



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 martinets 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.

Sección del pilote (DxD, en cm)	Área (cm ²)	Perímetro P0 (m)	Módulo de sección S (cm ⁴)	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 hincada, 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.

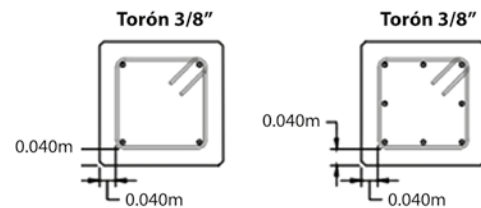


Figura 3.1 Configuración de torones para la sección de 30cm x 30cm

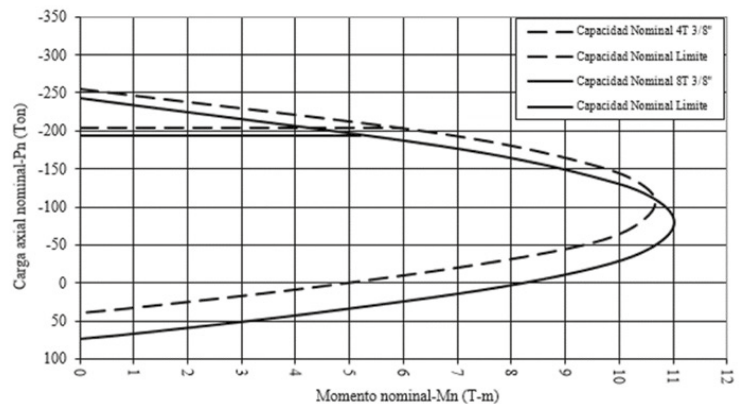


Figura 3.2 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

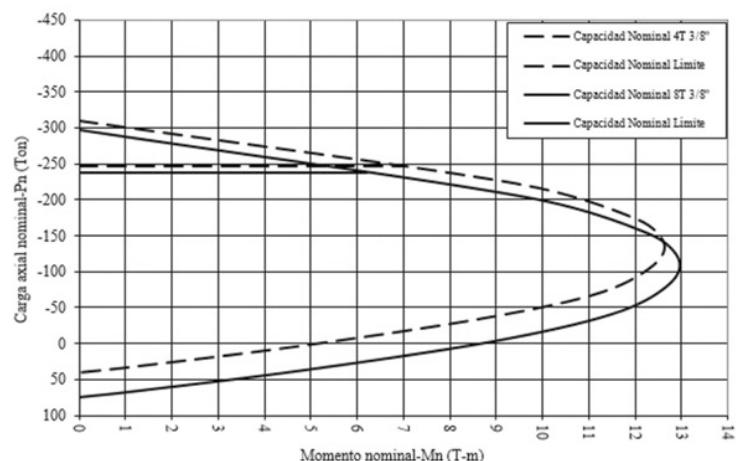


Figura 3.3 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$

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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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

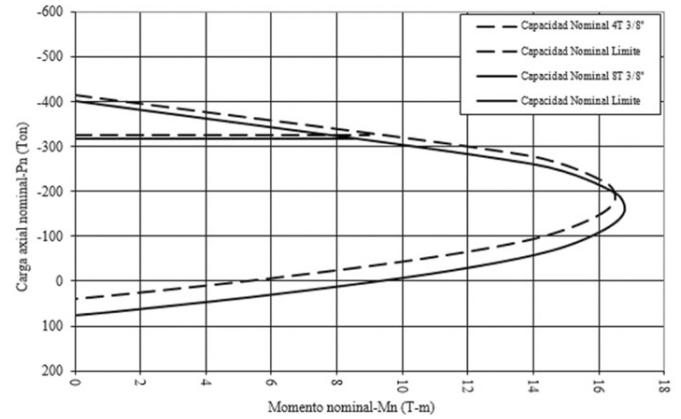


Figura 3.4 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con $f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$

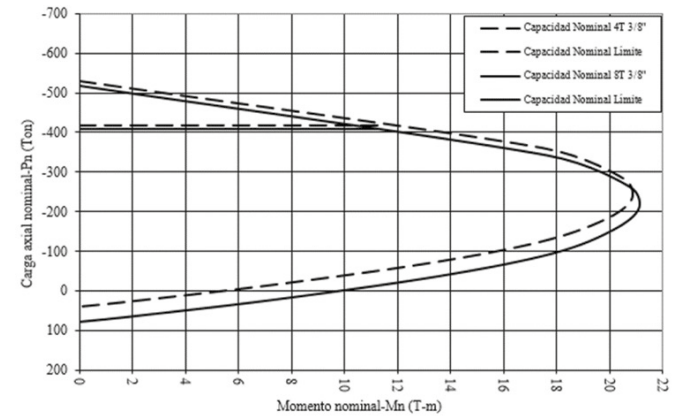


Figura 3.5 Diagrama de interacción del pilote de 30 cm x 30 cm con $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$

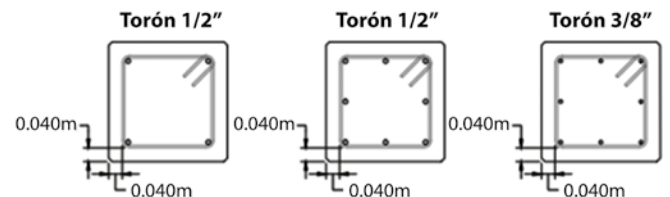


Figura 3.6 Configuración de torones para la sección de 35 cm x 35 cm

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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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

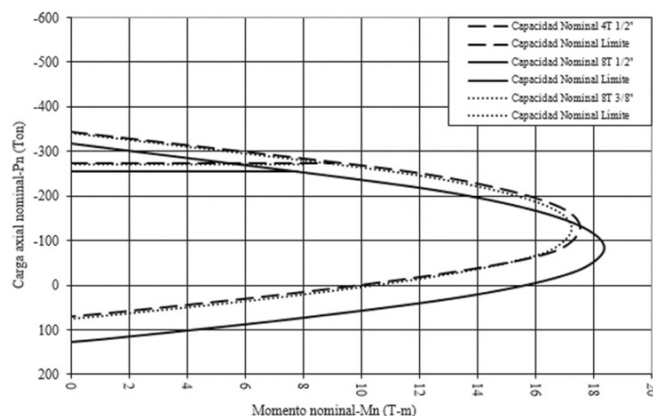


Figura 3.7 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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

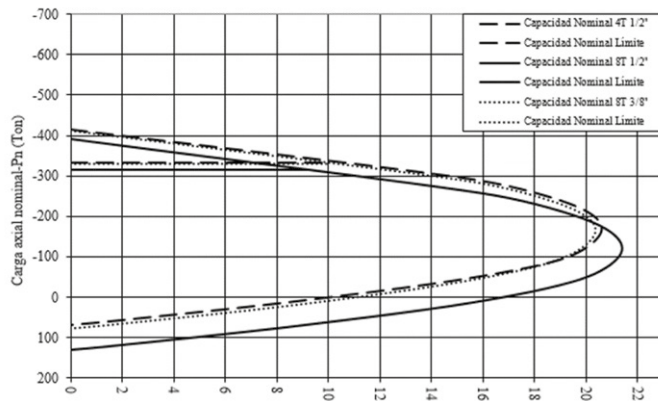


Figura 3.8 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$

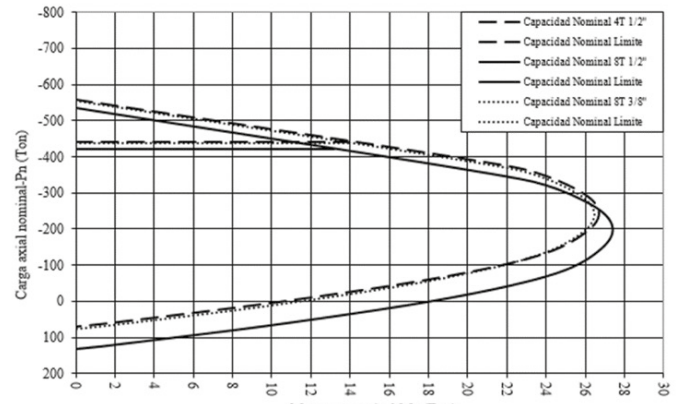


Figura 3.9 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con $f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$

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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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

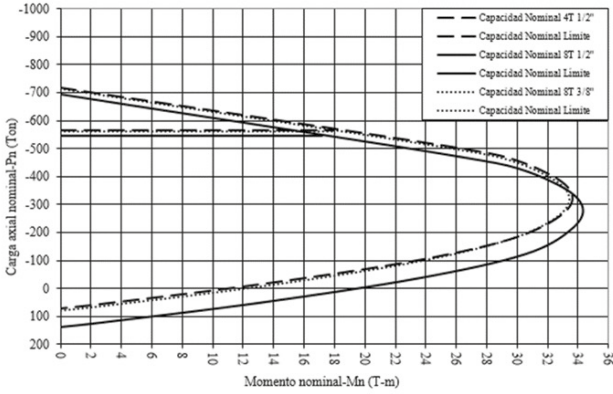


Figura 3.10 Diagrama de interacción del pilote de 35 cm x 35 cm con $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$

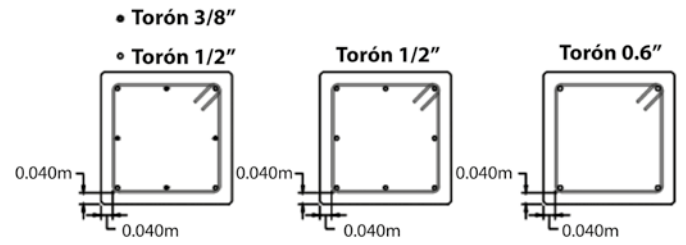


Figura 3.11 Configuración de torones para la sección de 45 cm x 45 cm

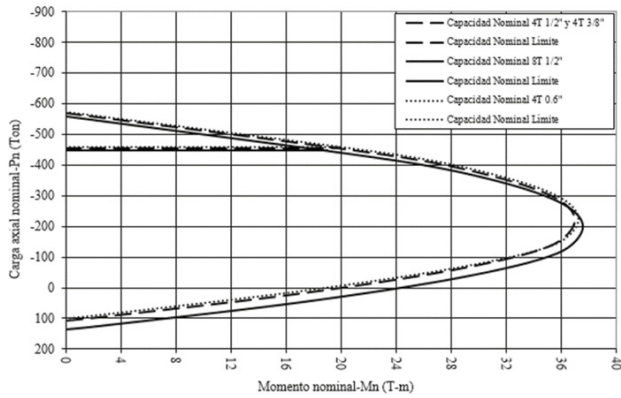


Figura 3.12 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

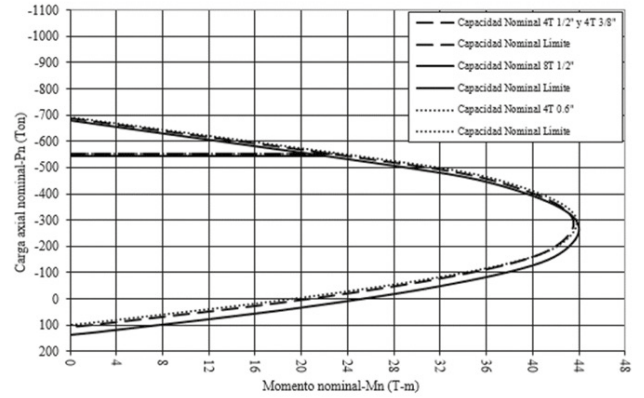


Figura 3.13 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$

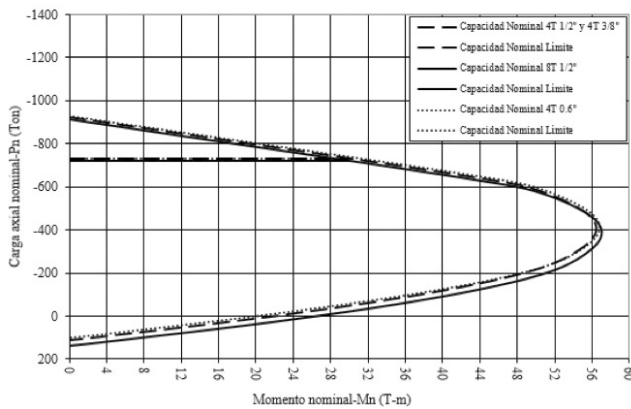


Figura 3.14 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con $f_c = 550 \text{ kg/cm}^2$

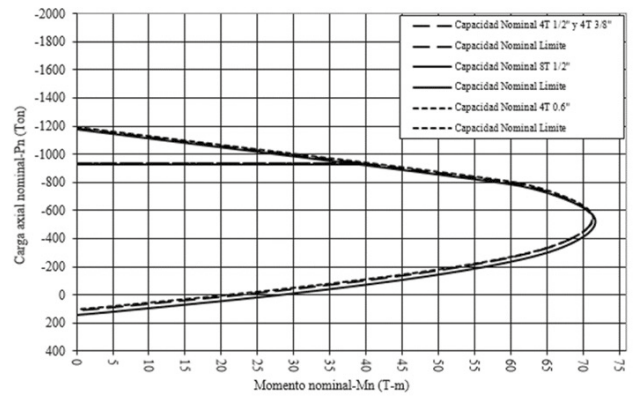


Figura 3.15 Diagrama de interacción del pilote de 45 cm x 45 cm con $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$

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)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (ACI 318S-14)	Pn (Ton)	Mn (T-m)	ϕ (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.

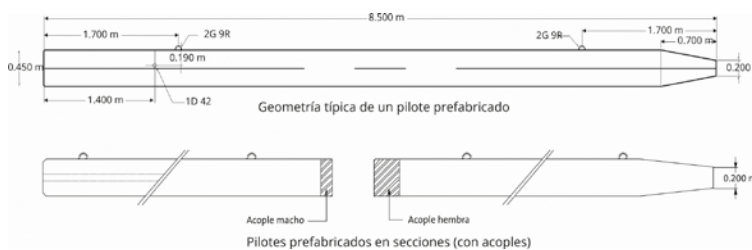


Figura 3.16 Geometría de los pilotes prefabricados

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.

$$Q_n = Q_p + Q_f$$

$$Q_u \leq fQ_n$$

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/cm².

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.

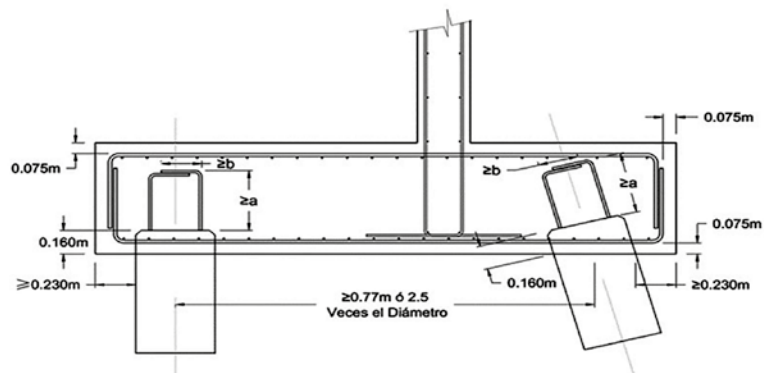


Figura 3.17 Detalle típico de conexión

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/m³. 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	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$		$f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$		$f'c = 550 \text{ kg/cm}^2$		$f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$	
		a (cm)	b (cm)	a (cm)	b (cm)	a (cm)	b (cm)	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.

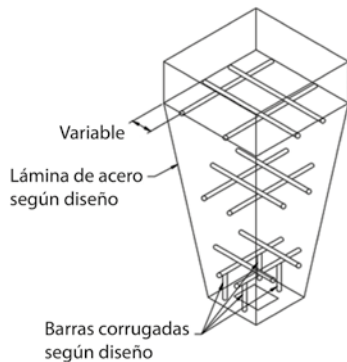


Figura 3.18 Puntera metálica para pilote de concreto

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.

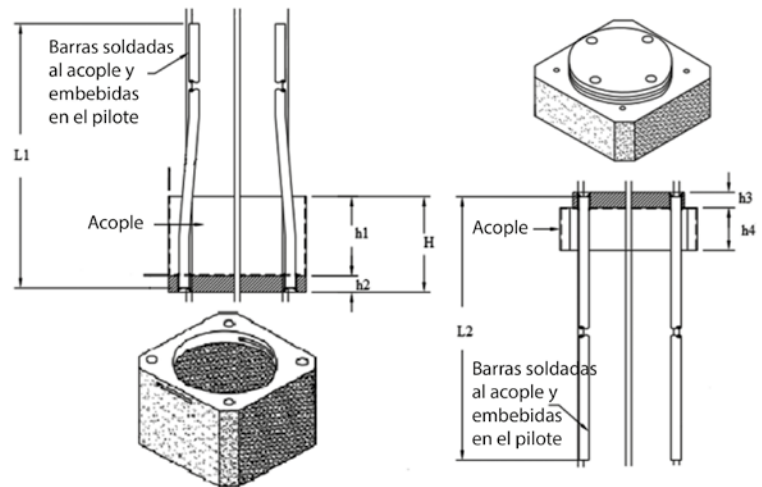


Figura 3.19 Detalle de acople