS CARGAS CONCENTRADAS DIFERENTES UBICADAS A CUALQUIER DISTANCIA

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{P_1(\ell - a) + P_2 b}{\ell}$$

$$R_2 = V_2 \dots\dots\dots = \frac{P_1 a + P_2(\ell - b)}{\ell}$$

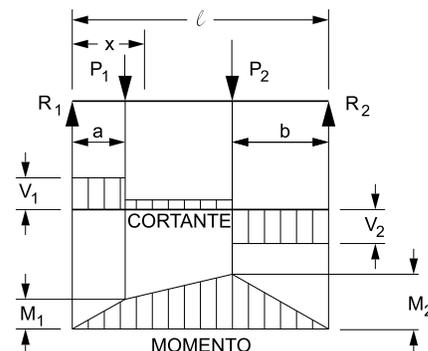
$$V_x \text{ (CUANDO } x > a \text{ Y } < (\ell - b) \dots\dots\dots = R_1 - P_1$$

$$M_1 \text{ (MAX CUANDO } R_1 < P_1) \dots\dots\dots = R_1 a$$

$$M_2 \text{ (MAX CUANDO } R_2 < P_2) \dots\dots\dots = R_2 b$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = R_1 x$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x > a \text{ Y } < (\ell - b)) \dots\dots\dots = R_1 x - P_1(x - a)$$



(6) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA UNIFORME PARCIALMENTE DISTRIBUIDA

$$R_1 = V_1 \text{ (MAX CUANDO } a < c) \dots\dots\dots = \frac{wb}{2\ell} (2c + b)$$

$$R_2 = V_2 \text{ (MAX CUANDO } a > c) \dots\dots\dots = \frac{wb}{2\ell} (2a + b)$$

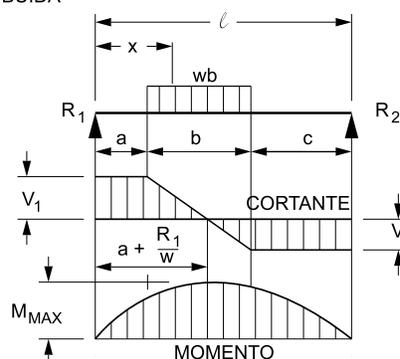
$$V_x \text{ (CUANDO } x > a \text{ Y } < (a + b) \dots\dots\dots = R_1 - w(x - a)$$

$$M_{MAX} \left( \text{EN } x = a + \frac{R_1}{w} \right) \dots\dots\dots = R_1 \left( a + \frac{R_1}{2w} \right)$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = R_1 x$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x > a \text{ Y } < (a + b)) \dots\dots\dots = R_1 x - \frac{w}{2} (x - a)^2$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x > (a + b)) \dots\dots\dots = R_2(\ell - x)$$



(7) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA DISTRIBUIDA VARIABLE INCREMENTANDO UNIFORMEMENTE DE UN EXTREMO AL OTRO DE LA VIGA (W ES LA CARGA TOTAL)

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{W}{3}$$

$$R_2 = V_2 \text{ MAX} \dots\dots\dots = \frac{2W}{3}$$

$$V_x \dots\dots\dots = \frac{W}{3} - \frac{Wx^2}{\ell^2}$$

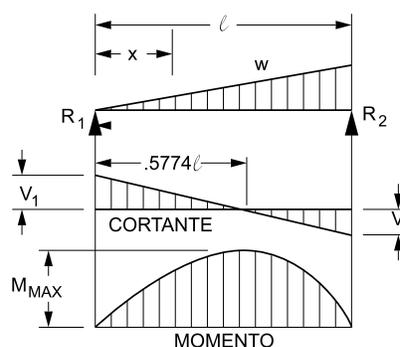
$$M_{MAX} \left( \text{EN } x = \frac{\ell}{\sqrt{3}} = .5774\ell \right) \dots\dots\dots = \frac{2W\ell}{9\sqrt{3}} = .1283 W\ell$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{Wx}{3\ell^2} (\ell^2 - x^2)$$

$$\Delta_x \left( \text{EN } x = \ell \sqrt{1 - \frac{\sqrt{8}}{15}} = .5193\ell \right) \dots\dots\dots = \frac{.01304 W\ell^3}{EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{Wx}{180 EI\ell^2} (3x^4 - 10\ell^2 x^2 + 7\ell^4)$$

$$W = \frac{w\ell}{2}$$



(8) VIGA SIMPLEMENTE APOYADA-CARGA DISTRIBUIDA INCREMENTANDO UNIFORMEMENTE HACIA EL CENTRO DE LA VIGA (W ES LA CARGA TOTAL)

$$R = V \dots\dots\dots = \frac{W}{2}$$

$$V_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = \frac{W}{2\ell^2} (\ell^2 - 4x^2)$$

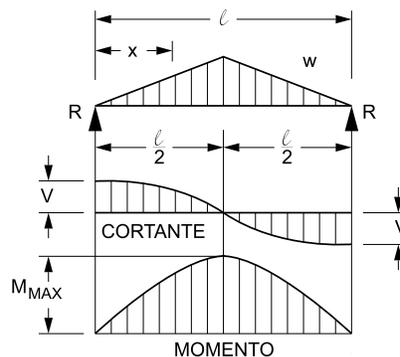
$$M_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{W\ell}{6}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = Wx \left( \frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3\ell^2} \right)$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{W\ell^3}{60 EI}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = \frac{Wx}{480 EI\ell^2} (5\ell^2 - 4x^2)^2$$

$$W = \frac{w\ell}{2}$$

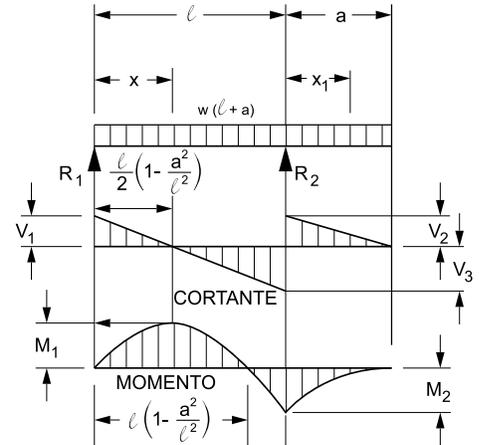


Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

Anexo 29 Ecuaciones y diagramas para diseño de vigas (continuación)

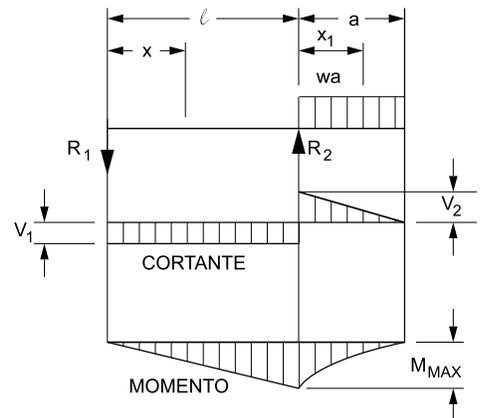
(9) VIGA CON DOS APOYOS SIMPLES Y UN EXTREMO EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$\begin{aligned}
 R_1 = V_1 & \dots\dots\dots = \frac{w}{2\ell} (\ell^2 - a^2) \\
 R_2 = V_2 + V_3 & \dots\dots\dots = \frac{w}{2\ell} (\ell + a)^2 \\
 V_2 & \dots\dots\dots = wa \\
 V_3 & \dots\dots\dots = \frac{w}{2\ell} (\ell^2 + a^2) \\
 V_x \text{ (ENTRE APOYOS)} & \dots\dots\dots = R_1 - wx \\
 V_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = w(a - x_1) \\
 M_1 \left( \text{EN } x = \frac{\ell}{2} \left[ 1 - \frac{a^2}{\ell^2} \right] \right) & \dots\dots\dots = \frac{w}{8\ell^2} (\ell + a)^2 (\ell - a)^2 \\
 M_2 \text{ (AT } R_2) & \dots\dots\dots = \frac{wa^2}{2} \\
 M_x \text{ (ENTRE APOYOS)} & \dots\dots\dots = \frac{wx}{2\ell} (\ell^2 - a^2 - x\ell) \\
 M_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = \frac{w}{2} (a - x_1)^2 \\
 \Delta_x \text{ (ENTRE APOYOS)} & \dots\dots\dots = \frac{wx}{24EI\ell} (\ell^3 - 2\ell^2x^2 + \ell x^3 - 2a^2\ell^2 + 2a^2x^2) \\
 \Delta_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = \frac{wx_1}{24EI} (4a^2\ell - \ell^3 + 6a^2x_1 - 4ax_1^2 + x_1^3)
 \end{aligned}$$



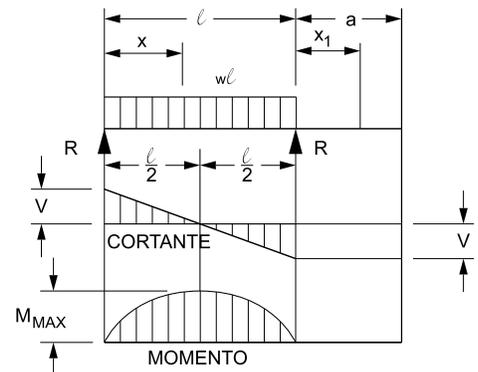
(10) VIGA CON DOS APOYOS SIMPLES Y UN EXTREMO EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA EN EL VOLADIZO

$$\begin{aligned}
 R_1 = V_1 & \dots\dots\dots = \frac{wa^2}{2\ell} \\
 R_2 = V_1 + V_2 & \dots\dots\dots = \frac{wa}{2\ell} (2\ell + a) \\
 V_2 & \dots\dots\dots = wa \\
 V_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = w(a - x_1) \\
 M_{MAX} \text{ (EN } R_2) & \dots\dots\dots = \frac{wa^2}{2} \\
 M_x \text{ (ENTRE APOYOS)} & \dots\dots\dots = \frac{wa^2x}{2\ell} \\
 M_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = \frac{w}{2} (a - x_1)^2 \\
 \Delta_{MAX} \text{ (ENTRE APOYOS EN } x = \frac{\ell}{\sqrt{3}}) & \dots\dots\dots = \frac{wa^2\ell^2}{18\sqrt{3}EI} = .03208 \frac{wa^2\ell^2}{EI} \\
 \Delta_{MAX} \text{ (PARA VOLADIZO EN } x_1 = a) & \dots\dots\dots = \frac{wa^3}{24EI} (4\ell + 3a) \\
 \Delta_x \text{ (ENTRE APOYOS)} & \dots\dots\dots = \frac{wa^2x}{12EI\ell} (\ell^2 - x^2) \\
 \Delta_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO)} & \dots\dots\dots = \frac{wx_1}{24EI} (4a^2\ell + 6a^2x_1 - 4ax_1^2 + x_1^3)
 \end{aligned}$$



(11) VIGA CON DOS APOYOS SIMPLES Y UN EXTREMO EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA ENTRE APOYOS

$$\begin{aligned}
 R = V & \dots\dots\dots = \frac{w\ell}{2} \\
 V_x & \dots\dots\dots = w \left( \frac{\ell}{2} - x \right) \\
 M_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} & \dots\dots\dots = \frac{w\ell^2}{8} \\
 M_x & \dots\dots\dots = \frac{wx}{2} (\ell - x) \\
 \Delta_{MAX} \text{ (EN CENTRO)} & \dots\dots\dots = \frac{5w\ell^4}{384EI} \\
 \Delta_x & \dots\dots\dots = \frac{wx}{24EI} (\ell^3 - 2\ell x^2 + x^3) \\
 \Delta_{x_1} & \dots\dots\dots = \frac{w\ell^3x_1}{24EI}
 \end{aligned}$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

(12) VIGA CON DOS APOYOS SIMPLES Y UN EXTREMO EN VOLADIZO - CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO ENTRE LOS APOYOS

$$R_1 = V_1 \text{ (MAX CUANDO } a < b) \dots\dots\dots = \frac{Pb}{l}$$

$$R_2 = V_2 \text{ (MAX CUANDO } a > b) \dots\dots\dots = \frac{Pa}{l}$$

$$M_{MAX} \text{ (EN PUNTO DE CARGA) } \dots\dots\dots = \frac{Pab}{l}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = \frac{Pbx}{l}$$

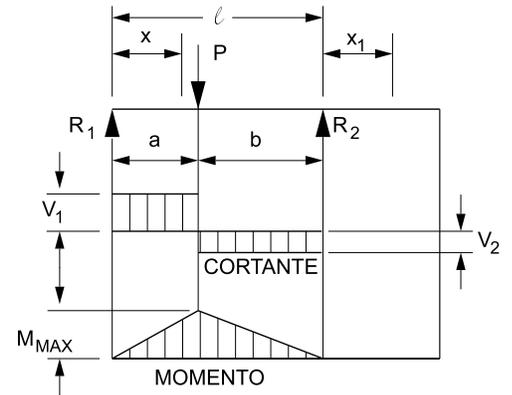
$$\Delta_{MAX} \left( \text{EN } x = \sqrt{\frac{a(a+2b)}{3}} \text{ CUANDO } a > b \right) \dots\dots = \frac{Pab(a+2b)\sqrt{3a(a+2b)}}{27EI l}$$

$$\Delta_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA) } \dots\dots\dots = \frac{Pa^2b^2}{3EI l}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = \frac{Pbx}{6EI l} (l^2 - b^2 - x^2)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x > a) \dots\dots\dots = \frac{Pa(l-x)}{6EI} (2lx - x^2 - a^2)$$

$$\Delta_{x_1} \dots\dots\dots = \frac{Pabx_1}{6EI l} (l+a)$$



(13) VIGA CON DOS APOYOS SIMPLES Y UN EXTREMO EN VOLADIZO - CARGA CONCENTRADA EN EL EXTREMO DEL VOLADIZO

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{Pa}{l}$$

$$R_2 = V_1 + V_2 \dots\dots\dots = \frac{P}{l} (l+a)$$

$$V_2 \dots\dots\dots = P$$

$$M_{MAX} \text{ (EN } R_2) \dots\dots\dots = Pa$$

$$M_x \text{ (ENTRE APOYOS) } \dots\dots\dots = \frac{Pax}{l}$$

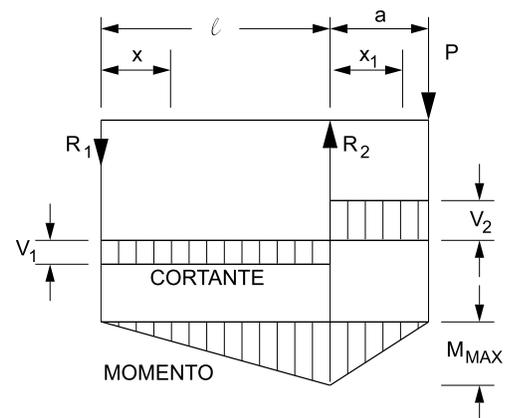
$$M_1 \text{ (PARA VOLADIZO) } \dots\dots\dots = P(a-x_1)$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (ENTRE APOYOS EN } x = \frac{l}{\sqrt{3}}) \dots\dots = \frac{Pa^2}{9\sqrt{3}EI} = .06415 \frac{Pa^2}{EI}$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (PARA VOLADIZO EN } x_1 = a) \dots\dots = \frac{Pa^2}{3EI} (l+a)$$

$$\Delta_x \text{ (ENTRE APOYOS) } \dots\dots\dots = \frac{Pax}{6EI l} (l^2 - x^2)$$

$$\Delta_{x_1} \text{ (PARA VOLADIZO) } \dots\dots\dots = \frac{Px_1}{6EI} (2al + 3ax_1 - x_1^2)$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

(14) VIGA EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$R = V \dots\dots\dots = w\ell$$

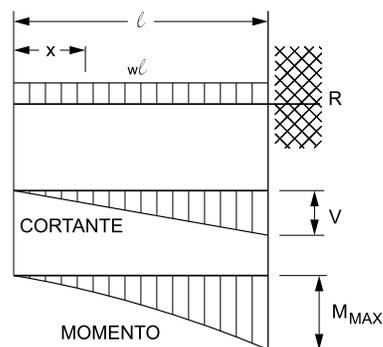
$$V_x \dots\dots\dots = wx$$

$$M_{MAX} \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = \frac{w\ell^2}{2}$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{wx^2}{2}$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN EXTREMO LIBRE)} \dots\dots\dots = \frac{w\ell^4}{8EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{w}{24EI} (x^4 - 4\ell^3x + 3\ell^4)$$



(15) VIGA EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

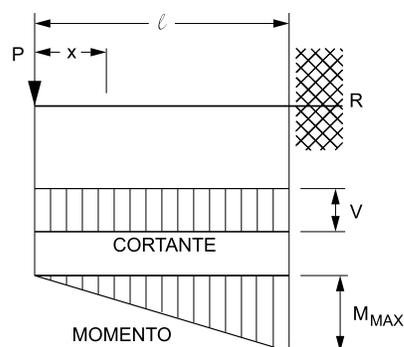
$$R = V \dots\dots\dots = P$$

$$M_{MAX} \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = P\ell$$

$$M_x \dots\dots\dots = Px$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN EXTREMO LIBRE)} \dots\dots\dots = \frac{P\ell^3}{3EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{P}{6EI} (2\ell^3 - 3\ell^2x + x^3)$$



(16) VIGA EN VOLADIZO - CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$$R = V \dots\dots\dots = P$$

$$M_{MAX} \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = Pb$$

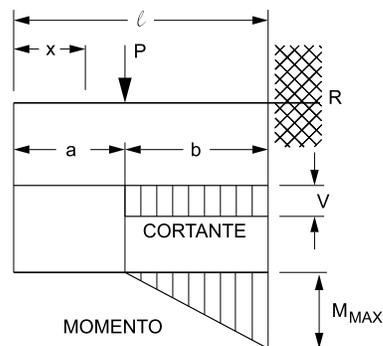
$$M_x \text{ (CUANDO } x > a) \dots\dots\dots = P(x - a)$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN EXTREMO LIBRE)} \dots\dots\dots = \frac{Pb^2}{6EI} (3\ell - b)$$

$$\Delta_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{Pb^3}{3EI}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = \frac{Pb^2}{6EI} (3\ell - 3x - b)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x > a) \dots\dots\dots = \frac{P(\ell - x)^2}{6EI} (3b - \ell + x)$$



(17) VIGA EN VOLADIZO - CARGA DISTRIBUIDA INCREMENTANDO UNIFORMEMENTE HACIA EL EMPOTRAMIENTO

$$R = V \dots\dots\dots = W$$

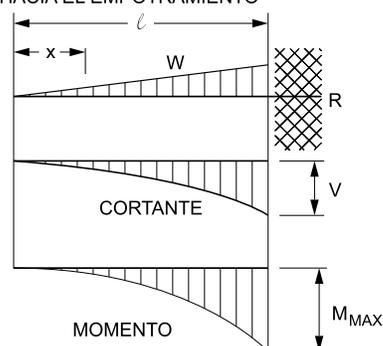
$$V_x \dots\dots\dots = W \frac{x^2}{\ell^2}$$

$$M_{MAX} \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = \frac{W\ell}{3}$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{Wx^3}{3\ell^2}$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN EXTREMO LIBRE)} \dots\dots\dots = \frac{W\ell^3}{15EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{W}{60EI\ell^2} (x^5 - 5\ell^4x + 4\ell^5)$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

(18) VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y CON UN APOYO SIMPLE EN EL OTRO EXTREMO.  
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{3wl}{8}$$

$$R_2 = V_2 \text{ MAX} \dots\dots\dots = \frac{5wl}{8}$$

$$V_x \dots\dots\dots = R_1 - wx$$

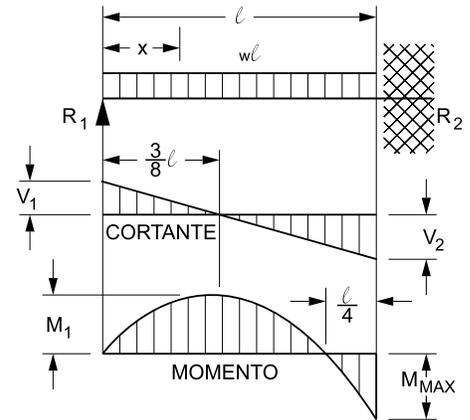
$$M_{\text{MAX}} \dots\dots\dots = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_1 \text{ (EN } x = \frac{3}{8} \ell) \dots\dots\dots = \frac{9}{128} wl^2$$

$$M_x \dots\dots\dots = R_1 x - \frac{wx^2}{2}$$

$$\Delta_{\text{MAX}} \text{ (EN } x = \frac{\ell}{16} (1 + \sqrt{33}) = .4215) \dots\dots\dots = \frac{wl^4}{185 EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{wx}{48 EI} (\ell^3 - 3\ell x^2 + 2x^3)$$



(19) VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y CON UN APOYO SIMPLE EN EL OTRO EXTREMO.  
CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{5P}{16}$$

$$R_2 = V_2 \text{ MAX} \dots\dots\dots = \frac{11P}{16}$$

$$M_{\text{MAX}} \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = \frac{3P\ell}{16}$$

$$M_1 \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{5P\ell}{32}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = \frac{5Px}{16}$$

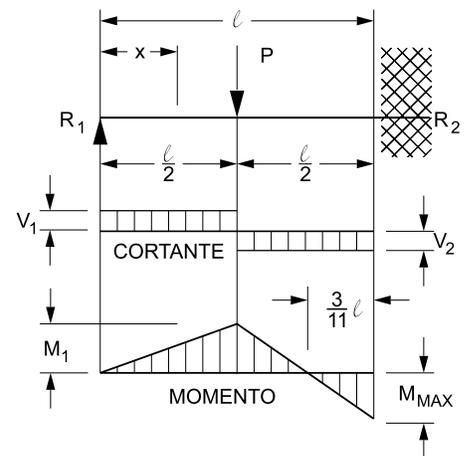
$$M_x \text{ (CUANDO } x > \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = P \left( \frac{\ell}{2} - \frac{11x}{16} \right)$$

$$\Delta_{\text{MAX}} \text{ (EN } x = \ell \sqrt{\frac{1}{5}} = .4472\ell) \dots\dots\dots = \frac{P\ell^3}{48 EI \sqrt{5}} = 0.009317 \frac{P\ell^3}{EI}$$

$$\Delta_x \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{7P\ell^3}{768 EI}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = \frac{Px}{96 EI} (3\ell^2 - 5x^2)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x > \frac{\ell}{2}) \dots\dots\dots = \frac{P}{96 EI} (x - \ell)^2 (11x - 2\ell)$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

(20) VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y CON UN APOYO SIMPLE EN EL OTRO EXTREMO. CON CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{Pb^2}{2\ell^3} (a + 2\ell)$$

$$R_2 = V_2 \dots\dots\dots = \frac{Pa}{2\ell^3} (3\ell^2 - a^2)$$

$$M_1 \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = R_1 a$$

$$M_2 \text{ (EN EMPOTRAMIENTO)} \dots\dots\dots = \frac{Pab}{2\ell^2} (a + \ell)$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = R_1 x$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x > a) \dots\dots\dots = R_1 x - P(x - a)$$

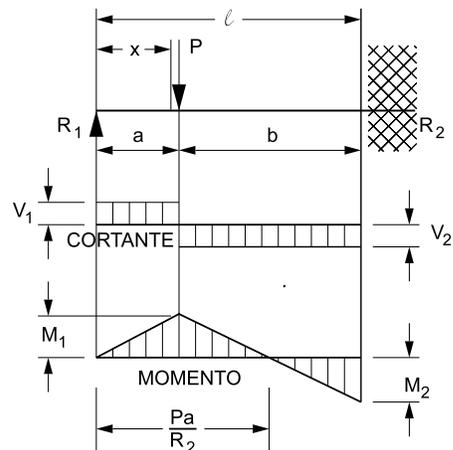
$$\Delta_{MAX} \text{ (CUANDO } a < .414\ell \text{ EN } x = \ell \frac{\ell^2 + a^2}{3\ell^2 - a^2}) = \frac{Pa}{3EI} \frac{(\ell^2 - a^2)^3}{(3\ell^2 - a^2)^2}$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (CUANDO } a > .414\ell \text{ EN } x = \ell \sqrt{\frac{a}{2\ell + a}} = \frac{Pab^2}{6EI} \sqrt{\frac{a}{2\ell + a}}$$

$$\Delta_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA)} \dots\dots\dots = \frac{Pa^2 b^3}{12EI \ell^3} (3\ell + a)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = \frac{Pb^2 x}{12EI \ell^3} (3a\ell^2 - 2\ell x^2 - ax^2)$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x > a) \dots\dots\dots = \frac{Pa}{12EI \ell^3} (\ell - x)^2 (3\ell^2 x - a^2 x - 2a^2 \ell)$$



(21) VIGA EMPOTRADA EN AMBOS EXTREMOS - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$R = V \dots\dots\dots = \frac{w\ell}{2}$$

$$V_x \dots\dots\dots = w \left( \frac{\ell}{2} - x \right)$$

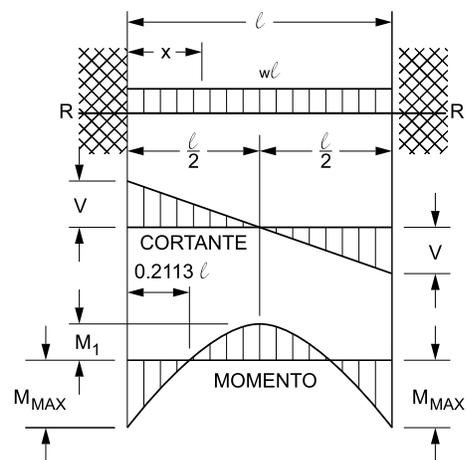
$$M_{MAX} \text{ (EN EXTREMOS)} \dots\dots\dots = \frac{w\ell^2}{12}$$

$$M_1 \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{w\ell^2}{24}$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{w}{12} (6\ell x - \ell^2 - 6x^2)$$

$$\Delta_x \text{ (EN CENTRO)} \dots\dots\dots = \frac{w\ell^4}{384EI}$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \frac{wx^2}{24EI} (\ell - x)^2$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

Anexo 29 Ecuaciones y diagramas para diseño de vigas (continuación)

(22) VIGA EMPOTRADA EN AMBOS EXTREMOS - CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$$R_1 = V_1 \text{ (MAX CUANDO } a < b) \dots\dots\dots = \frac{Pb^2}{\ell^3} (3a + b)$$

$$R_2 = V_2 \text{ (MAX CUANDO } a > b) \dots\dots\dots = \frac{Pa^2}{\ell^3} (a + 3b)$$

$$M_1 \text{ (MAX CUANDO } a < b) \dots\dots\dots = \frac{Pab^2}{\ell^2}$$

$$M_2 \text{ (MAX CUANDO } a > b) \dots\dots\dots = \frac{Pa^2b}{\ell^2}$$

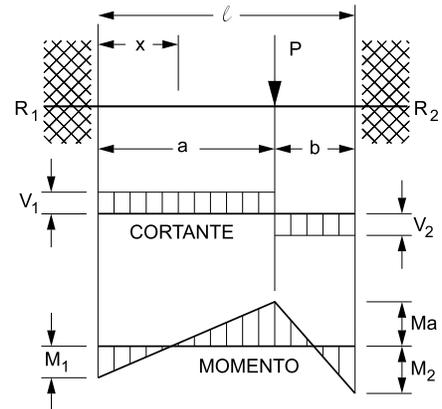
$$M_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA) } \dots\dots\dots = \frac{2Pa^2b^2}{\ell^3}$$

$$M_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = R_1x - \frac{Pab^2}{\ell^2}$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (CUANDO } a > b \text{ EN } x = \frac{2a\ell}{3a + b}) \dots\dots\dots = \frac{2Pa^3b^2}{3EI(3a + b)^2}$$

$$\Delta_a \text{ (EN PUNTO DE CARGA) } \dots\dots\dots = \frac{Pa^3b^3}{3EI\ell^3}$$

$$\Delta_x \text{ (CUANDO } x < a) \dots\dots\dots = \frac{Pb^2x^2}{6EI\ell^3} (3a\ell - 3ax - bx)$$



(23) VIGA - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA Y MOMENTOS VARIABLES EN LOS EXTREMOS

$$R_1 = V_1 \dots\dots\dots = \frac{w\ell}{2} + \frac{M_1 - M_2}{\ell}$$

$$R_2 = V_2 \dots\dots\dots = \frac{w\ell}{2} - \frac{M_1 - M_2}{\ell}$$

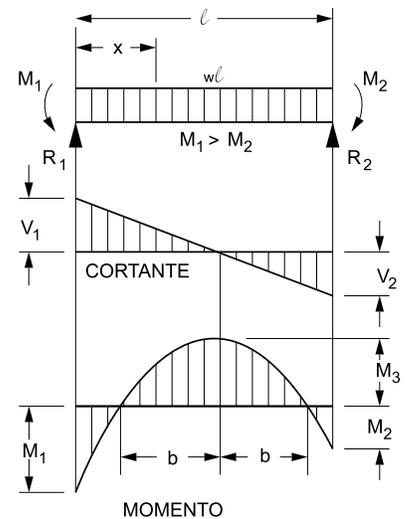
$$V_x \dots\dots\dots = w\left(\frac{\ell}{2} - x\right) + \frac{M_1 - M_2}{\ell}$$

$$M_3 \text{ (EN } x = \frac{\ell}{2} + \frac{M_1 - M_2}{w\ell}) \dots\dots\dots = \frac{w\ell^2}{8} - \frac{M_1 + M_2}{2} + \frac{(M_1 - M_2)^2}{2w\ell^2}$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{wx}{2} (\ell - x) + \left(\frac{M_1 - M_2}{\ell}\right)x - M_1$$

$$b \text{ (PARA LOCALIZAR PUNTOS DE INFLEXION) } = \sqrt{\frac{\ell^2}{4} - \left(\frac{M_1 + M_2}{w}\right) + \left(\frac{M_1 - M_2}{w\ell}\right)^2}$$

$$\Delta_x \dots\dots = \frac{wx}{24EI} \left[ x^3 - \left(2\ell + \frac{4M_1}{w\ell} - \frac{4M_2}{w\ell}\right)x^2 + \frac{12M_1}{w}x + \ell^3 - \frac{8M_1\ell}{w} - \frac{4M_2\ell}{w} \right]$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

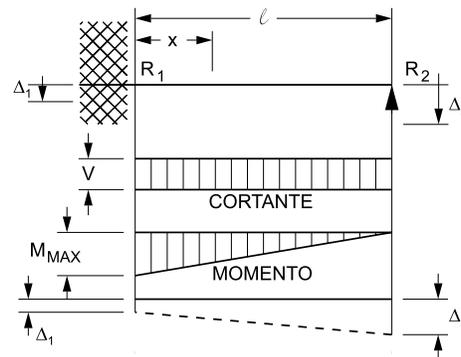
(24) VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y CON APOYO SIMPLE EN EL OTRO EXTREMO-  
DESPLAZAMIENTOS DIFERENCIALES EN LOS APOYOS

$$V = -R_1 = R_2 \dots\dots\dots = \frac{3EI}{\ell^3} (\Delta_2 - \Delta_1)$$

$$M_{MAX} \dots\dots\dots = \frac{3EI}{\ell^2} (\Delta_2 - \Delta_1)$$

$$M_x \dots\dots\dots = M_{MAX} \left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \Delta_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta_1)}{2} \left[ 3 \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 - \left(\frac{x}{\ell}\right)^3 \right]$$



(25) VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y CON APOYO SIMPLE EN EL OTRO EXTREMO-  
ROTACION EN EMPOTRAMIENTO

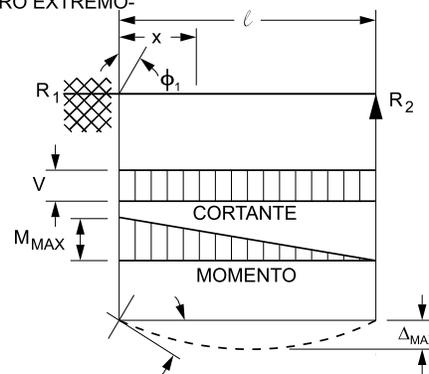
$$V = -R_1 = R_2 \dots\dots\dots = \frac{3EI}{\ell^2} \phi_1$$

$$M_{MAX} \dots\dots\dots = \frac{3EI}{\ell} \phi_1$$

$$M_x \dots\dots\dots = M_{MAX} \left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$$

$$\Delta_{MAX} \dots\dots\dots = \phi_1 \left[ 5.196 \right]$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \phi_1 \left[ -x + \frac{3x^2}{2\ell} - \frac{x^3}{2\ell^2} \right]$$



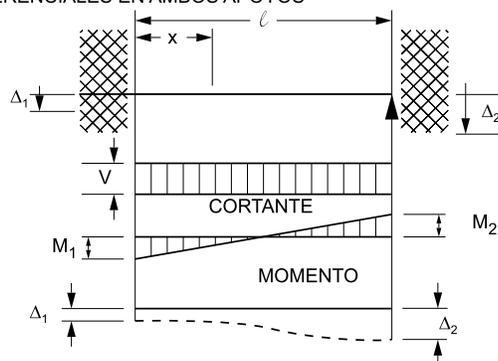
(26) VIGA EMPOTRADA EN AMBOS EXTREMOS - DESPLAZAMIENTO DIFERENCIALES EN AMBOS APOYOS

$$V = -R_1 = R_2 \dots\dots\dots = \frac{12EI}{\ell^3} (\Delta_2 - \Delta_1)$$

$$M_1 = -M_2 \dots\dots\dots = \frac{6EI}{\ell^2} (\Delta_2 - \Delta_1)$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{6EI}{\ell^2} (\Delta_2 - \Delta_1) \left(1 - \frac{2x}{\ell}\right)$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \Delta_1 + (\Delta_2 - \Delta_1) \left[ 3 \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 - 2 \left(\frac{x}{\ell}\right)^3 \right]$$



(27) VIGA EMPOTRADA EN AMBOS EXTREMOS - ROTACION EN UN APOYO

$$V = -R_1 = R_2 \dots\dots\dots = \frac{6EI}{\ell^2} \phi_2$$

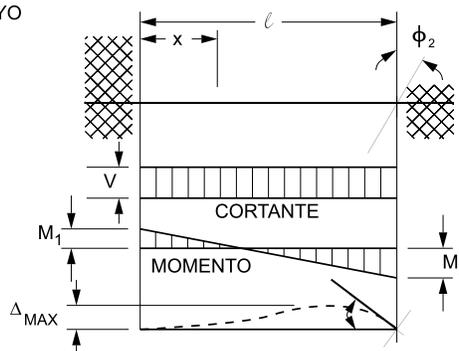
$$M_1 \dots\dots\dots = \frac{2EI}{\ell} \phi_2$$

$$M_2 \dots\dots\dots = \frac{4EI}{\ell} \phi_2$$

$$M_x \dots\dots\dots = \frac{2EI}{\ell} \phi_2 \left(1 - \frac{3x}{\ell}\right)$$

$$\Delta_{MAX} \text{ (EN } x = \frac{2}{3}\ell) \dots\dots\dots = \frac{4}{27} \ell \phi_2$$

$$\Delta_x \dots\dots\dots = \ell \phi_2 \left[ \left(\frac{x}{\ell}\right)^2 - \left(\frac{x}{\ell}\right)^3 \right]$$



Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

COEFICIENTES DE DEFLEXION Y ROTACION POR CARGAS DE PRE-ESFUERZO

PATRON DE PRE-ESFUERZO	CARGA O MOMENTO	PATRON DE CARGA EQUIVALENTE	DEFLEXION		ROTACION EN EL EXTREMO	
			+	+	+	+
	$M = Pe$		$+\frac{Ml^2}{16EI}$	$+\frac{Ml}{3EI}$	$-\frac{Ml}{6EI}$	$+\frac{Ml}{6EI}$
	$M = Pe$		$+\frac{Ml^2}{16EI}$	$+\frac{Ml}{6EI}$	$-\frac{Ml}{3EI}$	$-\frac{Ml}{3EI}$
	$M = Pe$		$+\frac{Ml^2}{8EI}$	$+\frac{Ml}{2EI}$	$-\frac{Ml}{2EI}$	$-\frac{Ml}{2EI}$
	$N = \frac{4Pe'}{l}$		$+\frac{Nl^3}{48EI}$	$+\frac{Nl^2}{16EI}$	$-\frac{Nl^2}{16EI}$	$-\frac{Nl^2}{16EI}$
	$N = \frac{Pe'}{bl}$		$+\frac{b(3-4b^2)Nl^3}{24EI}$	$+\frac{b(1-b)Nl^2}{2EI}$	$-\frac{b(1-b)Nl^2}{2EI}$	$-\frac{b(1-b)Nl^2}{2EI}$
	$N = \frac{8Pe'}{l^2}$		$+\frac{5wl^4}{384EI}$	$+\frac{wl^3}{24EI}$	$-\frac{wl^3}{24EI}$	$-\frac{wl^3}{24EI}$

Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

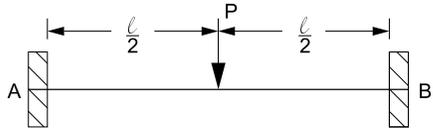
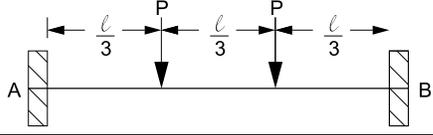
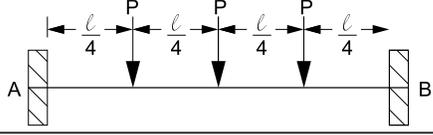
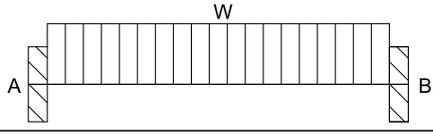
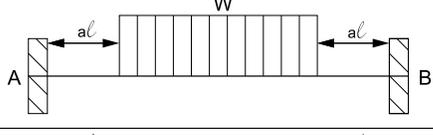
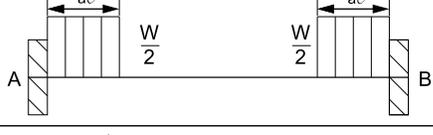
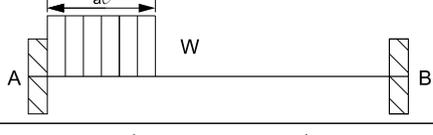
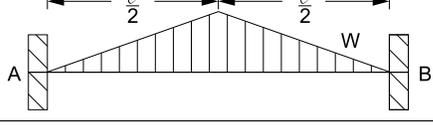
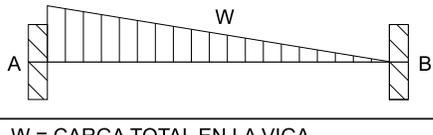
COEFICIENTES DE DEFLEXION Y ROTACION POR CARGAS DE PRE-ESFUERZO (CONTINUACION)

PATRON DE PRE-ESFUERZO	CARGA O MOMENTO	PATRON DE CARGA EQUIVALENTE	DEFLEXION		ROTACION EN EL EXTREMO	
			+	+	+	+
	$w = \frac{8Pe'}{l^2}$		$+$	$+$	$+$	$+$
	$w = \frac{8Pe'}{l^2}$		$+$	$+$	$+$	$+$
	$w = \frac{4Pe'}{(0.5-b)^2}$ $w_1 = \frac{w}{b} (0.5-b)$		$+$	$+$	$+$	$+$
	$w = \frac{4Pe'}{(0.5-b)^2}$ $w_1 = \frac{w}{b} (0.5-b)$		$+$	$+$	$+$	$+$
	$w = \frac{4Pe'}{(0.5-b)^2}$ $w_1 = \frac{w}{b} (0.5-b)$		$+$	$+$	$+$	$+$

Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

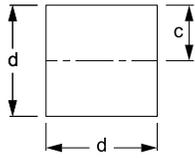
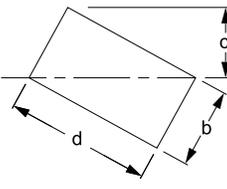
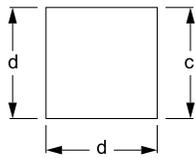
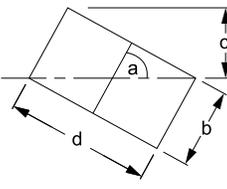
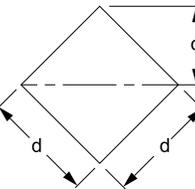
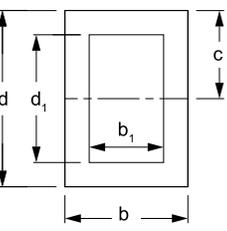
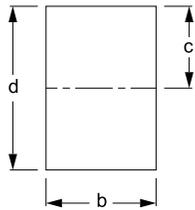
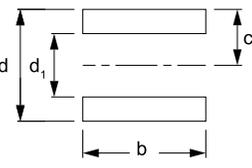
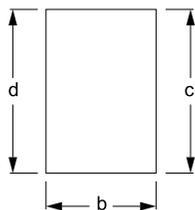
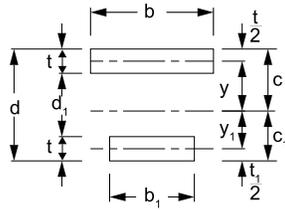
Anexo 31 Momentos en vigas con extremos empotrados

MOMENTOS EN VIGAS CON EXTREMOS EMPOTRADOS

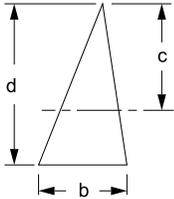
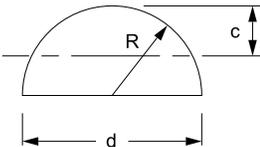
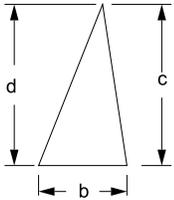
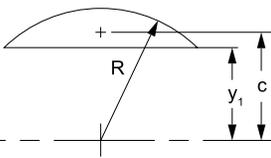
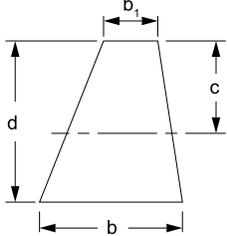
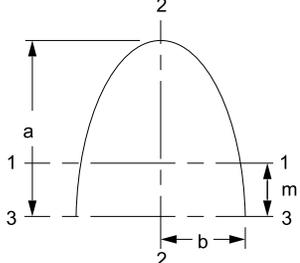
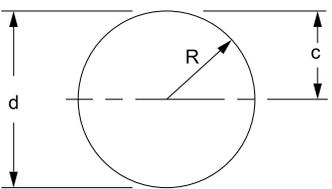
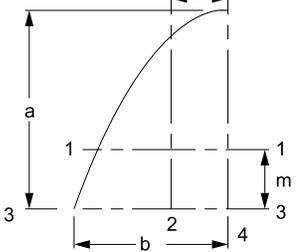
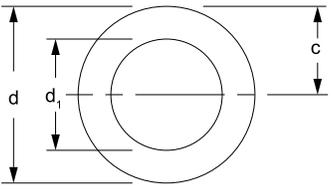
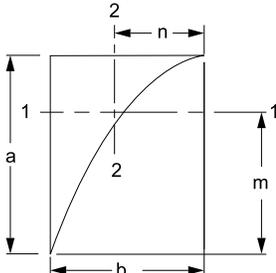
CARGA	MOMENTO EN A	MOMENTO AL CENTRO	MOMENTO EN B
	$-\frac{Pl}{8}$	$+\frac{Pl}{8}$	$-\frac{Pl}{8}$
	$-Pla(1-a)^2$		$-Pla^2(1-a)$
	$-\frac{2Pl}{9}$	$+\frac{Pl}{9}$	$-\frac{2Pl}{9}$
	$-\frac{5Pl}{16}$	$+\frac{3Pl}{16}$	$-\frac{5Pl}{16}$
	$-\frac{Wl}{12}$	$+\frac{Wl}{24}$	$-\frac{Wl}{12}$
	$-\frac{Wl(1+2a-2a^2)}{12}$	$+\frac{Wl(1+2a+4a^2)}{24}$	$-\frac{Wl(1+2a-2a^2)}{12}$
	$-\frac{Wl(3a-2a^2)}{12}$	$+\frac{W(a^2)}{6}$	$-\frac{Wl(3a-2a^2)}{12}$
	$-\frac{Wl(a(6-8a+3a^2))}{12}$		$-\frac{Wl(a^2(4-3a))}{12}$
	$-\frac{5Wl}{48}$	$+\frac{3Wl}{48}$	$-\frac{5Wl}{48}$
	$-\frac{Wl}{10}$		$-\frac{Wl}{15}$

W = CARGA TOTAL EN LA VIGA

Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

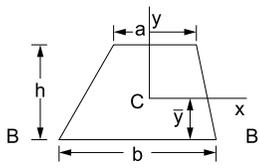
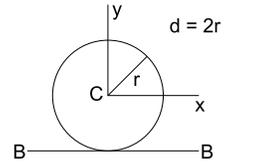
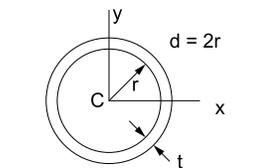
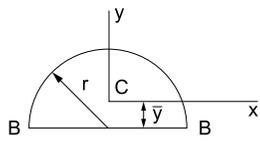
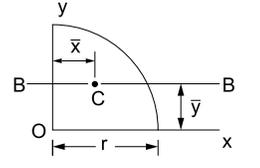
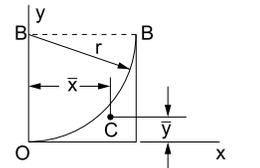
PROPIEDADES DE SECCIONES GEOMETRICAS	
<p>CUADRADO MOMENTOS RESPECTO A EJE CENTRAL</p>  <p> <math>A = d^2</math>  <math>c = \frac{d}{2}</math>  <math>I = \frac{d^4}{12}</math>  <math>S = \frac{d^3}{6}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{6}} = .288675 d</math> </p>	<p>RECTANGULO MOMENTOS RESPECTO A LA DIAGONAL</p>  <p> <math>A = bd</math>  <math>c = \frac{bd}{\sqrt{b^2 + d^2}}</math>  <math>I = \frac{b^3d^3}{6(b^2 + d^2)}</math>  <math>S = \frac{b^2d^2}{6\sqrt{b^2 + d^2}}</math>  <math>r = \frac{bd}{\sqrt{6(b^2 + d^2)}}</math> </p>
<p>CUADRADO MOMENTOS RESPECTO A LA BASE</p>  <p> <math>A = d^2</math>  <math>c = d</math>  <math>I = \frac{d^4}{3}</math>  <math>S = \frac{d^3}{3}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{3}} = .577350 d</math> </p>	<p>RECTANGULO MOMENTOS RESPECTO A LINEA POR CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = bd</math>  <math>c = \frac{b \sin a + d \cos a}{2}</math>  <math>I = \frac{bd(b^2 \sin^2 a + d^2 \cos^2 a)}{12}</math>  <math>S = \frac{bd(b^2 \sin^2 a + d^2 \cos^2 a)}{6(b \sin a + d \cos a)}</math>  <math>r = \sqrt{\frac{b^2 \sin^2 a + d^2 \cos^2 a}{12}}</math> </p>
<p>CUADRADO MOMENTOS RESPECTO A LA DIAGONAL</p>  <p> <math>A = d^2</math>  <math>c = \frac{d}{\sqrt{2}} = .707107 d</math>  <math>I = \frac{d^4}{12}</math>  <math>S = \frac{d^3}{6\sqrt{2}} = .117851 d^3</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{12}} = .288675 d</math> </p>	<p>RECTANGULO HUECO MOMENTOS RESPECTO A EJE CENTRAL</p>  <p> <math>A = bd - b_1d_1</math>  <math>c = \frac{d}{2}</math>  <math>I = \frac{bd^3 - b_1d_1^3}{12}</math>  <math>S = \frac{bd^2 - b_1d_1^2}{6d}</math>  <math>r = \sqrt{\frac{bd^3 - b_1d_1^3}{12A}}</math> </p>
<p>RECTANGULO MOMENTOS RESPECTO A EJE CENTRAL</p>  <p> <math>A = bd</math>  <math>c = \frac{d}{2}</math>  <math>I = \frac{bd^3}{12}</math>  <math>S = \frac{bd^2}{6}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{12}} = .288675 d</math> </p>	<p>RECTANGULOS IGUALES MOMENTOS RESPECTO CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = b(d - d_1)</math>  <math>c = \frac{d}{2}</math>  <math>I = \frac{b(d^3 - d_1^3)}{12}</math>  <math>S = \frac{b(d^2 - d_1^2)}{6d}</math>  <math>r = \sqrt{\frac{d^3 - d_1^3}{12(d - d_1)}}</math> </p>
<p>RECTANGULO MOMENTOS RESPECTO A LA BASE</p>  <p> <math>A = bd</math>  <math>c = d</math>  <math>I = \frac{bd^3}{12}</math>  <math>S = \frac{bd^2}{3}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{3}} = .577350 d</math> </p>	<p>RECTANGULOS DESIGUALES MOMENTOS RESPECTO CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = bt + b_1t_1</math>  <math>c = \frac{\frac{1}{2}bt^2 + b_1t_1(d - \frac{1}{2}t_1)}{A}</math>  <math>I = \frac{bt^3}{12} + bty^2 + \frac{b_1t_1^3}{12} + b_1t_1y_1^2</math>  <math>S = \frac{I}{c} \quad S_1 = \frac{I}{c_1}</math>  <math>r = \sqrt{\frac{I}{A}}</math> </p>

Fuente: "Manual de Construcción con Acero, Diseño de Esfuerzo Permitido," Novena edición, 1989, Instituto Americano de Construcción con Acero, Chicago, IL.

PROPIEDADES DE SECCIONES GEOMETRICAS (CONTINUACION)	
<p><b>TRIANGULO</b> MOMENTOS RESPECTO A CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = \frac{bd}{2}</math>  <math>c = \frac{2d}{3}</math>  <math>I = \frac{bd^3}{36}</math>  <math>S = \frac{bd^2}{24}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{18}}</math> </p>	<p><b>MEDIO CIRCULO</b> MOMENTOS RESPECTO A CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = \frac{\pi R^2}{2}</math>  <math>c = R \left(1 - \frac{4}{3\pi}\right)</math>  <math>I = R^4 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right)</math>  <math>S = \left[\frac{R^3}{24}\right] \left[\frac{9\pi^2 - 64}{(3\pi - 4)}\right]</math>  <math>r = R \frac{\sqrt{9\pi^2 - 64}}{6\pi}</math> </p>
<p><b>TRIANGULO</b> MOMENTOS RESPECTO A BASE</p>  <p> <math>A = \frac{bd}{2}</math>  <math>c = d</math>  <math>I = \frac{bd^3}{12}</math>  <math>S = \frac{bd^2}{12}</math>  <math>r = \frac{d}{\sqrt{6}}</math> </p>	<p><b>SEGMENTO DE CIRCULO</b> MOMENTOS RESPECTO AL CENTRO DEL CIRCULO</p>  <p> <math>I = \frac{\pi R^4}{8} + \frac{y_1}{2} \sqrt{(R^2 - y_1^2)^3}</math>  <math>- \frac{R^2}{4} \left( y_1 \sqrt{R^2 - y_1^2} + R^2 \sin^{-1} \frac{y_1}{R} \right)</math>  <math>A = \frac{\pi R^2}{2} - y_1 \sqrt{R^2 - y_1^2}</math>  <math>- R^2 \sin^{-1} \left( \frac{y_1}{R} \right)</math>  <math>c = \frac{2(R^2 - y_1^2)^{3/2}}{3} / A</math> </p>
<p><b>TRAPEZOIDE</b> MOMENTOS RESPECTO A CENTRO DE GRAVEDAD</p>  <p> <math>A = \frac{d(b + b_1)}{2}</math>  <math>c = \frac{d(2b + b_1)}{3(b + b_1)}</math>  <math>I = \frac{d^3(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{36(b + b_1)}</math>  <math>S = \frac{d^2(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{12(2b + b_1)}</math>  <math>r = \frac{d}{6(b + b_1)}</math>  <math>x\sqrt{2(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}</math> </p>	<p><b>PARABOLA</b></p>  <p> <math>A = \frac{4}{3} ab</math>  <math>m = \frac{2}{5} a</math>  <math>I_1 = \frac{16}{175} a^3 b</math>  <math>I_2 = \frac{4}{15} ab^3</math>  <math>I_3 = \frac{32}{105} a^3 b</math> </p>
<p><b>CIRCULO</b> MOMENTOS RESPECTO AL CENTRO</p>  <p> <math>A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi R^2</math>  <math>c = \frac{d}{2} = R</math>  <math>I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4}</math>  <math>S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi R^3}{4}</math>  <math>r = \frac{d}{4} = \frac{R}{2}</math> </p>	<p><b>MEDIA PARABOLA</b></p>  <p> <math>A = \frac{2}{3} ab</math>  <math>m = \frac{2}{5} a</math>  <math>n = \frac{3}{8} b</math>  <math>I_1 = \frac{8}{175} a^3 b</math>  <math>I_2 = \frac{19}{480} ab^3</math>  <math>I_3 = \frac{16}{105} a^3 b</math>  <math>I_4 = \frac{2}{15} ab^3</math> </p>
<p><b>CIRCULO HUECO</b> MOMENTOS RESPECTO AL CENTRO</p>  <p> <math>A = \frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4}</math>  <math>c = \frac{d}{2}</math>  <math>I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64}</math>  <math>S = \frac{\pi(d^3 - d_1^3)}{32d}</math>  <math>r = \frac{\sqrt{d^2 - d_1^2}}{4}</math> </p>	<p><b>COMPLEMENTO DE MEDIA PARABOLA</b></p>  <p> <math>A = \frac{1}{3} ab</math>  <math>m = \frac{7}{10} a</math>  <math>n = \frac{3}{4} b</math>  <math>I_1 = \frac{37}{2100} a^3 b</math>  <math>I_2 = \frac{1}{80} ab^3</math> </p>

Fuente: PCI Design Handbook / Quinta edición

PROPIEDADES DE SECCIONES GEOMETRICAS (CONTINUACION)	
<p>COMPLEMENTO DE PARABOLA EN ANGULO RECTO</p> <p> <math>a = \frac{t}{2\sqrt{2}}</math>  <math>b = \frac{t}{\sqrt{2}}</math>  <math>A = \frac{1}{6} t^2</math>  <math>m = n = \frac{4}{5} t</math>  <math>I_1 = I_2 = \frac{11}{2100} t^4</math> </p>	<p>* COMPLEMENTO DE ELIPTICA</p> <p> <math>A = ab \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)</math>  <math>m = \frac{a}{6 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}</math>  <math>n = \frac{b}{6 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}</math>  <math>I_1 = a^3 b \left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{36 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}\right)</math>  <math>I_2 = ab^3 \left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{36 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}\right)</math> </p>
<p>* MEDIA ELIPSE</p> <p> <math>A = \frac{1}{2} \pi ab</math>  <math>m = \frac{4a}{3\pi}</math>  <math>I_1 = a^3 b \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right)</math>  <math>I_2 = \frac{1}{8} \pi ab^3</math>  <math>I_3 = \frac{1}{8} \pi a^3 b</math> </p>	<p>POLIGONO REGULAR MOMENTOS RESPECTO AL CENTRO</p> <p> <math>n = \text{NUMERO DE LADOS}</math>  <math>\phi = \frac{180^\circ}{n}</math>  <math>a = 2\sqrt{R^2 - R_1^2}</math>  <math>R = \frac{a}{2\sin \phi}</math>  <math>R_1 = \frac{a}{2\tan \phi}</math>  <math>A = \frac{1}{4} na^2 \cot \phi = \frac{1}{2} nR^2 \sin 2\phi = nR_1^2 \tan \phi</math>  <math>I_1 = I_2 = \frac{A(6R^2 - a^2)}{24} = \frac{A(12R_1^2 - a^2)}{48}</math>  <math>r_1 = r_2 = \sqrt{\frac{6R^2 - a^2}{24}} = \sqrt{\frac{12R_1^2 + a^2}{48}}</math> </p>
<p>* CUARTO DE ELIPSE</p> <p> <math>A = \frac{1}{4} \pi ab</math>  <math>m = \frac{4a}{3\pi}</math>  <math>n = \frac{4b}{3\pi}</math>  <math>I_1 = a^3 b \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}\right)</math>  <math>I_2 = ab^3 \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}\right)</math>  <math>I_3 = \frac{1}{16} \pi a^3 b</math>  <math>I_4 = \frac{1}{16} \pi ab^3</math> </p> <p>* PARA OBTENER PROPIEDADES DE MEDIO CIRCULO, UN CUARTO DE CIRCULO Y COMPLEMENTO CIRCULAR, SUSTITUIR <math>a = b = R</math></p>	<p>VIGAS Y FUERZA TRANSVERSA Y OBLICUA RESPECTO A CENTRO DE GRAVEDAD</p> <p> <math>I_3 = I_x \sin^2 \phi + I_y \cos^2 \phi</math>  <math>I_4 = I_x \cos^2 \phi + I_y \sin^2 \phi</math>  <math>f_b = M \left( \frac{y}{I_x} \sin \phi + \frac{x}{I_y} \cos \phi \right)</math> </p> <p>DONDE M ES EL MOMENTO DEBIDO A LA FUERZA F.</p>
<p>ANGULO MOMENTO RESPECTO A CENTRO DE GRAVEDAD</p> <p> <math>K \text{ ES NEGATIVO CUANDO EL ANGULO RESPECTO AL CENTRO DE GRAVEDAD ESTA EN EL 1ER O 3ER CUADRANTE, Y POSITIVO CUANDO ESTA EN EL 2DO Y 4TO CUADRANTE.}</math> </p>	<p> <math>\tan \theta = \frac{2K}{I_y - I_x}</math>  <math>A = t(b+c) \quad x = \frac{b^2 + ct}{2(b+c)} \quad y = \frac{d^2 + at}{2(b+c)}</math>  <math>K = \text{PRODUCTO DE INERCIA CON RESPECTO A X - X' Y Y - Y'}</math>  <math>= \pm \frac{abcdt}{4(b+c)}</math>  <math>I_x = \frac{1}{3} [t(d-y)^3 + by^3 - a(y-t)^3]</math>  <math>I_y = \frac{1}{3} [t(b-x)^3 + dx^3 - c(x-t)^3]</math>  <math>I_z = I_x \sin^2 \theta + I_y \cos^2 \theta + K \sin 2\theta</math>  <math>I_w = I_x \cos^2 \theta + I_y \sin^2 \theta - K \sin 2\theta</math> </p>

PROPIEDADES DE AREAS PLANAS	
	<p>TRAPEZOIDE (ORIGEN DE LOS EJES EN EL CENTROIDE.)</p> $A = \frac{h(a+b)}{2} \quad \bar{y} = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$ $I_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)} \quad I_{BB} = \frac{h^3(3a+b)}{12}$
	<p>CIRCULO (ORIGEN DE LOS EJES EN EL CENTRO.)</p> $A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$ $I_{xy} = 0 \quad I_p = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \quad I_{BB} = \frac{5\pi r^4}{4} = \frac{5\pi d^4}{64}$
	<p>ANILLO CIRCULAR (ORIGEN DE LOS EJES EN EL CENTRO.) FORMULAS APROXIMADAS PARA EL CASO CUANDO "t" ES PEQUEÑO.</p> $A = 2\pi r t = \pi d t \quad I_x = I_y = \pi r^3 t = \frac{\pi d^3 t}{8}$ $I_{xy} = 0 \quad I_p = 2\pi r^3 t = \frac{\pi d^3 t}{4}$
	<p>SEMICIRCULO (ORIGEN DE LOS EJES EN EL CENTROIDE.)</p> $A = \frac{\pi r^2}{2} \quad \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$ $I_x = \frac{(9\pi^2 - 64)r^4}{72\pi} \approx 0.1098r^4 \quad I_y = \frac{\pi r^4}{8}$ $I_{xy} = 0 \quad I_{BB} = \frac{\pi r^4}{8}$
	<p>CUADRANTE DEL CÍRCULO (ORIGEN DE LOS EJES EN EL CENTRO DEL CÍRCULO.)</p> $A = \frac{\pi r^2}{4} \quad \bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$ $I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{16} \quad I_{xy} = \frac{r^4}{8}$ $I_{BB} = \frac{(9\pi^2 - 64)r^4}{144\pi} \approx 0.05488r^4$
	<p>ARCO DE CUADRANTE DE CIRCULO (ORIGEN DE LOS EJES EN EL VERTICE.)</p> $A = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) r^2$ $\bar{x} = \frac{2r}{3(4-\pi)} \approx 0.7766r \quad \bar{y} = \frac{(10^2 - 3\pi)r}{3(4-\pi)} \approx 0.2234r$ $I_x = \left(1 - \frac{5\pi}{16}\right) r^4 \approx 0.01825r^4 \quad I_y = I_{BB} = \left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16}\right) r^4 \approx 0.1370r^4$

## Componentes de la mezcla de concreto

### Agua

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente un fuerte sabor u olor, puede ser utilizada como agua de dosificación en las mezclas de concreto o mortero.

El agua a utilizar debe ser limpia y libre de aceites, cítricos, sales, ácidos, azúcares, materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial para el adecuado desempeño del concreto o mortero.

En la tabla 2.5 del libro “Durabilidad y Patología del Concreto” del Dr. Diego Sánchez de Guzmán, se puede consultar las tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado o bien revisar el capítulo “Agua de Mezcla para el Concreto” del libro “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” de la Portland Cement Association.

### Aditivos

Los aditivos son aquellos ingredientes líquidos o en polvo que se agregan al concreto o mortero antes o durante el mezclado con el fin de reducir costos en la mezcla, mantener o mejorar su calidad durante el mezclado, transporte, colocado y curado en condiciones ambientales adversas y para obtener el mejor desempeño.

Los aditivos deben cumplir con las especificaciones dadas por las normas que los rigen y se pueden clasificar según sus funciones de la siguiente manera:

- Incluser de aire
- Reductor de agua
- Plastificante
- Acelerante de fragua
- Retardante de fragua
- Control de la hidratación
- Inhibidor de corrosión
- Reductor de contracción
- Inhibidor de la reacción álcali – agregado
- Colorante

La eficiencia de un aditivo depende del tipo, marca y cantidad de material cementante. También de las características de los componentes de la mezcla (agregados, agua) y del tiempo de mezclado.

Los aditivos deben probarse previamente en el laboratorio utilizando el diseño de mezcla que se colocará en la obra con el fin de evaluar la compatibilidad y el cumplimiento de los requisitos esperados y el costo final de la mezcla.

## Procedimiento de diseño de mezcla

El método de diseño aquí propuesto ha sido adaptado del reporte del Comité 211.1-91 (reaprobado en el año 2009) del ACI (Instituto Americano del Concreto por sus siglas en Inglés)

El procedimiento para realizar un diseño de mezcla se resume a continuación:

Paso 1:

Si el asentamiento no está especificado, se procede a seleccionarlo según el tipo de obra en la Tabla A34.1.

Tabla A34.1 Asentamiento según tipo de obra		
Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Cimientos y placas de fundación con refuerzo	75	25
Cimientos sin refuerzo, caissons, muros de subestructura	75	25
Vigas y muros con refuerzo	100	25
Columnas de edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto masivo	50	25

Paso 2:

Seleccionar el tamaño máximo del agregado (TMA) según el apartado 6.3.2 del ACI 211.1-91.

Paso 3:

Estimar el contenido de agua de mezclado y contenido de aire según la Tabla A34.2.

Tabla A34.2 Estimación del contenido de agua de mezclado y aire									
Revenimiento (mm)	Agua por kg/m <sup>3</sup> de concreto para el tamaño máximo nominal del agregado								
	9.5	12.5	19.0	25.0	37.5	50.0	75.0	150.0	
Concreto sin aire incluido intencionalmente									
25 a 50	207	190	190	179	166	154	130	113	
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124	
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160		
Aire aproximado	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%	
Concreto con aire incluido intencionalmente									
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107	
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119	
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-	
Contenido de aire aproximado por nivel de exposición									
Baja	4.5%	4.0%	3.5%	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	
Moderada	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.5%	4.0%	3.5%	3.0%	
Extrema	7.5%	7.0%	6.0%	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.0%	

Tabla A34.3 Relación agua/cemento según resistencia		
Resistencia a la compresión a 28 días (MPa)	Relación agua/cemento por masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Tabla A34.4 Relación agua/cemento según durabilidad		
Tipo de estructura	Máxima relación agua/cemento para concreto sujeto a exposiciones previas	
	Frecuentemente o continuamente húmeda, expuesta a hielo y deshielo	Exposición a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (bardas, bordillos, cornisas y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento sobre el refuerzo	0.45	0.40
Todas las otras estructuras	0.50	0.45

**Paso 4:**

Seleccionar la relación agua/cemento en la tabla A34.3 en caso de diseñar por resistencia o en la tabla A34.4 si se diseña por durabilidad.

**Paso 5:**

Calcular el contenido de cemento a partir de la relación agua/cemento, y el contenido de agua de mezclado determinado en el paso 3.

**Paso 6:**

Estimar el contenido de agregado grueso según la Tabla A34.5. Para colados con bomba o áreas congestionadas, se recomienda reducir el volumen de agregado recomendado en esta tabla hasta en un 10%.

El peso de agregado grueso se calcula al multiplicar el volumen encontrado en la tabla anterior por el peso unitario del agregado grueso compactado según ASTM C29.

**Paso 7:**

Estimar el contenido de agregado fino por el método de peso o por el método de volumen absoluto.

Método de peso: El peso del agregado fino se calcula por la diferencia entre el peso del concreto en estado fresco y el peso total de los otros ingredientes (cemento, agua, agregado grueso, aditivos, etc)

Esto requiere tener un conocimiento previo o experiencia para determinar el peso del concreto en estado fresco. En ausencia de esta información se puede utilizar la información de la Tabla A34.6.

Tabla A34.5 Determinación del peso del concreto fresco		
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Primera estimación del peso del concreto en estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
29	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Método de volumen absoluto: El volumen requerido de agregado fino se calcula al restar el volumen total desplazado por los ingredientes ya calculados del volumen unitario del concreto

**Paso 8:**

Ajustar el diseño por humedad presente en los agregados para determinar el contenido de agua de mezclado al conocer la cantidad de agua que aportan o absorben los agregados.

### Dosificación (proporcionamiento)

El profesional responsable de la obra, tiene la obligación de suministrar la dosificación correcta para la fabricación de concreto y/o mortero.

La unidad de medida para la dosificación por volumen debe ser igual para todos los materiales que se adicionan al mezclador y deben llenarse al ras.

Se debe agregar el agua necesaria para lograr la trabajabilidad requerida (según diseño de mezcla) y se debe erradicar la práctica de adicionar agua posteriormente, ya que esto disminuye notablemente la resistencia del concreto o mortero. En caso de requerir mayor fluidez en la mezcla, se recomienda el uso de aditivos fabricados para este fin.

## Producción de concreto en obra

El manejo de las materias primas debe considerar:

- El piso donde se depositan los agregados debe estar limpio para evitar la contaminación con materia orgánica (barro) y se deben mantener separados entre sí en áreas que el agua pueda escurrir.
- Utilizar agregados (arena y piedra) de primera calidad: limpios, sanos, de fuentes confiables y bien graduados.
- El cemento debe estibarse en tarimas, a no más de ocho sacos de altura, protegido de la lluvia y su consumo debe ser en forma PEPS (primero en entrar, primero en salir).
- El agua debe ser limpia y la temperatura de uso lo más baja posible.
- Los aditivos deben utilizarse según instrucciones claras del fabricante.

El personal encargado para la fabricación de concreto y mortero debe tener una preparación técnica o conocimiento básico para la preparación del concreto y de ser posible evitar la rotación en estos puestos de trabajo.

Las buenas prácticas establecen que todo equipo de mezclado y transporte de concreto debe estar limpio, y se debe preparar el concreto y/o mortero en una mezcladora apropiada a las necesidades del proyecto. (No se permite la preparación del concreto de forma manual).

## Colocación del concreto y mortero

- El concreto y mortero se deben depositar en forma continua, lo más cerca posible de su ubicación final.
- Para evitar la segregación, el concreto no se debe mover horizontalmente a largas distancias mientras se coloca.
- Se debe eliminar el agua estancada en el área de colocación para que no se mezcle con el concreto.
- Todo concreto debe compactarse por medios adecuados dependiendo de la consistencia de la mezcla y condiciones de colocación.
- Se debe considerar la temperatura ambiente antes de colocar el concreto y mortero, evitando las horas de máxima radiación solar para disminuir problemas de cambios volumétricos por contracción plástica.

- La condición del sustrato donde se colocará el mortero debe estar libre de polvo, grasa, materia orgánica, rebabas de concreto o de mortero.
- La superficie debe estar húmeda, sin presentar una capa de agua visible ni cierto grado de brillo a la luz.

## Curado

El curado del concreto consiste en mantener la temperatura y contenido de humedad adecuada por un periodo de tiempo que inicia inmediatamente después de la colocación y del acabado con el fin de que se puedan desarrollar las propiedades requeridas en el concreto o mortero.

El concreto y el mortero recién colocado, necesitan conservar agua para promover el desarrollo de la resistencia y obtener la mayor durabilidad, impermeabilidad y la estabilidad dimensional.

Hay tres métodos básicos de curado que se aplican de acuerdo al tipo de obra:

- Métodos que mantienen el agua de la mezcla. Ejemplos: encharcamiento, inmersión, rociado o aspersión.
- Métodos que reducen la pérdida de agua de la mezcla. Ejemplos: cubierta de plástico o membranas de curado.
- Método que aceleran el desarrollo de la resistencia mediante el suministro de calor y humedad adicional al concreto. Ejemplo: aplicación de vapor.

Durante la etapa en que el fraguado inicial ya inició (el concreto se ha solidificado pero su resistencia a la compresión es cercana a cero), debe considerarse los siguientes aspectos:

- Que la colocación del concreto se efectúe de manera tal que se logren las resistencias especificadas a las edades especificadas y que se evite la formación de fisuras tempranas.
- Seleccionar el método de curado adecuado para asegurar que los cambios en la temperatura estén controlados para evitar la presencia de fisuras.
- Controlar la aparición de fisuras por contracción plástica del concreto en estado evitando la pérdida de humedad.
- Aplicar el método de curado adecuado al concreto endurecido especialmente en edades tempranas para evitar la aparición de fisuras debido a la contracción por secado.

## Aseguramiento de la calidad

Para asegurar resultados confiables es fundamental contar con personal en obra capacitado para realizar las pruebas al concreto. Por esto se recomienda que los ensayos sean ejecutados por un Técnico en pruebas ASTM al Concreto Fresco del ACI Internacional.



**holcim.cr | 2205-2900**  
**info.costarica@holcim.com**

 Holcim Costa Rica

 Holcim.cr

 Holcim Costa Rica