

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(149)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	OSCAR LEONARDO CHINCHILLA LEMUS		
	ERICA ROCIO LANZZIANO PALLARES		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	NELSON AFANADOR GARCIA		
TÍTULO DE LA TESIS	COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS: ARMADOS, PREESFORZADOS Y POSTENSADOS, EN SUS ESTADOS FRESCOS Y ENDURECIDOS		
RESUMEN			
(70 palabras aproximadamente)			
<p>MONOGRAFIA DE COMPILACION REFERENTE A LA COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS: ARMADOS, PREESFORZADOS Y POSTENSADOS, EN SUS ESTADOS FRESCOS Y ENDURECIDOS.</p> <p>EL DESARROLLO DE ESTA MONOGRAFIA PERMITE LA DIFUSION DE LAS DIFERENCIAS Y SIMILITUDES DE ESTOS TRES TIPOS DE CONCRETO, PARA FACILITAR LA SELECCION DEL CONCRETO MAS ADECUADO PARA CADA PROYECTO DE CONSTRUCCION.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 149	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS:
ARMADOS, PREESFORZADOS Y POSTENSADOS, EN SUS ESTADOS FRESCOS Y
ENDURECIDOS

Autores

OSCAR LEONARDO CHINCHILLA LEMUS

ERICA ROCÍO LANZZIANO PALLARES

Trabajo de grado modalidad monografía para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Ph.D. NELSON AFANADOR GARCÍA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Mayo, 2021

Nota

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0055 de fecha 15 de diciembre de 2020, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes **Jesús David Márquez Montejo** y **Leandro Ovallos Manosalva**.

Agradecimientos

Los autores de esta monografía expresan su cordial agradecimiento al Ph.D. Nelson Afanador García, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda, especialmente al Ing. Luis Miguel Duarte Vergara por su acompañamiento y colaboración en todas las etapas del proyecto.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

Oscar Leonardo Chinchilla Lemus

Erica Rocío Lanzziano Pallares

Dedicatoria

Primeramente doy gracias a Dios, así como a mis padres por ser pieza fundamental en este logro, y a aquellos familiares que me apoyaron a hacer posible este sueño.

Erica Rocío Lanzziano Pallares

Tabla de contenido

Introducción.....	xvii
Capítulo 1. Generalidades y normatividad de los concretos: armados, preesforzados y postensados	1
1.1 Antecedentes del concreto	1
1.2 Definiciones.....	3
1.2.1 Concreto armado.	3
1.2.2 Concreto preesforzado y postensado.	4
1.3 Materiales para la fabricación de concretos armados, preesforzados y postensados ..	7
1.3.1 Concreto.	8
1.3.2 Acero.	8
1.3.3 Gatos hidráulicos.	17
1.3.4 Ductos para concreto postensado.	19
1.3.5 Mortero de inyección para concreto postensado.	21
1.3.6 Anclajes para concreto postensado.....	22
1.3.7 Empresas fabricantes de alambres, torones y anclajes para concretos preesforzados y postensados.	29
1.4 Método de construcción con concretos armados, preesforzados y postensados	33
1.4.1 Concreto armado.	33
1.4.2 Concreto preesforzado y postensado.	35
Capítulo 2. Propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado fresco.....	41
2.1 Asentamiento	41

2.2 Temperatura.....	44
2.3 Densidad	45
2.4 Contenido de aire.....	48
Capítulo 3. Propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado endurecido.....	52
3.1 Resistencia a la compresión.....	52
3.2 Resistencia a la tensión.....	54
3.3 Resistencia a la flexión.....	55
3.4 Módulo de elasticidad estático y relación de Poissón	57
Capítulo 4. Aplicaciones de los concretos: preesforzados y postensados	59
4.1 Secciones más empleadas con concreto preesforzado y postensado.....	59
4.1.1 Sección cuadrada y rectangular.....	60
4.1.2 Sección I simétrica.	60
4.1.3 Sección I asimétrica.....	61
4.1.4 Sección en T.	62
4.1.5 Sección en T invertida.....	63
4.1.6 Sección en caja.	64
4.2 Ventajas y desventajas del concreto preesforzado y postensado.....	65
4.2.1 Ventajas del concreto preesforzado y postensado.....	66
4.2.2 Desventajas del concreto preesforzado y postensado.....	67
4.2.3 Preesforzado vs postensado.....	68
4.3 Obras con mayor uso del concreto preesforzado y postensado	69
4.3.1 Puentes.....	69

4.3.2 Estadios y graderías.....	71
4.3.3 Edificios.....	72
4.3.4 Naves industriales.....	72
Conclusiones.....	74
Referencias	77
Apéndices	82

Lista de tablas

Tabla 1. Requerimientos mecánicos de los alambres para concreto presforzado	12
Tabla 2. Requisitos de resistencia a la rotura de torones para concreto presforzado	14
Tabla 3. Requisitos de límite de fluencia de los torones	15
Tabla 4. Relación de diámetro entre el alambre central y los alambres externos	16

Lista de figuras

Figura 1. Fisuras en el concreto armado ante la acción de las cargas (P). Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 19. ... 4	4
Figura 2. Balance de esfuerzos en elementos presforzados. Obtenido de Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 18. ... 5	5
Figura 3. Sección de concreto ante la acción de las cargas (P). Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 19. 7	7
Figura 4. Aspecto común del acero corrugado para concreto armado. Casa del acero, 2021. Obtenido en: https://casadelacero.com/varilla-corrugada-en-tijuana/ 9	9
Figura 5. Alambre para presfuerzo. Brekaert.com, 2021. Obtenido en: https://www.bekaert.com/es-MX/productos/construccion/refuerzo-de-hormigon/alambres-para-hormigon-pretensado 11	11
Figura 6. Torón comúnmente comercializado para concretos preesforzados y postensados. AcerosVimar.com, 2021. Obtenido en: http://acerosvimar.com/toron.html 13	13
Figura 7. Gato monotorón. Méndez, J., 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 48. 18	18
Figura 8. Gato multitorón comúnmente empleado para el tensado del acero en el concreto preesforzado y postensado. Mexpresa.com, 2021. Obtenido en: http://mexpresa.net/productos/presfuerzo.php 19	19
Figura 9. Ductos para concreto postensado. Mtt-Maxim, 2021. Obtenido en: https://mtt-maxim.com/vaina-ducto-postensado/ 21	21
Figura 10. Esquema de los componentes de un anclaje activo multitorón y su aspecto característico. Torres, A. & Morales, F., 2011. Sistemas constructivos: Hormigón pretesado y postesado. Pág. 32. 23	23
Figura 11. Anclaje Multiplano fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/ 24	24
Figura 12. Anclaje de placa SD fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/ 25	25
Figura 13. Anclaje de placa ED fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/ 25	25
Figura 14. Anclaje en U fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/ 26	26

Figura 15. Anclaje plano fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/	26
Figura 16. Anclaje pasivo generalmente usado en concretos postensados. Edingaps, 2021. Obtenido en: http://www.edingaps.com/productos/anclajes-del-cable-postensado-lado-pasivo .	27
Figura 17. Anclajes pasivos. Obtenido en: https://civildigital.com/anchorage-systems-post-tensioning-types-prestressed-concrete-anchorage-images/	28
Figura 18. Anclajes pasivos por adherencia. Obtenido en: https://civildigital.com/anchorage-systems-post-tensioning-types-prestressed-concrete-anchorage-images/	29
Figura 19. Anclaje activo fabricado por la empresa Freyssinet Colombia. Obtenido de: Catálogo de productos Freyssinet Colombia.	30
Figura 20. Torones enrollados. Obtenido de: Catálogo de productos EMCOCABLES.	31
Figura 21. Gato hidráulico. Obtenido de: Catálogo de productos DYWIDAG Colombia..	32
Figura 22. Armado y encofrado de elementos estructurales para el posterior vaciado de concreto. Cementosinka.com, 2021. Obtenido en: http://www.cementosinka.com.pe/blog/ventajas-y-desventajas-del-concreto-armado/	34
Figura 23. Molde de vigas para fabricación con concretos preesforzados y postensados. Méndez, 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 26.	35
Figura 24. Mesa de colado. Méndez, 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 28.	36
Figura 25. Forma de aplicación de esfuerzos en vigas preesforzadas. Palacios, L. Concreto pretensado y postensado. Pág. 6.	37
Figura 26. Aplicación de las fuerzas de presfuerzo y de las fuerzas de soporte en vigas. Palacios, L., 2018. Concreto pretensado y postensado. Pág. 6.	37
Figura 27. Aplicación de presfuerzos simultáneamente en varias vigas. Palacios, L., 2018. <i>Concreto pretensado y postensado</i> . Pág. 6.	38
Figura 28. Aplicación del método de postensado en vigas. Meza, L., 2015. Aspectos fundamentales del concreto presforzado. Pág. 23.	39
Figura 29. Ductos de concreto postensado después del endurecimiento del mortero de inyección. Quintanilla, D., 2016. Ensayos experimentales en vigas de concreto postensado con tendones adheridos y no adheridos. Pág. 16.	40
Figura 30. Medición del asentamiento del concreto mediante el ensayo con el cono de Abrams. 360concreto.com, 2021. Obtenido en: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto	43
Figura 31. Obtención de la temperatura de una muestra de concreto. Labmexco.com, 2021. Obtenido en: http://labmexco.com/galeria.html	44
Figura 32. Obtención de la densidad de acuerdo al procedimiento descrito en la NTC-1926. ICONTEC, 2013. Obtenido de: https://www.facebook.com/watch/?v=257746328826246	46

Figura 33. Barita triturada para su uso en el concreto. Brasilminas.com, 2021. Obtenido en: https://brasilminas.net/comprar-barita-industrial/	47
Figura 34. Equipo necesario para obtener el contenido de aire en el concreto de acuerdo a la NTC-1028. Runco.com, 2021. Obtenido en: http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf	49
Figura 35. Equipo necesario para obtener el contenido de aire en el concreto de acuerdo a la NTC-1032. Runco.com, 2021. Obtenido en: http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf	51
Figura 36. Obtención de la carga axial máxima de compresión en cilindros de concreto de acuerdo a la NTC-1032. Ibertest.es.com, 2021. Obtenido en: https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayo-para-materiales-de-alta-resistencia-la-compresion-serie-meh/	53
Figura 37. Obtención de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto de acuerdo a la NTC-722. Masqueingeniería.com, 2021. Obtenido de: https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/	55
Figura 38. Determinación de la resistencia del concreto a la flexión de acuerdo a la NTC-2871. Instron.com.ar, 2021. Obtenido de: https://www.instron.com.ar/es-ar/testing-solutions/by-test-type/flexure/astm-c78	56
Figura 39. Obtención del módulo de elasticidad y la relación de Poisson mediante un compresómetro-expansómetro para cilindros de concretos de acuerdo a la NTC-4025. Proetisa, 2021. Obtenido de: http://proetisa.com/proetisa-productos.php?ID=151	58
Figura 40. Viga de sección rectangular. Archiexpo, 2021. Obtenido en: https://www.archiexpo.es/prod/seac/product-59282-816636.html	60
Figura 41. Sección I simétrica común para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	61
Figura 42. Sección I asimétrica común para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	62
Figura 43. Sección en T simple para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	63
Figura 44. Sección en doble T para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	63
Figura 45. Sección en T invertida para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	64
Figura 46. Sección en caja para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. Diseño de concreto reforzado. Pág. 568.	64
Figura 47. Puente de Oelde en Alemania. Victoryepes.blogs, 2008. Obtenido en: https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/puente-en-oelde/	70
Figura 48. Puente con sección en caja presforzada en la región de Guangzhou, China. Wowjoint.com, 2015. Obtenido en: https://wowjoint.com/index.php?c=article&id=2311	70

Figura 49. Puente con sección en I Simétrica presforzada en el estado de Toluca, México. Freyssinet.com, 2021. Obtenido en: http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_mx.nsf .	71
Figura 50. Construcción de un estadio en concreto preesforzado. Plataformaarquitectura.cl, 2021. Obtenido en: https://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/9944/graderias-y-estadios-prefabricados-sistema-tensocret/92065 .	71
Figura 51. Construcción de un edificio con concreto postensado. Tecnyconta.es, 2021. Obtenido en: https://www.tecnyconta.es/pilares-prefabricados/ .	72
Figura 52. Construcción de una nave industrial. Paxinasgalegas.es, 2021. Obtenido en: https://www.paxinasgalegas.es/ferrocar-101417em.html .	73
Figura 53. Ensayo de tracción en alambres de acuerdo a la NTC 2 Ensayo de tracción de materiales metálicos, método de ensayo a temperatura ambiente. Obtenido en: https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/productos-largos/alambres-y-cables/ .	84
Figura 54. Mordazas estándar aserradas Tipo V empleadas para el ensayo a tracción de torones. Obtenido en: https://www.instron.com.ar/es-ar/products/testing-accessories/grips .	85
Figura 55. Mordazas especiales con canales lisos semicilíndricas empleadas para el ensayo a tracción de torones. Obtenido en: https://www.instron.es/es-es/products/testing-accessories/grips/torsion-axial-torsion-grips .	86
Figura 56. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. Pág. 52.	87
Figura 57. Introducción de los cilindros en los porta cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. Pág. 52..	87
Figura 58. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. Pág. 52.	88
Figura 59. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. Pág. 52.	89

Lista de apéndices

Apéndice A. Descripción del procedimiento de ensayo de tracción en alambres y torones.	83
.....	
Apéndice B. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.....	90
Apéndice C. Catálogo de productos EMCOCABLES.	118
Apéndice D. Catálogo de productos de la empresa DYWIDAG.	123

Introducción

El concreto es el material de construcción más empleado para la construcción de estructuras, dadas las enormes ventajas que ofrece en cuanto a resistencia a la compresión. La adición de acero permite conformar en conjunto un material idóneo para todo tipo de solicitudes de esfuerzos. En la actualidad la unión del concreto y el acero puede ser empleada de tres formas, denominadas como concreto armado, preesforzado, y postensado (Meza, 2015).

El concreto armado es aquel donde el acero es instalado sin someterlo a ningún tipo de esfuerzos, mientras que cuando el acero es sometido a estados especiales de esfuerzos se denominan como preesforzados y postensados. El concreto preesforzado es aquel donde el acero es sometido a esfuerzos antes de que el concreto sea vaciado, mientras que el concreto postensado, es aquel donde el acero es sometido a esfuerzos después que el concreto haya adquirido su consistencia sólida (Palacios, 2018).

El estado de esfuerzos a los que es sometido el acero en el concreto preesforzado y postensado, tiende a generar diferencias entre sus características y propiedades, tanto en su estado fresco como endurecido, por lo que se hizo necesario sintetizar la información disponible y relevante referente a este tema, que permitieran llevar a cabo su comparación.

En países desarrollados, como Estados Unidos, es muy frecuente el uso del concreto preesforzado y postensado, dadas las grandes dimensiones de las estructuras que frecuentemente se construyen en estos países. Sin embargo, en el caso de Colombia, se estima que del total de estructuras donde se emplea concreto, más del 80% corresponden al tipo armado, y por tanto menos del 20% emplean algún tipo de elemento preesforzado o postensado (Delgado & Zuñiga, 2015; Tandaypán, 2019).

Lo anterior es debido a que Colombia, como país subdesarrollado, no ha adquirido completamente la tecnología necesaria para aprovechar el concreto preesforzado y postensado, teniendo en cuenta, que el uso del concreto armado representa una serie de desventajas al momento de construir a gran escala. Dadas las actuales tendencias de inversión en el país en cuanto al desarrollo de puentes de grandes luces, edificios de mayor altura, así como otras exigencias de tipo industrial, se está prestando especial interés a la técnica del concreto presforzado para hacer frente a las nuevas exigencias de construcción en el país (Delgado & Zuñiga, 2015; Tandaypán, 2019).

La importancia de esta monografía se debe a que describe la utilización de un material de uso común como el concreto armado, y lo compara con los concretos preesforzados y postensados, los cuales han sido utilizados en obras de mayor exigencia, como puentes, viaductos, rascacielos, entre otros, y cuyo uso empieza a generalizarse en países como Colombia. De esta manera se brinda un guía para detallar aquellas diferencias que existen entre estos tipos

de concreto, y así facilitar la toma de decisiones, especialmente en la elección de uno de estos concretos en los distintos proyectos de construcción que se estén desarrollando en el país.

La realización de la monografía estuvo basada en la consecución de los siguientes objetivos:

- Detallar las generalidades y normatividad de los concretos: armados, preesforzados y postensados.
- Identificar las propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado fresco.
- Determinar las propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado endurecido.
- E ilustrar las aplicaciones de los concretos: armados, preesforzados y postensados.

Para el desarrollo de estos objetivos, fue necesario emplear una metodología enfocada en recopilar la información más relevante sobre las características y propiedades de los concretos objeto de estudio. Esta metodología se conoce con metanálisis, y permite sintetizar la evidencia

procedente de estudios disponibles sobre el tema de interés en el marco de una revisión sistemática previa.

La investigación fue de tipo descriptiva y cualitativa. Se desarrolló en tres etapas, la primera comprendió la recopilación de información bibliográfica referente al tema de estudio, en la segunda etapa se analizó y seleccionó la información identificando las principales características y propiedades para cada tipo de concreto, y en la tercera etapa se desarrollaron los objetivos planteados. El desarrollo de este trabajo tuvo una duración aproximada de 20 semanas.

Capítulo 1. Generalidades y normatividad de los concretos: armados, preesforzados y postensados

1.1 Antecedentes del concreto

El concreto es un material de construcción presente en multitud de edificaciones y estructuras desde su invención en el antiguo Imperio Romano, hace más de 2000 (dos mil) años, donde se inició el empleo de materiales conglomerantes, como las cenizas volcánicas mezcladas con cal para unir los agregados pétreos. Posteriormente, en el Siglo XIX, específicamente en el año 1824, Joseph Aspdin desarrolló el cemento Portland, con el cual maximizó y difundió el uso del concreto (Nistal, Retana, & Abrio, 2012).

Desde los inicios de la construcción en concreto, fue evidente su alta capacidad de soportar esfuerzos a compresión, sin embargo, no demostraba la misma facultad para los esfuerzos a tensión. Los distintos ensayos realizados hasta la fecha dan muestra que la capacidad del concreto de resistir tensión es usualmente entre el 10 y el 20% de la que puede soportar a compresión. Debido a esto, en el Siglo XIX, en la década de los años 50 (cincuenta), se inició la utilización de un nuevo material en el concreto: el acero. La incorporación del acero representó el aumento de aplicaciones del concreto, pues la combinación de ambos materiales permitió la creación de nuevas estructuras e incentivó representaciones arquitectónicas hasta entonces muy difíciles de construir. A la combinación simple del concreto y el acero se le denomina *concreto armado o reforzado* (Nistal, Retana, & Abrio, 2012).

El concreto armado representó grandes ventajas en la construcción, sin embargo, ante las nuevas necesidades surgidas por el desarrollo industrial, que demandaban una cada vez mayor creación de infraestructuras que fueran capaces de soportar mayores cargas de diseño que las permitidas por el concreto armado, se hizo necesario desarrollar una nueva técnica, denominada como *concreto presforzado* (Villatoro, 2005).

El primero en indicar la idea del concreto presforzado fue Monier Doehring en el año 1888, patentando la técnica para su elaboración, la cual consistía en formar elementos (vigas principalmente) mediante tablonos y paneles triangulares de mortero ubicando acero en su interior para someterlos a esfuerzos antes de vaciar el concreto. A pesar de que Doehring patentó la idea, no tuvo éxito con los elementos construidos, a lo cual se le atribuye la baja calidad de los materiales que empleó (Meza, 2015).

Debido al fracaso de Doehring y de otros ingenieros que buscaron probar la utilidad del concreto presforzado, esta técnica no tuvo relevancia durante muchas décadas, hasta que en el año 1928 el ingeniero francés, Eugene Freyssinet, indicó que para aplicar esta técnica se hace necesario utilizar materiales de mayor resistencia que los usualmente componen el concreto armado, considerándolo como la condición previa para cualquier construcción o elemento de este tipo. El éxito de Freyssinet incentivó el uso del concreto presforzado, razón por la cual es considerado el padre de este tipo de concreto (Meza, 2015).

A continuación se abordan los aspectos generales que deben ser contemplados para la utilización de los concretos: armados, preesforzados y postensados.

1.2 Definiciones

1.2.1 Concreto armado.

El concreto armado o reforzado representa la idea convencional que se tiene del concreto, el cual consiste en la unión del concreto simple (cemento, gravas, arenas, y generalmente, aditivos) con el acero (varillas o barras). La unión de estos dos materiales permite formar piezas sólidas sin que se produzca deslizamiento de un material sobre el otro, debido a las corrugaciones que presenta el acero y a su anclaje en las extremidades de cada elemento construido. El acero aumenta la resistencia de los elementos, reduce las deformaciones debidas a las cargas de larga duración y proporciona confinamiento (Torres & Morales, 2011).

En el concreto armado se busca que los esfuerzos de tracción o tensión sean totalmente absorbidos por el acero (armadura metálica) y los de compresión por el concreto, sin embargo, en las zonas donde el concreto recubre el acero, la tracción generada, a pesar de ser asumida por el acero, tiende a generar fisuras en el concreto ante la acción de las cargas, como se observa en la figura 1 (Torres & Morales, 2011).

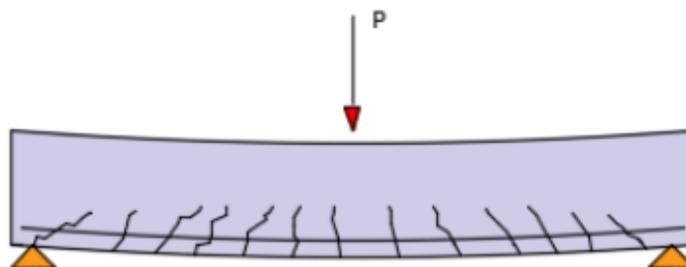


Figura 1. Fisuras en el concreto armado ante la acción de las cargas (P). Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 19.

En Colombia, el concreto armado debe cumplir con las distintas disposiciones establecidas en el Título C – Concreto Estructural de la NSR-10 (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010).

1.2.2 Concreto preesforzado y postensado.

El concreto preesforzado (también llamado pretensado) y el postensado, son dos tipos de técnicas incluidas dentro del denominado concreto presforzado. El código ACI-318 define el concreto presforzado, como el concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución, que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado. Con esto se busca mejorar el comportamiento estructural de los elementos (vigas, columnas, losas, zapatas, entre otros), ya que con la aplicación de los

esfuerzos se aumenta su resistencia, se reduce el agrietamiento y se incrementa la durabilidad. Es común que se indique que presforzar un elemento de concreto, es proveerlo de capacidad almacenada para resistir cargas, las cuales, en un concreto armado convencional, producirían tensiones excesivas, además de agrietamientos (ACI-318, 2014; Méndez, 2015).

Con el presfuerzo se trata al concreto como un material elástico, donde el crear un estado de esfuerzos a compresión inicial, permite contrarrestar o reducir los esfuerzos de tensión a los que estarán sometidos los elementos en su puesta en servicio. Con el presfuerzo se busca generar un balance entre los esfuerzos aplicados al concreto y los esfuerzos a los que estará expuesto, como se observa en la figura 2 (Palacios, 2018).

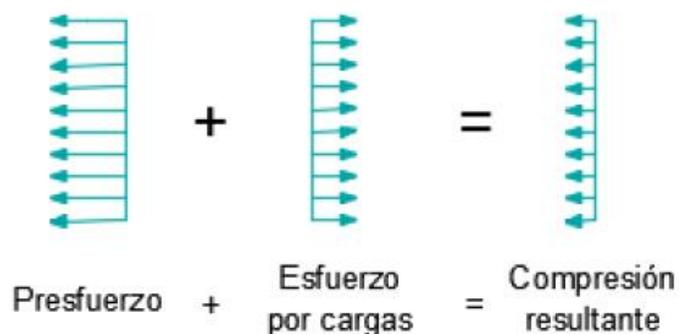


Figura 2. Balance de esfuerzos en elementos presforzados. Obtenido de Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 18.

Para aplicar el presfuerzo, el concreto debe ser comprimido por medio de la generación de tensiones elevadas en el acero, de tal forma que sea capaz de resistir los esfuerzos de tensión. La forma en que sean aplicados estos esfuerzos es lo que diferencia al concreto presforzado del postensado (Palacios, 2018).

En el concreto preesforzado, o también llamado pretensado, se eliminan los esfuerzos de tensión en el concreto mediante la introducción de esfuerzos artificiales de compresión, antes del vaciado y posterior fraguado del concreto. Esto se logra mediante moldes o dispositivos que permiten contener el acero de tal forma que sea posible aplicar los esfuerzos. Posteriormente, cuando se cumple el fraguado del concreto, se retiran los moldes o dispositivos que sostienen el acero, de esta manera el concreto pasa a resistir las fuerzas aplicadas al acero, lo que permite que la sección del concreto trabaje parcial o totalmente a compresión, contrarrestando de esta manera los esfuerzos requeridos durante su servicio (Parra, 2014; Villatoro, 2005).

Por su parte, en el concreto postensado, se tensa el acero después que el concreto se ha endurecido. La fuerza aplicada se transfiere al concreto mediante anclajes terminales en el momento que se tensa el acero. En esta técnica de presfuerzo, el acero no se encuentra adherido al concreto antes del tensado, es decir, cuando el concreto endurece, pues esto reduciría el alargamiento necesario. El acero tensado generalmente consiste en alambres o torones individuales, los cuales se ubican en ductos dentro de la sección de concreto o inclusive fuera de ella. Con la aplicación del presfuerzo, se reducen considerablemente las fisuras o agrietamientos en el concreto ante la acción de las cargas de servicio, como se observa en la figura 3, ya que toda la sección del concreto se encuentra en compresión (Palacios, 2018; Torres & Morales, 2011).

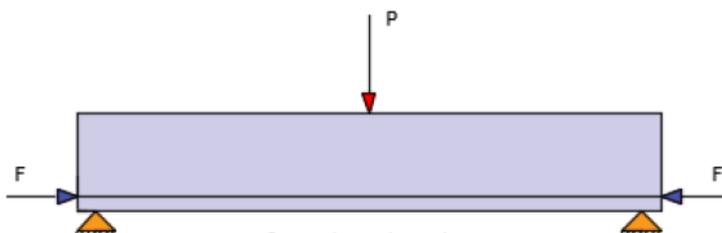


Figura 3. Sección de concreto ante la acción de las cargas (P). Aguilar, J, 2015. Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado. pág. 19.

En Colombia, el concreto preesforzado y postensado debe cumplir con las distintas disposiciones establecidas en el Título C de la NSR-10, sin embargo, se deben añadir las consideraciones precisas para diseños con este tipo de concreto que se encuentran en el capítulo 18 del mencionado título (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010).

La principal diferencia observada entre los distintos tipos de aceros, está relacionada con el estado de esfuerzos al que es sometido el acero. Para lograr esto se hace necesario considerar los materiales requeridos para lograr tales condiciones, por lo que a continuación se aborda este aspecto.

1.3 Materiales para la fabricación de concretos armados, preesforzados y postensados

Los tres tipos de concretos estudiados en este trabajo se componen de forma general por los mismos materiales: concreto y acero, sin embargo, existen diferencias en cuanto a sus características, además que el concreto preesforzado y postensado requiere considerar elementos adicionales: gatos hidráulicos. Para el caso específico del concreto postensado, es necesario adicionar el uso de anclajes, ductos y mortero de inyección.

1.3.1 Concreto.

El concreto se define como la mezcla de arena, grava, roca triturada, u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. Usualmente se añaden uno o más aditivos para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado (McCormac & Brown, 2011).

El concreto a emplear corresponde como una de las principales diferencias entre los concretos armados, preesforzados y postensados. Mientras que para la fabricación de concreto armado se requiere un concreto (simple, sin refuerzo) con una resistencia a compresión que oscila entre 21 y 28 MPa, en los concretos preesforzados y postensados se necesitan concretos con una resistencia a compresión muy superior, siendo común valores entre los 35 y 41 MPa, los denominados: concretos de alta resistencia. Con una mayor resistencia del concreto se logra reducir el agrietamiento por contracción, que es característico en concretos de baja resistencia a compresión (menor a 28 MPa), además ofrecen mayor resistencia a tensión y cortante, así como a la adherencia y al empuje (McCormac & Brown, 2011).

1.3.2 Acero.

El acero consiste en una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). En ocasiones se añaden otros elementos a la aleación, como el Cromo (Cr) o el Níquel (Ni). Actualmente se distinguen tres tipos de aceros: al carbono, aleados y

estructurales. Los aceros al carbono son aquellos que utilizan, además del carbono, elementos como manganeso (1,65%), silicio (0,60%) y cobre (0,60%). Este tipo de acero se emplea para la construcción de máquinas, automóviles, estructuras para la construcción de acero y embarcaciones. Los aceros aleados se caracterizan por poseer, además de los elementos ya mencionados, cantidades significativas de vanadio y molibdeno. Por último, los aceros estructurales son aquellos donde la aleación puede alcanzar valores de hasta un 6% de carbono, y son los usados para la construcción de edificios, automóviles, puentes, barcos y semejantes (Cabañas, 2008).

El acero empleado para la fabricación del concreto armado, generalmente consiste en barras o varillas redondas corrugadas, como la mostrada en la figura 4, las cuales son fabricadas de acero laminado en caliente o de acero trabajado en frío. Con las corrugaciones se garantiza una mejor adherencia entre el acero y el concreto, inhibiendo el movimiento relativo longitudinal entre ellos. La resistencia del acero se mide con el esfuerzo de fluencia; para concreto armado, estos valores oscilan entre los 300 y 500 MPa (McCormac & Brown, 2011).



Figura 4. Aspecto común del acero corrugado para concreto armado. Casa del acero, 2021. Obtenido en: <https://casadelacero.com/varilla-corrugada-en-tijuana/>

En los concretos preesforzados y postensados, se distinguen dos tipos de armado de acero: pasivo y activo. El armado pasivo es aquel que permite dar la forma general a cada elemento de concreto, por lo que se puede emplear en estos casos, el mismo acero empleado en el concreto armado. El otro tipo de armado es el activo, el cual está compuesto por el acero que será presforzado. Para aplicar el presfuerzo, se requieren aceros de alta resistencia que permitan grandes elongaciones debido a que de otra forma, el esfuerzo inducido en este material disminuiría sustancialmente o desaparecería con el tiempo. Por ello se requieren aceros con esfuerzos de fluencia mayores a 1800 MPa, para que sea capaz de soportar las pérdidas y de mantener niveles de esfuerzos restantes adecuados para contrarrestar las cargas externas. Este acero además debe poseer características adicionales, como: mantenerse en el rango elástico ante un esfuerzo relativamente alto, ductilidad suficiente antes de la falla, buenas propiedades de adherencia, resistencia ante fatiga, alta resistencia a la corrosión, así como que sea económico y fácil de instalar. Este acero se puede encontrar en el mercado de tres formas: alambre, torón y varillas de acero de aleación (Aguilar, 2015; Villatoro, 2005).

Es de especial interés mencionar, que en el título C de la NSR-10, se nombra al acero empleado para concreto preesforzado como tendón. Mientras que el mismo término, tendón, para el concreto postensado, representa el conjunto constituido por el acero, anclaje y ducto. Aunque también es común utilizar el término tendón como sinónimo de torón. Estos elementos se definen en este capítulo (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010).

1.3.2.1 Alambre.

Los alambres para presfuerzo se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener alambres redondos que, después del enfriamiento, pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta el tamaño requerido. El proceso de estirado, se ejecuta en frío lo que modifica notablemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. Después, los esfuerzos residuales son liberados mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas deseadas. Los alambres suelen tener diámetros comprendidos entre 3 y 10 mm, con una resistencia a la fluencia de entre 1500 a 1800 MPa. En la figura 5 se observa la forma comercial de este tipo de acero (Cabañas, 2008; Bañón, 2011).



Figura 5. Alambre para presfuerzo. Brekaert.com, 2021. Obtenido en: <https://www.bekaert.com/es-MX/productos/construccion/refuerzo-de-hormigon/alambres-para-hormigon-pretensado>

El alambre para su uso en concreto preesforzado y postensado, debe cumplir con los requerimientos establecidos en la NTC 159 *Alambres de acero para hormigón presforzado*.

Alambres trefilados no templados, la cual a su vez se basa en la ASTM A421/A421M *Especificación normalizada para alambre de acero aliviado esfuerzos sin recubrimiento para concreto presforzado*. En estas normas se establece que los alambres deben ser sometidos a ensayos de tensión para determinar su carga de rotura mínima así como su elongación, además, los alambres deben cumplir con aspectos como profundidad del grafilado (corrugaciones), en el Apéndice A se describe el procedimiento de ensayo de tracción en este tipo de materiales. En la tabla 1 se muestra el resumen de los requerimientos que debe cumplir el alambre (NTC-159, 1997; ASTM A421/A421M, 2015).

Tabla 1

Requerimientos mecánicos de los alambres para concreto presforzado

Diámetro nominal (mm)	Tolerancia del diámetro +/- (mm)	Profundidad del grafilado (mm)		Elongación mínima (%)	Carga al 1% mínima (KN)	Carga de rotura mínima (KN)
		Mín.	Máx.			
2,50	0,03	N.A.	N.A.	3,5	6,91	8,35
3,00	0,03	N.A.	N.A.	3,5	10,03	11,77
4,00	0,04	0,051	0,127	3,5	18,63	20,59
5,00	0,05	0,076	0,152	4,0	27,95	31,87
5,26	0,05	0,101	0,180	3,5	32,09	37,76
6,00	0,05	0,076	0,152	4,0	38,74	44,13
7,00	0,05	0,101	0,203	4,5	50,99	58,35

Nota: NTC-159, 1997, ASTM A421/A421M, 2015.

1.3.2.2 Torón.

El torón consiste en alambres firmemente unidos, los cuales son torcidos en forma de hélice alrededor de un alambre que se utiliza como eje longitudinal común, el cual se caracteriza

por ser totalmente recto con un diámetro ligeramente superior al resto. La forma más común del torón es el fabricado con 7 alambres, como el mostrado en la figura 6. Las propiedades mecánicas del torón resultan mejores que la de los alambres, sobre todo en la adherencia. De acuerdo a la resistencia a la fluencia se distinguen dos grupos de torones, los de grado 1725 y los de grado 1860, los cuales poseen una resistencia a la fluencia mínima de 1725 MPa, y de 1860 MPa, respectivamente. Los diámetros de los torones más comunes son los de 9,5 mm (3/8") y los de 12,7 mm (1/2") (Cabañas, 2008; ASTM A 416/A416M, 2006).



Figura 6. Torón comúnmente comercializado para concretos preesforzados y postensados. AcerosVimar.com, 2021. Obtenido en: <http://acerosvimar.com/toron.html>

Al igual que los alambres, el torón debe cumplir con determinadas normas para ser empleado en el concreto tanto preesforzado como postensado. La norma que especifica las características para los torones es la ASTM A 416/A416M *Especificación normalizada para torón de acero, de siete alambres sin recubrimiento para concreto preesforzado*. En Colombia se pueden aplicar la NTC-6255 *Métodos de ensayo de torones de acero presforzado de múltiples alambres*, o la NTC 2010 *Torón de acero de siete alambres de baja relajación para concreto*

presforzado, en el Apéndice A se describe el procedimiento de ensayo tracción en este tipo de materiales. (ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018).

De acuerdo a las normas anteriores, los torones a emplear en el concreto presforzado deben cumplir con varios requisitos, el primero de ellos está relacionado con su resistencia a la rotura, en la tabla 2 se muestran estos requisitos (ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018).

Tabla 2

Requisitos de resistencia a la rotura de torones para concreto presforzado

Grado	Designación del Torón N°	Diámetro del Torón (mm)	Resistencia a la rotura mínima del Torón (KN)	Área de acero del Torón mm ²	Peso del Torón kg/1000 m
1725	6	6,40	40,0	23,2	182
	8	7,90	64,5	37,4	294
	9	9,50	89,0	51,6	405
	11	11,10	120,1	69,7	548
	13	12,70	160,1	92,9	730
	15	15,20	240,2	139,4	1094
1860	9	9,53	102,3	54,8	432
	11	11,11	137,9	74,2	582
	13	12,70	183,7	98,7	775
	13a	13,20	200,2	107,7	844
	14	14,29	230,0	123,9	970
	15	15,24	260,7	140	1102
	18	17,78	353,2	189,7	1487

Nota: ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018.

Otro requisito que deben cumplir los torones es el límite de fluencia, sin embargo, esta se relaciona con la relajación. La relajación indica el comportamiento de los torones en cuanto a sus

pérdidas de carga en función del tiempo. De acuerdo a esto, los torones pueden ser de relajación baja o normal. Para obtener estos valores se debe aplicar ensayos que consisten en someter a esfuerzos de tensión al acero aplicando la carga inicial durante 3 a 5 minutos. Posteriormente se aumenta la carga hasta un 70 o 80% de la resistencia de rotura mínima, se toman lecturas después de 1 minuto de aplicada esta carga. El ensayo debe durar 1000 horas, se puede tomar un período más corto de al menos 200 horas, siempre que se pueda demostrar a través de los registros que una extrapolación de los resultados de ensayo de un período más corto que 1000 horas proveerá valores similares de relación al ensayo completo de 1000 horas. En la tabla 3 se muestran los requisitos del límite de fluencia de acuerdo a la relajación (ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018).

Tabla 3

Requisitos de límite de fluencia de los torones

Grado	Designación de Torón N°	Diámetro nominal del Torón (mm)	Carga inicial (KN)	Mínima carga a extensión de 1% (KN)	
				Baja relajación	Relajación Normal
1725	6	6,40	4,0	36	34
	8	7,90	6,5	58,1	54,7
	9	9,50	8,9	80,1	75,6
	11	11,10	12,0	108,1	102,3
	13	12,70	16,0	144,1	136,2
	15	15,20	24,0	216,2	204,2
1860	9	9,53	10,2	92,1	87
	11	11,11	13,8	124,1	117,2
	13	12,70	18,4	165,3	156,1
	13a	13,20	20,0	180,1	170,1
	14	14,29	23,0	207	195,5
	15	15,24	26,1	234,6	221,5
	18	17,78	35,3	318	300,2

Nota: ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018.

El último requisito que deben cumplir los torones, es la relaciones entre el alambre central, de mayor tamaño, y los alambre externos. En la tabla 4 se muestran estos requerimientos (ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018).

Tabla 4

Relación de diámetro entre el alambre central y los alambres externos

Grado	Designación de Torón N°	Diámetro nominal del Torón (mm)	Mínima diferencia entre el diámetro del alambre central y el diámetro de cualquier alambre externo (mm)
1725	6	6,40	0,0250
	8	7,90	0,0380
	9	9,50	0,0510
	11	11,10	0,0640
	13	12,70	0,0760
	15	15,20	0,1020
1860	9	9,53	0,0508
	11	11,11	0,0635
	13	12,70	0,0762
	13a	13,20	0,0762
	14	14,29	0,0889
	15	15,24	0,1016
	18	17,78	0,1143

Nota: ASTM A 416/A416M, 2006; NTC-6255, 2017; NTC-2010, 2018.

1.3.2.3 Varillas de acero de aleación.

Este tipo de acero consiste en varillas que se obtienen mediante la introducción de algunos minerales en la aleación durante su fabricación. Se trabajan en frío para incrementar su resistencia. Después de ser estiradas en frío se les libera de esfuerzos para obtener las

propiedades requeridas. Generalmente se fabrican en diámetros de entre 12 y 41 mm. Es el tipo de acero de presfuerzo menos empleado, pues presenta resistencias entre un 30 y 40% menores a las de los torones (Cabañas, 2008).

1.3.3 Gatos hidráulicos.

Los gatos hidráulicos son máquinas que emplean el principio de Pascal, pues aprovechan el efecto del reparto uniforme de la presión a través de un fluido entre dos émbolos de distinta sección. La presión hidráulica permite obtener grandes fuerzas de tensado de acero, ya que permite una distribución uniforme del esfuerzo. Los gatos hidráulicos actuales son comúnmente contruidos para ser empleados en torones, y se distinguen dos tipos: gatos monotorón y gato multitorón (Alonso, 2015):

1.3.3.1 Gato monotorón.

Este tipo de gato hidráulico permite tomar un solo torón a la vez, por lo que suele ser recomendado para concretos pretensados, pues se facilita la apreciación de los torones durante el proceso de tensado. Uno de los factores más importante al momento de seleccionar la dimensión del gato hidráulico, es su recorrido de tensado, es decir, la distancia máxima que es capaz de recorrer de una sola vez, pues si esta es menor a la elongación requerida, no será posible realizar el presfuerzo de una sola vez, por lo que habrá que tomar el torón en otro punto distinto, se recomienda que este proceso no se realice más de dos veces, de lo contrario será conveniente un

gato de mayor dimensión o recorrido. En la figura 7 se observa un gato monotorón convencional (Alonso, 2015).



Figura 7. Gato monotorón. Méndez, J., 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 48.

1.3.3.2 Gato multitorón.

Este tipo de gato hidráulico permite tomar varios torones a la vez, por lo cual está compuesto de una carcasa central, apoyo delantero, placa de anclaje de cuñas, y placa de tensado de los torones. Su funcionamiento consiste en permitir que los torones pasen al interior de la carcasa central, en donde se aloja el embolo del tensado. Esta carcasa se apoya en la placa de torones mediante el apoyo delantero, luego se pone la placa de anclaje de cuña, esta se mantiene fija en su interior y evita que las cuñas de los cables se muevan de su posición mientras se está tensando los torones. En la figura 8 se muestra un gato multitorón típico (Alonso, 2015).



Figura 8. Gato multitorón comúnmente empleado para el tensado del acero en el concreto preesforzado y postensado. Mexpresa.com, 2021. Obtenido en: <http://mexpresa.net/productos/presfuerzo.php>.

1.3.4 Ductos para concreto postensado.

Los ductos son las fundas o corazas donde se introducen los torones, un grupo de torones es definido como un cable. Se distinguen dos tipos de ductos de acuerdo así requieren o no, mortero de inyección. Los ductos que no requieren mortero de inyección, se caracterizan por recubrir los torones o cables con un material plástico o similar. Por su parte, los ductos que si requieren de la aplicación de mortero de inyección, se caracterizan por poseer un diámetro mayor al del torón o cable. Ambos tipos de ductos deben cumplir con el numeral C.18.17.1 del Título C de la NSR-10, donde se especifica que deben ser totalmente impermeables al mortero y no reactivos con el concreto, acero, mortero de inyección e inhibidores de la corrosión (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010; Cabañas, 2008).

Los ductos que no requieren mortero de inyección se catalogan como no adheridos, y los que sí requieren mortero de inyección, como adheridos. Los ductos no adherido son fabricados para el contacto directo con los torones o cables, por su parte, para los ductos adheridos, se requiere que cumplan con ciertos requisitos como lo establece el numeral C.18.17 del Título C de la NSR-10. Dichos requisitos se listan a continuación (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010):

- Los ductos para un solo alambre o torón deben tener un diámetro interior al menos 6 mm mayor que el diámetro del acero de presfuerzo.
- Los ductos para alambres, torones o varillas de aleación agrupadas (como se mencionó anteriormente, cables) deben tener un área transversal interior por lo menos igual a dos veces el área transversal del acero de presfuerzo.

En la figura 9 se observa el aspecto común de los ductos adheridos para concreto postensado (Torres & Morales, 2011; Alonso, 2015).



Figura 9. Ductos para concreto postensado. Mtt-Maxim, 2021. Obtenido en: <https://mtt-maxim.com/vaina-ducto-postensado/>

1.3.5 Mortero de inyección para concreto postensado.

Como ya se mencionó, los ductos metálicos deben ser rellenos con mortero de inyección después de concluida la aplicación de los esfuerzos. En el numeral C.18.18 del Título C de la NSR-10, se indican las condiciones que debe cumplir el mortero de inyección para ser empleado en el concreto postensado: el mortero de inyección debe ser elaborado a partir de la mezcla de cemento pórtland y agua, y para ductos de grandes diámetros se puede añadir arena. Se puede adicionar aditivos, siempre y cuando no produzcan efectos perjudiciales en el mortero, acero o concreto. No se permite el uso de cloruro de calcio. El mezclado de mortero de inyección debe realizarse con equipos mecánicos que produzcan una distribución uniforme de los materiales, y

debe bombearse de tal manera que se llene por completo toda la sección de los ductos (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010).

1.3.6 Anclajes para concreto postensado.

Los anclajes son dispositivos que permiten transmitir la fuerza del presforzado o tensado de los torones a la superficie del concreto endurecido. Los anclajes se clasifican en dos grupos: activos y pasivos. En el concreto postensado se emplean conjuntamente ambos tipos de anclaje (Cabañas, 2008).

En el numeral C.18.21.1 del Título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, se indica que todos los anclajes, así como conectores mecánicos, que sean utilizados en el acero (torones) deben ser capaces de desarrollar al menos el 95% de la resistencia especificada a la tracción del acero empleado cuando se ensayen bajo condiciones de no adherencia, sin que excedan la deformación prevista. Los anclajes para tendones adheridos (ductos metálicos) deben ser colocados de manera que su resistencia a la tracción se desarrolle al 100% en las secciones críticas, después que se aplica el mortero de inyección y se asegure la adherencia del acero al elemento de concreto postensado (Título C - Concreto Estructural NSR-10, 2010).

1.3.6.1 Anclajes activos.

Los anclajes activos son aquellos por donde se introducen las fuerzas a los torones, es decir, por donde se realiza el presfuerzo. Consistente, básicamente, en placas o bloques de acero que se ajustan contra el concreto, y aseguran la permanencia de los esfuerzos aplicados. Generalmente se componen de tres partes: cuñas, bloques de anclaje y culata. De estas tres partes, la cuña es la que se encarga de presionar o asegurar los torones para impedir su movimiento y sostener el esfuerzo aplicado. Los anclajes activos son fabricados para acoplarse con los gatos hidráulicos a emplear, por lo que existen anclajes activos monotorón, y multitorón, siendo estos últimos los más utilizados. En la figura 10 se observa un anclaje activo multitorón y los distintos elementos que lo conforman (Torres & Morales, 2011; Cabañas, 2008).



Figura 10. Esquema de los componentes de un anclaje activo multitorón y su aspecto característico. Torres, A. & Morales, F., 2011. *Sistemas constructivos: Hormigón pretesado y postesado*. Pág. 32.

Actualmente en el mercado se encuentran disponibles diversos tipos de anclajes activos que pueden ser seleccionados de acuerdo a las exigencias de cada proyecto, o la experiencia en el

manejo de estos elementos. Estos anclajes se encuentran en el mercado con diferentes denominaciones, a continuación se listan los tipos de anclajes activos fabricados por la empresa DYWIDAG (DYWIDAG, 2020).

- Anclaje Multiplano: La placa de cuñas con su cuerpo de anclaje cónico con tres planos de transmisión de esfuerzos transfiere la fuerza de postensado de forma continua al concreto demandando un área frontal mínima. En la figura 11 se observa este tipo de anclaje (DYWIDAG, 2020).



Figura 11. Anclaje Multiplano fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: <https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/>

- Anclaje de placa SD: El sistema presenta reducidas distancias entre centros y a los bordes posibilita una disposición económica de los anclajes en zonas espacialmente limitadas. En la figura 12 se observa este tipo de anclaje (DYWIDAG, 2020).



Figura 12. Anclaje de placa SD fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: <https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/>

- Anclaje de placa ED: La placa de cuñas se centra por si misma en el cuerpo de anclaje posibilitando un ensamblaje perfecto así como la instalación y el presforzado libre de problemas. En la figura 13 se observa este tipo de anclaje (DYWIDAG, 2020).



Figura 13. Anclaje de placa ED fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: <https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/>

- Anclaje en U: La curva de 180 grados en forma de U debe posicionarse en el centro del tendón para evitar deslizamientos durante el presfuerzo simultáneo por ambos extremos. En la figura 14 se observa este tipo de anclaje (DYWIDAG, 2020).



Figura 14. Anclaje en U fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: <https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/>

- Anclaje plano: Es un tipo especial de anclaje diseñado para ser instalado en elementos con espesores reducidos, como por ejemplo, en las losas superiores de la viga cajón de puentes o en forjados planos . En la figura 15 se observa este tipo de anclaje.



Figura 15. Anclaje plano fabricado por la empresa DYWIDAG. Obtenido en: <https://www.dywidag-sistemas.com/productos/sistemas-de-postesado-sistemas-de-pretensado/sistemas-de-postesado-de-cable-adherente/tipos-de-anclaje/>

1.3.6.2 Anclajes pasivos.

Los anclajes pasivos son aquellos que quedan totalmente embebidos en el elemento de concreto y no permiten ser tensados o presforzados mediante los gatos hidráulicos. Se ubican en los extremos opuestos de los torones donde se aplicara el presfuerzo, en lo que suele denominarse como extremos muertos. Son diseñados de tal manera que formen un bucle con el torón que permita mantenerlo fijo o embebido en el concreto. En la figura 11 se observa un anclaje pasivo característico (Alonso, 2015).



Figura 16. Anclaje pasivo generalmente usado en concretos postensados. Edingaps, 2021.
Obtenido en: <http://www.edingaps.com/productos/anclajes-del-cable-postensado-lado-pasivo>

Al igual que los anclajes activos, en el mercado se encuentran disponibles diferentes tipos de anclajes pasivos con diversas formas, como las observadas en la figura 17, donde se muestra, de forma descendente: anclaje pasivo con ajuste de compresión, anclaje pasivo en bucle, y anclaje pasivo de cesta (Civildigital, 2021).



Figura 17. Anclajes pasivos. Obtenido en: <https://civildigital.com/anchorage-systems-post-tensioning-types-prestressed-concrete-anchorage-images/>

Un método de anclaje pasivo, muy utilizado, es aquel donde los alambres de los torones son deformados para asegurar una transmisión de las cargas. Este método se denomina como anclaje pasivo por adherencia. En la figura 18 se ilustran dos ejemplos de este tipo de anclaje (DYWIDAG, 2020).

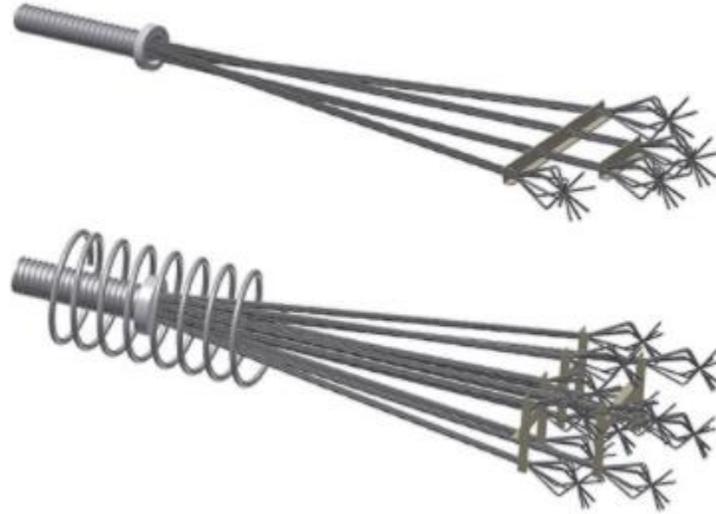


Figura 18. Anclajes pasivos por adherencia. Obtenido en: <https://civildigital.com/anchorage-systems-post-tensioning-types-prestressed-concrete-anchorage-images/>

1.3.7 Empresas fabricantes de alambres, torones y anclajes para concretos preesforzados y postensados.

A nivel mundial existen una gran cantidad de empresas dedicadas a la fabricación de alambres, torones y anclajes para concretos preesforzados y postensados, sin embargo, en Colombia existen muy pocas empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de materiales, a continuación se resaltan las más importantes:

1.3.7.1 Freyssinet Colombia.

Freyssinet es una empresa multinacional, con plantas de fabricación en más de 50 países, siendo una de las empresas más reconocidas para el suministro de los anclajes empleados en los

concretos preesforzados y postensados. En Colombia cuentan con plantas de producción en la ciudad de Bogotá D.C., y sus oficinas se encuentran en la Calle 119 #13-51 Oficina 301. Puede ser contactada mediante el teléfono 744 2757. Así mismo se puede solicitar información a través de su canal de consulta en su página web: www.freyssinet.co, específicamente en el siguiente URL: “http://www.freyssinet.co/freyssinet/wfreyssinet_co.nsf/contact?OpenForm”. En la figura 19 se observa uno de los anclajes producidos por esta empresa. El catálogo se anexa en el Apéndice B (Freyssinet Colombia, 2021).

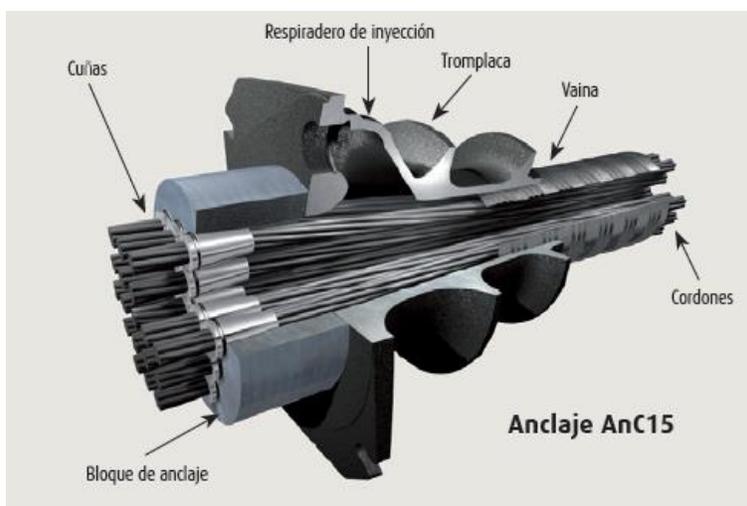


Figura 19. Anclaje activo fabricado por la empresa Freyssinet Colombia. Obtenido de: Catálogo de productos Freyssinet Colombia.

1.3.7.2 EMCOCABLES.

Es una empresa colombiana fundada en el año 1960, por un grupo de industriales colombianos con la ayuda de la compañía norteamericana Paulsen Wire Corporation. Desde sus inicios, EMCOCABLES se centró en la producción de alambre y torones para concretos preesforzados y postensados. Actualmente se encarga del suministro de estos materiales a

empresas en diversos países de América, especialmente Brasil, México, Perú, Chile, y por supuesto Colombia. Sus plantas de fabricación y oficinas se encuentran ubicadas en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca. Puede ser contactada a través del teléfono 376 6030, y por medio de los correos electrónicos: comercial@emcocables.com y emco@emcocables.com. En la figura 20 se observa uno de los productos fabricados por esta empresa. En el apéndice C se muestra el catálogo donde se describen las características de los alambres y torones fabricados (EMCOCABLES, 2021).



Figura 20. Torones enrollados. Obtenido de: Catálogo de productos EMCOCABLES.

1.3.7.3 DYWIDAG.

DYWIDAG es una empresa multinacional con presencia global en más de 95 países. Se centra en la producción de alambres y torones, así como en la fabricación de gatos hidráulicos para los procesos de presforzado (ver figura 21). En Colombia cuentan con oficinas en la ciudad de Medellín, Antioquia, ubicadas en la carrera 43A 8Sur 15 Oficina 513. Puede ser contactada a través del teléfono 403 12 00. El catálogo de productos de esta empresa se muestra en el Apéndice D (DYWIDAG, dsi-Colombia.com, 2021).



Figura 21. Gato hidráulico. Obtenido de: Catálogo de productos DYWIDAG Colombia.

Tanto para la construcción de concreto armado, como de concreto presforzado y postensado se hace necesario emplear concreto y acero, sin embargo, se debe tener presentes las

características que deben cumplir estos materiales para poder ser utilizados en cada caso, además, para los concretos preesforzados y postensados se hace imprescindible el uso de gatos hidráulicos, y para el caso del postensado es de vital importancia añadir el uso de ductos, morteros de inyección y anclajes. Todo este conjunto es requerido para describir los métodos de construcción de cada tipo de concreto.

1.4 Método de construcción con concretos armados, preesforzados y postensados

La construcción con concreto armado se efectúa principalmente en sitio, para la conformación de estructuras monolíticas, pues los distintos elementos que conforman una obra van siendo construidos según el avance del proyecto. En cambio, tanto el concreto preesforzado como el postensado, se utilizan para la fabricación de elementos individuales (vigas, losas, columnas,...), para su posterior transporte y montaje. Esta razón, sumada a las descritas en el ítem anterior, conlleva a que sus métodos de construcción sean diferentes (Alonso, 2015).

1.4.1 Concreto armado.

El método de construcción de concreto armado corresponde a la aplicación de las técnicas convencionales, que se basan en la preparación de encofrados con las formas y dimensiones de cada elemento, la confección y colocación de las armaduras de acero, y finalmente, la preparación y vaciado del concreto. El tiempo de retiro del encofrado depende del tipo de

elemento construido. En la figura 22 se observa el proceso de armado y encofrado de muros reforzados (Torres & Morales, 2011; Jiménez, García, & Morán, 2001).



Figura 22. Armado y encofrado de elementos estructurales para el posterior vaciado de concreto. Cementosinka.com, 2021. Obtenido en: <http://www.cementosinka.com.pe/blog/ventajas-y-desventajas-del-concreto-armado/>

Cuando se construye con concreto armado, es fundamental verificar la posición de las armaduras metálicas antes del vaciado del concreto, para asegurar que se encuentren correctamente posicionadas. Además, el concreto debe ser elaborado de tal manera que permita la correcta distribución de los agregados en toda la sección de los elementos, así como liberarse el aire atrapado mediante equipos vibradores. Los pasos finales consisten en el desencofrado de los elementos y su posterior curado (McCormac & Brown, 2011; Jiménez, García, & Morán, 2001).

1.4.2 Concreto preesforzado y postensado.

La construcción de elementos tanto en concreto preesforzado como postensado requiere el uso de moldes, los cuales deben contar con la resistencia suficiente para poder soportar su propio peso y la presión ejercida por el concreto fresco, sin deformarse más allá de las tolerancias convencionales. Estos pueden disponer de dimensiones determinadas, o pueden ajustarse para variar su tamaño de acuerdo al elemento a construir. En la figura 23 se observa uno de estos moldes (Méndez, 2015; Cabañas, 2008).



Figura 23. Molde de vigas para fabricación con concretos preesforzados y postensados. Méndez, 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 26.

Estos moldes son ubicados en las denominadas mesas de colado, la cual corresponde a superficies totalmente horizontales en las que se apoyan los moldes y que aseguran su ajuste en el suelo. Los moldes son ubicados en la dirección en que se aplicara el sistema para transmitir los esfuerzos mediante los gatos hidráulicos. Además en estas mesas de colado se ubican elementos de fijación que posteriormente son utilizados para ayudar en el tensado del acero. En la figura 24 se observa una mesa de colado al aire libre (Méndez, 2015).



Figura 24. Mesa de colado. Méndez, 2015. Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto. Pág. 28.

Dispuestas las condiciones necesarias, así como los elementos requeridos, dependerá de los diseñadores y constructores la decisión de construir ya sea mediante la técnica del preesforzado o el postensado (Arroyo, 2012).

1.4.2.1 Concreto preesforzado.

Como ya se ha mencionado, en el concreto preesforzado se aplican esfuerzos en el concreto antes de que este haya sido vaciado, para lo cual se debe tensar el acero con los esfuerzos calculados para cada diseño y elemento. Los torones son ajustados en sus extremidades, en un extremo son insertados en el gato hidráulico con el cual se aplica el

esfuerzo, y por el otro extremo es anclado de tal manera que se impida su total movimiento. En la figura 25 se observa la fabricación de un elemento mediante esta técnica (Torres & Morales, 2011; Fernández & Muttoni, 2008).

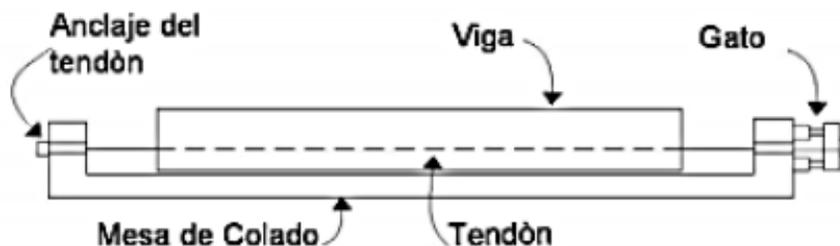


Figura 25. Forma de aplicación de esfuerzos en vigas preesforzadas. Palacios, L., 2018. *Concreto pretensado y postensado*. Pág. 6.

A los esfuerzos aplicados mediante los gatos hidráulicos, se suman las fuerzas de sujeción que aplicadas mediante los soportes ubicados en las mesas de colado, cuyo objetivo es brindar al acero activo (torones o tendones) la dirección calculada en cada diseño. En la figura 26 se observa la continuación de este proceso en la viga anterior (Torres & Morales, 2011; Fernández & Muttoni, 2008).



Figura 26. Aplicación de las fuerzas de presfuerzo y de las fuerzas de soporte en vigas. Palacios, L., 2018. *Concreto pretensado y postensado*. Pág. 6.

Cuando finalmente el acero ha sido tensado hasta el límite buscado, se procede a realizar el vaciado de concreto, sujetos los gatos hidráulicos hasta que el concreto alcance la resistencia óptima. Posteriormente la presión en los gatos, es retirada paulatinamente, debido a esto el acero embebido en el concreto tiende a acortarse, sin embargo, al estar adheridos en el concreto, el presfuerzo aplicado al acero es transferido al concreto comprimiéndolo hasta el grado deseado (Méndez, 2015; Arroyo, 2012).

Una de las grandes ventajas que presenta la construcción de concreto preesforzado, es que la aplicación de los esfuerzos puede realizarse en varios elementos a la vez. Posteriormente el acero es cortado en las separaciones entre cada elemento. En la figura 27 se observa este proceso para el caso de vigas preesforzadas (Méndez, 2015; Cabañas, 2008).

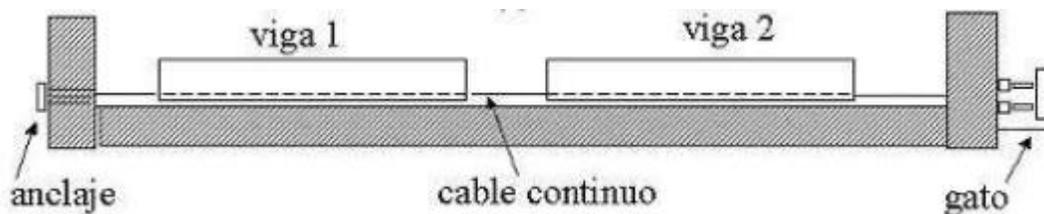


Figura 27. Aplicación de presfuerzos simultáneamente en varias vigas. Palacios, L., 2018. *Concreto pretensado y postensado*. Pág. 6.

1.4.2.1 Concreto postensado.

En el concreto postensado la aplicación de los esfuerzos es realizado después que el concreto ha endurecido y ha obtenido la resistencia suficiente para aplicar esta técnica. Para aplicar los esfuerzos, antes del fraguado se deben ubicar los dos tipos de anclajes antes vistos en elementos a postensar, en un extremo el anclaje activo que se ajustara a los gatos hidráulicos, y

en el otro extremo el anclaje pasivo que quedara embebido en el concreto endurecido. En la figura 28 se observa la representación de este proceso. El acero se encuentra protegido en los ductos descritos en el ítem anterior.

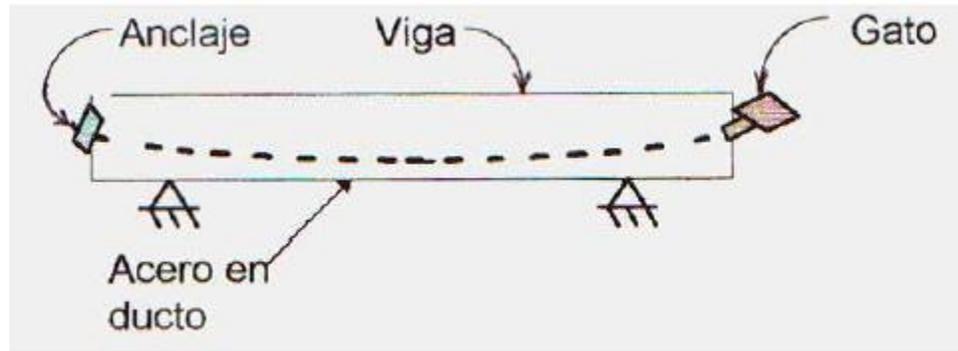


Figura 28. Aplicación del método de postensado en vigas. Meza, L., 2015. *Aspectos fundamentales del concreto presforzado*. Pág. 23.

Las tensiones aplicadas al acero se evalúan permanentemente durante todo el proceso midiendo tanto la presión del gato hidráulico como la elongación que se va produciendo en el acero. Finalizada la aplicación de los esfuerzos, se procede a rellenar los ductos con el mortero de inyección. Para ello se rellena los ductos por un extremo mediante máquinas especiales que van bombeando el mortero desde un extremo hasta el otro. Cuando se endurece el mortero, este queda totalmente unido al acero con la pared interior del ducto. En la figura 29 se observa un ducto después de aplicado el mortero de inyección (Meza, 2015).



Figura 29. Ductos de concreto postensado después del endurecimiento del mortero de inyección. Quintanilla, D., 2016. Ensayos experimentales en vigas de concreto postensado con tendones adheridos y no adheridos. Pág. 16.

Las diferencias entre los métodos de construcción de los concretos armados, preesforzados y postensados, hacen necesario contemplar el uso de elementos adicionales, como mesas de colado, cimbras especiales, elementos de sujeción, entre otros, todos ellos orientados a que cada concreto cumpla con los requerimientos para los cuales es diseñado y fabricado.

Capítulo 2. Propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado fresco

Dentro del proceso para garantizar la calidad de cualquier tipo de concreto, sea este armado, preesforzado, o postensado, se hace necesario la realización de ensayos que permitan verificar sus propiedades en estado fresco, entre ellas: el asentamiento, la temperatura, la densidad, y el contenido de aire. En este capítulo se abordan este conjunto de propiedades (Durán & Peña, 2018).

2.1 Asentamiento

El asentamiento es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto. La consistencia se define como la menor o mayor facilidad que tiene el concreto en su estado fresco para deformarse, siendo una propiedad directamente relacionada con la cantidad de agua en la mezcla, además de la granulometría de los agregados (Jiménez, García, & Morán, 2001).

La consistencia del concreto es usualmente juzgada de forma visual, debido a que actualmente no existe un ensayo que mida esta propiedad de forma directa. Con la determinación del asentamiento, se busca determinar la fluidez de la mezcla, cuyo valor se correlaciona en la experiencia empírica que se tiene sobre este valor, donde se ha comprobado que entre mayor

asentamiento, mayor fluidez posee el concreto, sin embargo, el valor del asentamiento debe encontrarse en el rango previsto en el diseño de mezcla para garantizar que el concreto cumpla en sus demás propiedades, especialmente la resistencia a la compresión (Jiménez, García, & Morán, 2001).

El valor del asentamiento se determina mediante la utilización del cono de Abrams, el cual es un molde troncocónico de 30 cm de altura que se rellena con el concreto objeto de ensayo. El procedimiento de ensayo se encuentra ilustrado en la NTC-396 *Ensayo de asentamiento del concreto* (NTC-396, 2015).

En esta norma se describe que el concreto debe ser adicionado en el cono de Abrams, en tres capas de igual volumen, cada una de estas capas debe ser apisonada mediante una barra de acero de aproximadamente 60 cm de longitud y diámetro aproximado de 16 mm ($\frac{1}{2}$ in). Finalizado el apisonado, se enrasa la parte superior del cono con la barra, y se retira el cono de forma totalmente vertical durante 5 ± 2 segundos. Después se mide la disminución de altura del concreto respecto a la altura del molde empleando la barra de acero y una cinta métrica, como se observa en la figura 30 (NTC-396, 2015; Jiménez, García, & Morán, 2001).

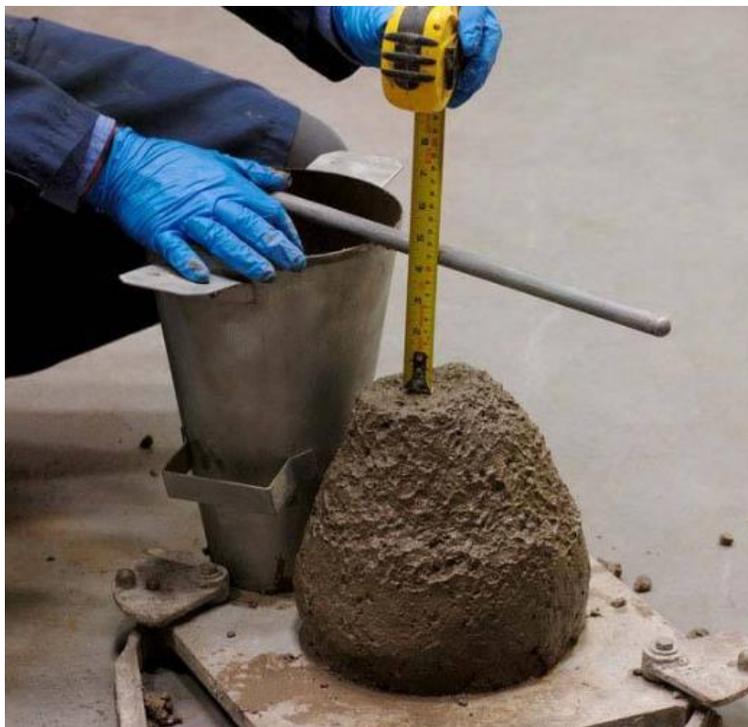


Figura 30. Medición del asentamiento del concreto mediante el ensayo con el cono de Abrams. 360concreto.com, 2021. Obtenido en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto>

El asentamiento representa la primera diferencia entre los concretos considerados en este trabajo, mientras que para el concreto armado, se recomienda un asentamiento en un rango promedio comprendido entre 4 a 6 in (100 a 150 mm), en los concretos tanto preesforzados como postensados, se recomienda emplear asentamientos superiores a las 8 in (200 mm). Esto se debe principalmente a que los elementos estructurales fabricados con concretos preesforzados y postensados tienen grandes dimensiones, por lo que su armado de acero, al ser más congestionado, requiere de un concreto de mayor fluidez para garantizar la correcta distribución de los agregados dentro de las secciones del elemento (Jiménez, García, & Morán, 2001; Jimenez & Sánchez, 1994).

2.2 Temperatura

La temperatura del concreto es de suma importancia ya que ésta controla las reacciones químicas que se producen en la mezcla, y por tanto modifica las propiedades del concreto en su estado fresco, afectando además las propiedades en su estado endurecido, debido a que temperaturas elevadas tienden a generar agrietamientos y la aparición de fisuras (McCormac & Brown, 2011).

La medición de la temperatura del concreto se realiza de acuerdo al procedimiento descrito en la NTC 3357, y consiste básicamente en utilizar termómetros de vidrio o corazas, los cuales deben ser introducidos en la muestra de concreto por un tiempo mínimo de dos minutos o hasta que se obtenga una lectura estable. Actualmente existen termómetros de alta precisión que facilitan este proceso, como se observa en la figura 31 (NTC-3357, 2013).



Figura 31. Obtención de la temperatura de una muestra de concreto. Labmexco.com, 2021.
Obtenido en: <http://labmexco.com/galeria.html>

En la NTC-3318 *Concretos, Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco de cemento hidráulico*, se establece que el concreto fresco al momento del vaciado debe poseer una temperatura máxima de 32°C. Algunos autores recomiendan un máximo de 40°C. En cualquier caso, el ajustar la mezcla para que no sobrepase el límite máximo de temperatura, está encaminada a que el concreto no sobrepase temperaturas superiores a los 70°C después del vaciado. Este criterio es aceptado para los concretos armados, preesforzados y postensados (NTC-3318, 2008).

Los excesos de temperatura en el concreto suelen controlarse mediante la adición de aditivos químicos, especialmente los del tipo retardantes, así mismo, en plantas de producción masiva se emplean métodos de refrigeración, donde se aplica aire helado dentro de las ollas revolventoras mediante un sistema especial interior que distribuye el aire uniformemente. Cuando no se cuenta con este tipo de tecnologías, y por razones de diseño, no es conveniente aumentar la adición de aditivos, se emplea tradicionalmente hielo, el cual es adicionado directamente en la mezcla produciendo una disminución significativa de la temperatura de la mezcla (Concretos El Palmar, 2020).

2.3 Densidad

La densidad, o también denominada como peso volumétrico o masa unitaria, indica la relación entre la masa del concreto y el volumen absoluto de esa masa. Es una propiedad de suma importancia, ya que permite controlar la calidad del concreto, y está asociada a los

agregados que componen la mezcla de concreto, el contenido de aire, de agua, y las proporciones en que sean adicionados los elementos constituyentes del concreto, especialmente el cemento (Méndez, 2015).

La densidad puede ser obtenida en el concreto fresco mediante la NTC-1926 *Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto*. Para realizar este ensayo se debe contar con un molde cilíndrico cuyo volumen no supere los 11000 cm³, este es llenado con el concreto fresco en tres capas, de 1/3 del volumen del molde, las cuales son apisonadas mediante 25 golpes con una varilla igual a la empleada en el ensayo de asentamiento. Finalizado el apisonado de la última capa, se enrasa la superficie del molde con la varilla, y se limpia el molde totalmente en su parte externa. La parte superior del molde es recubierta con un material impermeable, generalmente acrílico, para evitar pérdida del aire contenido en el concreto. Finalmente el molde es pesado y se obtiene la densidad como la relación masa concreto/volumen del molde. En la figura 32 se observa un molde relleno de concreto para determinar su densidad (NTC-1926, 2013).



Figura 32. Obtención de la densidad de acuerdo al procedimiento descrito en la NTC-1926. ICONTEC, 2013. Obtenido de: <https://www.facebook.com/watch/?v=257746328826246>

A pesar de los muchos factores que pueden afectar la densidad, generalmente las variaciones que se presentan de esta propiedad en el concreto son relativamente pequeñas, siendo los valores comunes los comprendidos entre los 2300 y los 2500 kg/m³. Este es el tipo de concreto comúnmente empleado en las construcciones monolíticas de concreto armado (Jiménez, García, & Morán, 2001).

Para el caso de concretos preesforzados y postensados, se requieren concretos con densidades superiores. Los valores comunes oscilan entre los 3000 y los 3500 kg/m³. Para obtener esta mayor densidad, se emplea un agregado especial, denominado como barita o baritina, el cual está constituido principalmente de bario (Ba). Este material se encuentra en la naturaleza en masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas. En la figura 33 se observa el aspecto común de la barita empleada en el concreto (Miñano & Patiño, 2015).



Figura 33. Barita triturada para su uso en el concreto. Brasilminas.com, 2021. Obtenido en: <https://brasilminas.net/comprar-barita-industrial/>

2.4 Contenido de aire

El aire está presente en todos los tipos de concreto, tanto armados como preesforzados y postensados, localizado en los poros no saturables de los agregados y formando burbujas entre los componentes del concreto, bien sea porque es atrapado durante el mezclado del concreto o al ser incorporado por medio del uso de agentes inclusores de aire (Argos, 2020).

Los inclusores de aire corresponden a líquidos que se adicionan al concreto durante el mezclado, añadiéndose al agua, de esta forma se logra crear en el concreto un sistema de micro burbujas de aire que actúan como lubricante entre las partículas componentes del concreto aumentando notablemente su trabajabilidad. Es común emplear este tipo de líquidos en concretos que estarán expuestos a bajas temperaturas, durante los ciclos de congelamiento y deshielo, así como los expuestos al medio ambiente marino o contacto con agua de mar (Probacons S.A., 2017).

Tanto para los concretos armados, como preesforzados y postensados, se acepta que el contenido de aire, sin empleo de agentes inclusores, este comprendido entre el 1% y el 3% del volumen de la mezcla, mientras que un concreto con inclusores de aire puede obtener un contenido de aire que varía entre el 4% y el 8% (Argos, 2020).

Para la obtención del contenido de aire en la mezcla asfáltica en su estado fresco, se pueden emplear, ya sea la NTC-1028 *Determinación del contenido de aire en concreto fresco, método volumétrico*, o la NTC-1032 *Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión* (NTC-1032, 2013; NTC-1028, 1994).

Por el método volumétrico, descrito en la NTC-1028, el contenido de aire debe ser calculado empleando un recipiente metálico, como el observado en la figura 34, el cual debe ser rellenado con concreto, el cual se va apisonando por medio de una varilla de compactación de mínimo 30 cm de largo y 16 mm de diámetro, se deben formar tres capas de igual volumen durante el proceso, cada una de las cuales es apisonada 25 veces. Terminado el apisonado de las capas se enrasa la superficie con ayuda de la varilla (NTC-1028, 1994).



Figura 34. Equipo necesario para obtener el contenido de aire en el concreto de acuerdo a la NTC-1028. Runco.com, 2021. Obtenido en: <http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf>

Enrasada la superficie del recipiente, se coloca el embudo y se añade agua hasta el nivel correspondiente a la marca cero, se enrosca la tapa superior, y se agita todo el recipiente invirtiéndolo las veces necesarias para que el aire atrapado en el concreto sea liberado, lo cual se observa con la formación de burbujas en el embudo. Luego se deja reposar el recipiente hasta que el aire ascienda. El proceso se repite hasta que no se observen más burbujas en la columna de agua. Finalmente, se retira la tapa superior, se añade alcohol isopropílico, y se toman las lecturas correspondientes en el nivel del embudo. El porcentaje de aire se determina relacionando la cantidad de alcohol usado (NTC-1028, 1994).

En la actualidad el método volumétrico es poco utilizado, ya que el método de presión descrito en la NTC-1032, presenta mayor grado de precisión, y se puede realizar mediante un procedimiento más simplificado, el cual consiste en emplear un molde como el de la figura 35, y conformar capas y apisonarlas de igual forma al descrito en el método anterior. Finalmente se sella el molde y se aplica presión, el contenido de aire se determina como la diferencia en un nivel de agua, o mediante un dial medidor de presión (NTC-1032, 2013).



Figura 35. Equipo necesario para obtener el contenido de aire en el concreto de acuerdo a la NTC-1032. Runco.com, 2021. Obtenido en: <http://www.runco.com.ar/sitio/IMG/pdf/Hormigon.pdf>

Capítulo 3. Propiedades de los concretos: armados, preesforzados y postensados, en su estado endurecido

Al igual que en el concreto fresco, en el concreto endurecido es necesario calcular las propiedades que indiquen su correcta calidad, y si se encuentran en los valores necesarios para ser utilizados en obra. Entre las propiedades más importantes del concreto en su estado endurecido se encuentran: resistencia a la compresión, resistencia a la tensión o tracción, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad estático y relación de Poisson. En este capítulo se abordan este conjunto de propiedades (Durán & Peña, 2018).

3.1 Resistencia a la compresión

Se considera a la resistencia a la compresión como la característica mecánica más importante del concreto, ya que indica la máxima carga axial que puede soportar por una determinada unidad de área, expresándose comúnmente como esfuerzo (kg/cm^2 , MPa, entre otras unidades). Para obtener el valor de esta propiedad es necesario aplicar la NTC-673 *Concretos, ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto* (NTC-673, 2015).

En este ensayo se debe aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,05 \text{ MPa/s}$. Los cilindros deben tener alguna de las siguientes dimensiones: 4" x 8" (100x200 mm), o 6" x 12"

(150x300 mm). La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen. En la figura 36 se observa la realización de este ensayo (NTC-673, 2015).



Figura 36. Obtención de la carga axial máxima de compresión en cilindros de concreto de acuerdo a la NTC-1032. Ibertest.es.com, 2021. Obtenido en: <https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayo-para-materiales-de-alta-resistencia-la-compresion-serie-meh/>

Como se mencionó en el capítulo 2, la resistencia a compresión es la principal propiedad para caracterizar el uso de concretos armados, preesforzados y postensados. En los concretos armados es recomendado y aceptable el uso de un concreto con una resistencia a compresión que oscile entre 21 y 28 MPa. Por su parte, para los concretos preesforzados y postensados se necesitan resistencias a compresión mucho mayores, siendo común valores entre los 35 y 41 MPa, los denominados: concretos de alta resistencia (McCormac & Brown, 2011).

3.2 Resistencia a la tensión

Es de total aceptación que la resistencia a la tensión del concreto es mucho menor a la de compresión, de ahí la necesidad de la inclusión de acero. Generalmente se suele estimar el valor de la resistencia a la tensión considerando entre el 8 y el 12% del valor de la resistencia a compresión, o también como 1,33 a 1,99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión (McCormac & Brown, 2011; Jiménez, García, & Morán, 2001).

Para obtener el valor exacto de resistencia a la tensión del concreto, se debe aplicar el procedimiento descrito en la NTC-722 *Concretos, método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto*. Se deben aplicar, según esta norma, probetas cilíndricas similares a las del ensayo de resistencia a compresión, las cuales son sometidas a una velocidad de carga constante comprendida entre 50 y 100 kN/min hasta la rotura de la probeta. La principal diferencia entre los dos ensayos, compresión y tensión, es que en el primero la carga es aplicada de forma vertical en la probeta, mientras en el segundo la probeta debe ser colocada horizontalmente para aplicar la carga, como se observa en la figura 37 (NTC-722, 2015).

Dada la relación que existe entre las resistencias a compresión y a tensión, se evidencia que los concretos para preesforzado y postensado presentan mayor resistencia a la tensión que el concreto armado. La resistencia a tensión en el concreto armado oscila entre los 6 y los 8 MPa,

mientras que los concretos preesforzados y postensados se obtienen valores superiores a 10 MPa (Méndez, 2015) (Jiménez, García, & Morán, 2001).



Figura 37. Obtención de la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto de acuerdo a la NTC-722. Masqueingeniería.com, 2021. Obtenido de: <https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/>

3.3 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tensión del concreto, denominada como Módulo de Rotura (MR), se expresa en unidades de esfuerzo, al igual que las resistencias anteriores. A diferencia del procedimiento anterior, para obtener el módulo de rotura se deben emplear vigas prismáticas de 6"x6" (150x150 mm) se sección transversal, con una longitud de mínimo tres veces el espesor, siendo la medida usual 50 cm. El procedimiento de ensayo se describe en la NTC-2871 *Método de ensayo para determinar la resistencia del*

concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). En la figura 38 se observa una viga antes de ser ensayada a flexión (NTC-2871, 2015).



Figura 38. Determinación de la resistencia del concreto a la flexión de acuerdo a la NTC-2871. Instron.com.ar, 2021. Obtenido de: <https://www.instron.com.ar/es-ar/testing-solutions/by-test-type/flexure/astm-c78>

Como ocurre con la resistencia a la tensión, la resistencia a la flexión esta correlacionada con la resistencia a la compresión. Se estima que el módulo de rotura es cerca del 10 al 20% de la resistencia a compresión, siendo 15% el porcentaje comúnmente utilizado, por tanto, se sobreentiende que esta propiedad presenta mayores valores en los concretos preesforzados y postensados. La importancia del módulo de rotura radica es la estimación de las posibles grietas y deflexiones que pueden ocurrir en el concreto, especialmente en elementos estructurales como las vigas. En la actualidad el módulo de rotura es de poco interés en el cálculo estructural de edificaciones, siendo una propiedad asociada y de gran importancia en el diseño de pavimentos rígidos (Jiménez, García, & Morán, 2001; McCormac & Brown, 2011).

3.4 Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson

El módulo de elasticidad indica la relación entre el esfuerzo y la correspondiente deformación por debajo del límite de proporcionalidad, mientras que la relación de Poisson expresa el valor absoluto obtenido entre la deformación transversal y la deformación axial resultante del esfuerzo axial uniformemente distribuido por debajo del límite de proporcionalidad del material. Ambos valores se utilizan en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzados para establecer las cantidades de acero de refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones (NTC-4025, 2015).

Estas propiedades pueden ser obtenidas aplicando el procedimiento descrito en la NTC-4025 *Concretos, método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poisson en concreto a compresión*. Se debe emplear un compresómetro y un extensómetro, o un dispositivo que actúe como una combinación de ambos, el cual es instalado en probetas cilíndricas iguales a las usadas para obtener la resistencia a compresión. El compresómetro y el extensómetro se encargan de medir las deformaciones de la probeta de concreto mientras esta es sometida a esfuerzos de compresión. En la figura 39 se observa la realización de este tipo de ensayo (NTC-4025, 2015).

El módulo de elasticidad para concreto armado, oscila entre los 290000 a los 360000 kg/cm^2 , mientras que para concretos preesforzados y postensados, el valor de esta propiedad ronda entre los 310000 a los 450000 kg/cm^2 . Por su parte, la relación de Poisson presenta valores

similares para los tres tipos de concreto, siendo los valores comunes los comprendidos entre 0,15 a 0,20 (Ramírez , 2021).

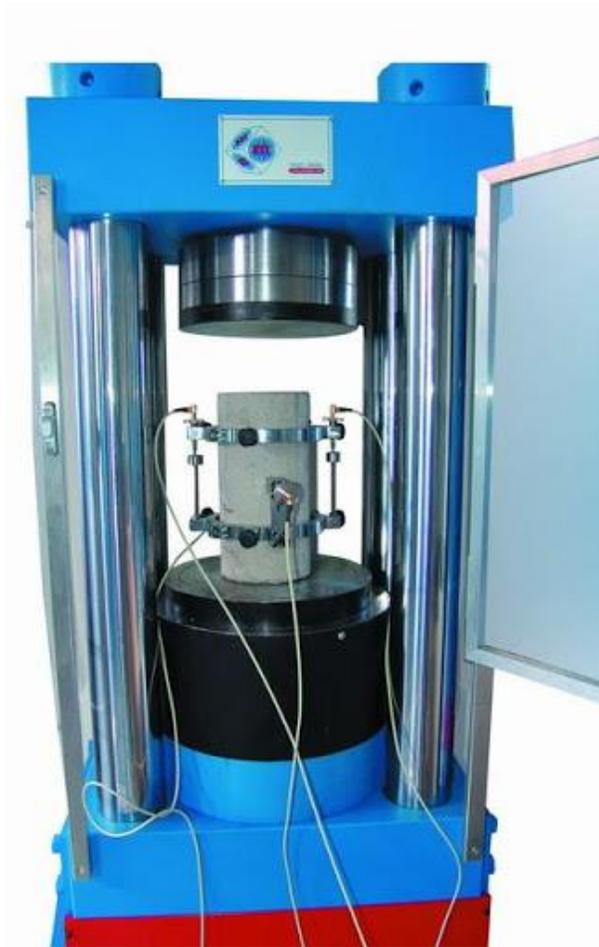


Figura 39. Obtención del módulo de elasticidad y la relación de Poisson mediante un compresómetro-expansómetro para cilindros de concretos de acuerdo a la NTC-4025. Proetisa, 2021. Obtenido de: <http://proetisa.com/proetisa-productos.php?ID=151>

Capítulo 4. Aplicaciones de los concretos: preesforzados y postensados

Con el concreto armado se inició la construcción de las distintas estructuras que paulatinamente fueron moldeando la configuración de ciudades enteras, y agilizando los procesos de interconexión entre ellas. Con el tiempo, fue necesario desarrollar métodos como el preesforzado y el postensado, para facilitar la construcción de obras, que por su magnitud, resultaban muy difíciles de ejecutar con el concreto armado (Jimenez & Sánchez, 1994).

El concreto armado permite la configuración de una amplia variada de configuraciones en todo tipo de construcción, con la posibilidad de adecuar diversas configuraciones geométricas según los requerimientos de cada proyecto. Por el contrario, con el concreto preesforzado y postensado, las configuraciones geométricas son más limitadas. En este capítulo se abordan las secciones más empleadas para la construcción con concreto preesforzado y postensado, los tipos de obras donde suelen ser empleadas, y las ventajas y desventajas que representa el uso de estas técnicas (McCormac & Brown, 2011).

4.1 Secciones más empleadas con concreto preesforzado y postensado

Las secciones o formas más usadas por los diseñadores de estructuras preesforzadas y postensadas, son las siguientes:

4.1.1 Sección cuadrada y rectangular.

Corresponde al tipo de sección de mayor facilidad de fabricación, siendo común su empleo como vigas, columnas y pilotes. En la figura 40 se observa un elemento estructural con este tipo de sección. El acero de presfuerzo en este tipo secciones suele ubicarse en los 2 tercios inferiores (Villatoro, 2005; McCormac & Brown, 2011).

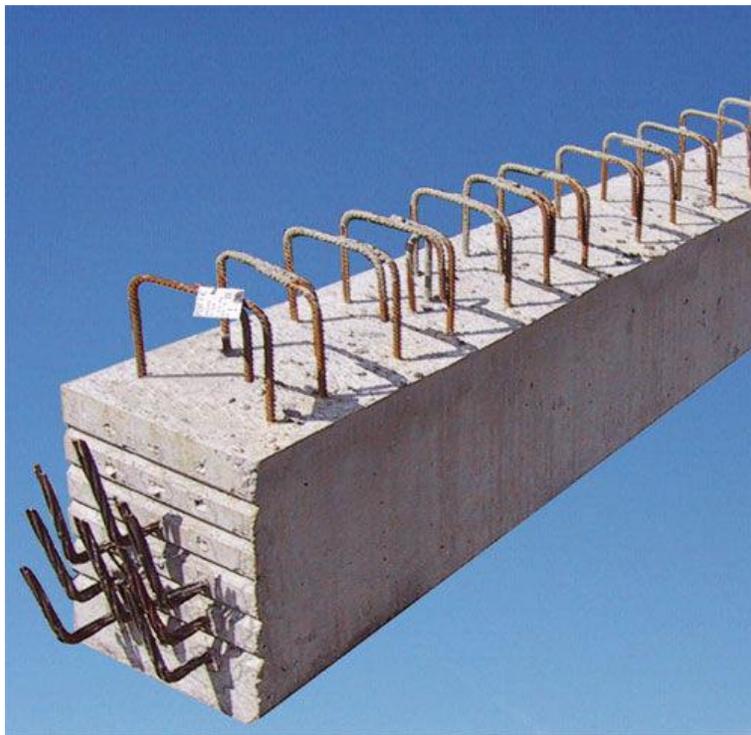


Figura 40. Viga de sección rectangular. Archiexpo, 2021. Obtenido en: <https://www.archiexpo.es/prod/seac/product-59282-816636.html>

4.1.2 Sección I simétrica.

Las secciones en I, son empleadas generalmente como vigas, y su utilización es debida principalmente a que permiten la formación de mayores momentos de inercia, comparadas con

las secciones rectangulares y cuadradas, aunque presentan mayores dificultades para su fabricación, especialmente durante el vaciado del concreto. En la figura 41 se observa este tipo de secciones (McCormac & Brown, 2011; Villatoro, 2005).



Figura 41. Sección I simétrica común para concreto preesforzado y postensado. Precon.com, 2021. Obtenido en: <https://precon.com.gt/producto-especial/infraestructura-vial/viga-pretensada/>

4.1.3 Sección I asimétrica.

La I asimétricas presentan las mismas ventajas que las simétricas, sin embargo, suelen ser empleadas para soportar losas, que en su mayoría son construidas en sitio. En la figura 42 se observa este tipo de secciones (McCormac & Brown, 2011; Villatoro, 2005).



Figura 42. Sección I asimétrica común para concreto preesforzado y postensado. Precon.com, 2021. Obtenido en: <https://precon.com.gt/producto-especial/infraestructura-vial/viga-pretensada/>

4.1.4 Sección en T.

Este tipo de secciones son frecuentemente usadas para la construcción de edificios, siendo la sección presforzada más utilizada en países como Estados Unidos. Su difusión se debe a que este tipo de secciones proporcionan tanto las vigas como las losas del sistema de techo o de entrepiso. Suele fabricarse de dos formas: T simple, y doble T, este tipo de secciones se muestra en las figuras 43 y 44, respectivamente (McCormac & Brown, 2011; Villatoro, 2005).

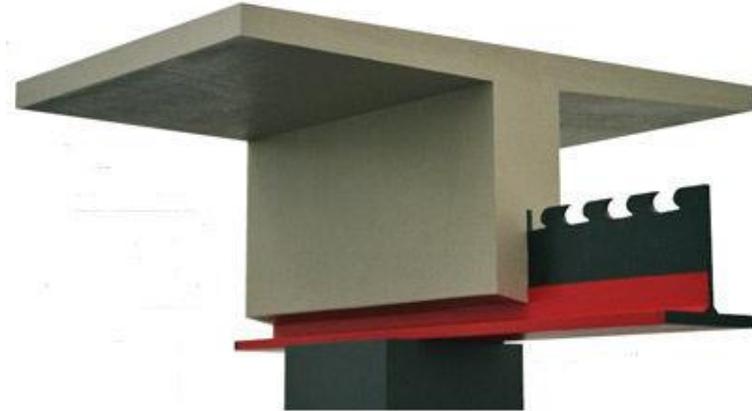


Figura 43. Sección en T simple para concreto preesforzado y postensado. Archiexpo.es, 2021. Obtenido en: <https://www.archiexpo.es/prod/arcelormittal-long/product-55693-1131629.html>



Figura 44. Sección en doble T para concreto preesforzado y postensado. Construproductos.com, 2021. Obtenido en: <https://construproductos.com/producto.php?idprod=1939>

4.1.5 Sección en T invertida.

La sección de T invertida, se emplean principalmente para soportar losas o placas, las cuales son, después de instalada la T invertida, construidas en sitio. En la figura 45 se observa este tipo de sección (McCormac & Brown, 2011; Villatoro, 2005).



Figura 45. Sección en T invertida para concreto preesforzado y postensado. Construproduktos.com, 2021. Obtenido en: <https://construproduktos.com/producto.php?idprod=1937>

4.1.6 Sección en caja.

Este tipo de sección también suele ser denominada como tubular, y es empleada principalmente en vigas, representa ventajas similares a las de sección en I, pero con un mayor ahorro de concreto, sin embargo, resultan de mayor dificultad para fabricarse, debido al uso de cimbras especiales. En la figura 46 se observa la distribución común del acero de presfuerzo en este tipo de sección

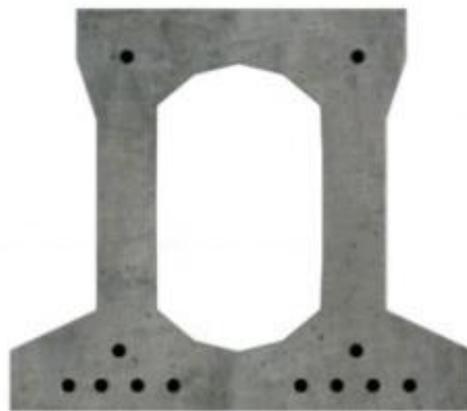


Figura 46. Sección en caja para concreto preesforzado y postensado. McCormac & Brown, 2011. *Diseño de concreto reforzado.* Pág. 568.

4.2 Ventajas y desventajas del concreto preesforzado y postensado

En la actualidad el concreto armado es el material de construcción más empleado, dadas las ventajas que representa su utilización, entre ellas, una adecuada resistencia a la compresión, gran resistencia al fuego, requiere poco mantenimiento, tiene una larga vida de servicio, puede acoplarse a una gran variedad de formas (diseños arquitectónicos), es económico, y existe una experiencia tanto empírica como especializada para construcciones de este tipo (Aguilar, 2015).

Pese a lo anterior, el concreto armado presenta ciertas desventajas, entre las más importantes se encuentran: requerir de un número considerable de cimbras o encofrados para su construcción en sitio, así como de estructuras provisionales (principalmente puntales) hasta que los elementos estructurales tengan la suficiente resistencia para sostenerse a sí mismos, además existen grandes variaciones entre las proporciones de las mezclas de concreto, lo que produce diferencias significativas en sus propiedades finales. Otra desventaja, y quizás la más importante, está relacionada con la poca resistencia por unidad de volumen que ofrece el concreto armado, es decir, su resistencia a la compresión. Este aspecto es de vital importancia sobretodo en grandes estructuras, pues con el concreto armado sería necesario diseñar elementos excesivamente grandes que resultarían técnica y económicamente inviables de construir (Aguilar, 2015).

Es por este tipo de situaciones o de demandas de infraestructura, que los concretos preesforzados y postensados han adquirido importancia, no obstante, al igual que el concreto

armado, presentan ventajas y desventajas. A continuación se aborda este aspecto (Aguilar, 2015; Jimenez & Sánchez, 1994):

4.2.1 Ventajas del concreto preesforzado y postensado.

En el aspecto estructural, los concretos preesforzados y postensados permiten que toda la sección de un elemento estructural trabaje íntegramente a compresión, con lo cual se garantiza que no aparezcan grietas o fisuras, y a la vez ofrece una mejor protección del acero contra la corrosión. Se logran grandes momentos de inercia, lo que hace más resistentes a los elementos a las deflexiones, se estima que una reducción de hasta un 75% de las deformaciones, en comparación al concreto armado (Jimenez & Sánchez, 1994).

En cuanto a los materiales, se logra una reducción del uso del concreto entre un 15 al 30% comparado con el concreto armado, y en el caso del acero, la reducción oscila entre el 60 al 80%, debido al elevado límite elástico de los aceros empleados (Villatoro, 2005).

El uso tanto de concreto preesforzado y postensado, resulta más económico que el concreto armado para las siguientes situaciones: en puentes cuyo claro o luz es superior a 25 m, o bien en aquellos puentes donde se requiera repetir varias veces un tipo de pieza; en edificios con cubiertas para grandes claros o voladizos, especialmente los tipo rascacielos; en grandes tuberías de conducción, en construcciones de tipo prefabricado. De esta manera se logra disminuir la

cantidad de concreto y acero empleado para una misma sollicitación, además de brindarse mayor rapidez en la construcción y disminuir el peso de la estructura, por lo que se requiere de menor cimentación (Jimenez & Sánchez, 1994).

Otras ventajas de estos tipos de concretos, se relacionan con el mayor control de calidad de los materiales, reducción del personal requerido en obra, menor mantenimiento, alta resistencias a las inclemencias climáticas y naturales, posibilidad de desmontar y reubicar los elementos, y mayor cumplimiento en los cronogramas de obra (Ponce, 2016).

4.2.2 Desventajas del concreto preesforzado y postensado.

Las desventajas de los concretos preesforzados y postensado están mayormente ligadas al aspecto económico, pues para la fabricación con este tipo de materiales se requiere de personal especializado y mayor supervisión técnica. En el caso de estructuras pequeñas o de poca envergadura, el uso de mano de obra especializada, sumado al empleo de anclajes y equipos especiales de tensado, elevan el precio unitario de los elementos a construir (Jimenez & Sánchez, 1994).

Se debe sumar a lo anterior el uso de maquinaria especializada, las dificultades para el montaje de los elementos presforzados, así como que existe una menor flexibilidad en los

diseños con estos tipos de materiales, pues las piezas o elementos suelen ser repetitivos en cada proyecto (Villatoro, 2005).

El concreto preesforzado y postensado se caracteriza por ser mucho más liviano que el concreto armado, esto puede representar una ventaja en el caso de estructuras como edificios y puentes, sin embargo, en el caso de estructuras como presas y muros de contención, esta falta de peso ocasiona una reducción en los empujes necesarios para contrarrestar los movimientos del terreno (Jimenez & Sánchez, 1994).

4.2.3 Preesforzado vs postensado.

La selección de la técnica de presfuerzo a emplear sigue suscitando dudas en los especialistas en el diseño y construcción con este tipo de materiales, sin embargo, existen factores o situaciones que permiten facilitar la selección de uno u otro método. El principal de ellos, es que el concreto postensado puede ser efectuado en la misma obra en construcción, mientras que el concreto preesforzado o pretensado debe ser fabricado únicamente en plantas destinadas para tal fin, por lo que el concreto postensado brindaría mayores ahorros al no requerir el traslado de los elementos al sitio de construcción. Sin embargo, cuando se requiere la producción en serie de un mismo tipo de elemento, como suele ocurrir en el caso de puentes de gran longitud, el concreto pretensado ofrece mayores ventajas al facilitar las labores de curado y supervisión de los elementos, además que pueden ser producidos en mayor número. De forma

general, las ventajas económicas que cada método representen para cada proyecto, terminan siendo el factor decisivo para su selección (Jimenez & Sánchez, 1994; Cabañas, 2008):

4.3 Obras con mayor uso del concreto preesforzado y postensado

El uso del concreto preesforzado y postensado suele estar asociado con estructuras sometidas a grandes cargas y con grandes separaciones entre apoyos, en los que se hace necesario aplicar este tipo de técnicas para garantizar una disminución en la cantidad de materiales utilizados y reducir las dimensiones de los elementos estructurales, pues estos, empleando concreto armado, tendrían dimensiones mayores (Torres & Morales, 2011).

Entre las aplicaciones más comunes del concreto preesforzado y postensado se encuentran: puentes, estadios, edificios, naves industriales, entre otros. A continuación se ilustran algunos ejemplos de aplicaciones destacadas con este tipo de material (Parra, 2014).

4.3.1 Puentes.

Los alemanes fueron los primeros en emplear concreto preesforzado para la construcción de puentes durante la Segunda Guerra Mundial. Uno de los puentes más importantes construidos en esa época fue el ubicado en la región de Oelde, Alemania, en un estratégico lugar para los militares nazis. El puente tiene una luz de 31 m, y sea conservado hasta en la actualidad. Puede observarse en la figura 47 (Jimenez & Sánchez, 1994).



Figura 47. Puente de Oelde en Alemania. Victoryepes.blogs, 2008. Obtenido en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/puente-en-oelde/>

En la actualidad los puentes son la mayor muestra de las ventajas de los concretos preesforzados y postensados, ya que han permitido aumentar las separaciones entre apoyos, adaptándose a las condiciones del terreno. Los puentes presforzados más comunes son los tipos viga, en los cuales se emplea una sección, como las ilustradas anteriormente, en toda la longitud del puente. En las figura 48 y 49 se observan puentes construidos con secciones en caja y en I simétrica, respectivamente (Torres & Morales, 2011; Jimenez & Sánchez, 1994).



Figura 48. Puente con sección en caja presforzada en la región de Guangzhou, China. Wowjoint.com, 2015. Obtenido en: <https://wowjoint.com/index.php?c=article&id=2311>



Figura 49. Puente con sección en I Simétrica presforzada en el estado de Toluca, México. Freyssinet.com, 2021. Obtenido en: http://www.freyssinet.com/freyssinet/wfreyssinet_mx.nsf

4.3.2 Estadios y graderías.

Al igual que en los puentes, se ha empleado concreto presforzado, principalmente el preesforzado o pretensado, para la construcción de estadios, sobre todo los destinados para fútbol. Para ello se producen en serie los distintos elementos preesforzados que componen la estructura, losas, vigas, apoyos, entre otros, los cuales son ensamblados en el sitio de obra. En la figura 50 se observa la construcción de un estadio con este tipo de elementos (Torres & Morales, 2011; Jimenez & Sánchez, 1994).



Figura 50. Construcción de un estadio en concreto presforzado. Plataformaarquitectura.cl., 2021. Obtenido en: <https://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/9944/graderias-y-estadios-prefabricados-sistema-tensocret/92065>

4.3.3 Edificios.

Los edificios representan las estructuras donde mayor interacción de personas y actividades se dan. Con el concreto presforzado, se han construido gran cantidad de edificios donde los elementos son preesforzados o postensados previamente para su posterior montaje en obra. Actualmente se han construido cines, teatros, hospitales, almacenes, rascacielos, entre otros, empleado este tipo de material. En la figura 51 se observa un edificio en construcción con elementos postensados en la misma obra (Torres & Morales, 2011; Jimenez & Sánchez, 1994).



Figura 51. Construcción de un edificio con concreto postensado. Tecnyconta.es., 2021. Obtenido en: <https://www.tecnyconta.es/pilares-prefabricados/>

4.3.4 Naves industriales.

Las naves industriales son un tipo de edificio destinado a la producción y/o almacenamiento de productos industriales. Estas se caracterizan por ser de un solo piso con una

altura considerable, generalmente superior a los 4 metros. En la figura 52 se observa una nave industrial construida con elementos presforzados (Torres & Morales, 2011; Jimenez & Sánchez, 1994).



Figura 52. Construcción de una nave industrial. Paxinasgalegas.es, 2021. Obtenido en: <https://www.paxinasgalegas.es/ferrocar-101417em.html>

Conclusiones

El desarrollo de esta monografía permitió concluir lo siguiente:

Al detallar las generalidades y normatividad de los concretos armados, preesforzados y postensados, se identificó que la principal diferencia entre ellos, es el estado de esfuerzos que se crea en los elementos estructurales, ya que en el concreto armado, el concreto y el acero actúan por separado resistiendo la compresión y la tensión, respectivamente; mientras que en el concreto preesforzado y postensado, se aplican tensiones previas que permiten que todo el elemento estructural trabaje a compresión, y se logre un balance con las cargas externas a las cuales estará expuesta en su puesta en servicio. En cuanto al acero, se presentan diferencias entre los tres tipos de concreto, mientras en el concreto armado se puede emplear el acero convencional cuya resistencia a la fluencia oscila entre los 300 y los 500 MPa, en los concretos preesforzados y postensados, el acero debe poseer resistencias a la fluencia de entre 1725 a 1860 MPa. El acero de mayor uso en estos tipos de concretos, es el denominado como torón, y debe cumplir con los requerimientos en cuanto a su resistencia a la rotura, límite de fluencia, y la relación entre el diámetro del alambre central y los alambres externos.

Con la identificación de las propiedades de los concretos en estado fresco, se verificó que presentan iguales requerimientos en los tres tipos de concretos, en el caso de la temperatura y el contenido de aire, mientras que se presentan diferencias en cuanto al asentamiento y la densidad. Mientras en el concreto armado se requiere un asentamiento de entre 4 a 6 in (100 a 150 mm), en

los concretos preesforzados y postensados, este valor debe ser superior a 8 in (200 mm), en cuanto a la densidad, en los concretos armados los valores promedios oscilan entre los 2300 a 2500 kg/m³, mientras que para los concretos preesforzados y postensados los valores oscilan entre 3000 a 3500 kg/m³. En los tres tipos de concretos se deben aplicar las mismas Normas Técnicas Colombianas.

La determinación de las propiedades de los concretos en estado endurecido, permitió identificar que existe una clara superioridad de los concretos preesforzados y postensados en lo concerniente a la resistencia a la compresión, pues en estos los valores comunes se encuentran entre los 35 a 41 MPa, mientras que en el concreto armado oscilan entre los 21 y los 28 MPa. Así mismo, los concretos preesforzados y postensados, presentan mayores valores para la resistencia a la tensión, a la flexión, y en el módulo de elasticidad. La única propiedad similar para los tres tipos de concreto es la relación de poissón con valores entre 0,15 a 0,20.

Finalmente, con la ilustración de las aplicaciones, se demostró que el concreto armado puede ser empleado de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, mientras que para los concretos preesforzados y postensados se hace necesario utilizar configuraciones geométricas o secciones determinadas: cuadrada, rectangular, en I simétrica, en I asimétrica, en T, en T invertida, y en caja; de esta manera se facilita su empleo en estructuras como puentes, edificios, estadios, graderías, naves industriales, entre otras.

De forma general se concluye que son significativas las diferencias entre los concretos armados y los concretos preesforzados y postensados, en cuanto a sus propiedades en estado fresco y endurecido, así como en sus estados de esfuerzos, materiales y métodos de aplicación.

Referencias

- ACI-318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. Reglamento, American Concrete Institute.
- Aguilar, J. (2015). *Análisis y diseño de un edificio de 8 niveles empleando diferentes sistemas de piso: losas de concreto reforzado perimetralmente apoyadas y losas planas de concreto postensado*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- Alcocer, S. (2012). *Comportamiento sísmico de elementos de concreto presforzado y postensado*.
- Alonso, A. (2015). *Hormigón pretensado externo y sus aplicaciones en puentes*. Tesis de pregrado, Universidad Técnico Federico Santa María, Concepción, Chile.
- Argos. (2020). *Control de calidad del concreto en obra*. Publicación técnica, Bogotá D.C., Colombia.
- Arroyo, D. (2012). *Hormigón pretensado*.
- ASTM A 416/A416M. (2006). *Especificación normalizada para torón de acero, de siete alambres sin recubrimiento para concreto presforzado*. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM A421/A421M. (2015). *Especificación normalizada para alambre de acero alividado esfuerzos sin recubrimiento para concreto preesforzado*.
- Bañón, L. (2011). *Tecnología de pretensado*. Tesis de pregrado, Universidad de Alicante, Alicante, España.
- Cabañas, A. (2008). *Concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.
- Chávez, D., & Soncco, S. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico*. Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Concretos El Palmar. (2020). *La importancia del control de temperatura en el concreto mezclado en los cabos*. Obtenido de concretoselpalmar.com:
<https://concretoselpalmar.com/el-control-de-temperatura-en-el-concreto/>

- Delgado, C., & Zuñiga, B. (2015). *Comparación de costos entre puentes con vigas de acero, concreto reforzado y postensado considerando la variación de la luz libre*. Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Durán, Ó., & Peña, R. (2018). *Análisis comparativo entre los ensayos de caracterización para el control de calidad del concreto en estado fresco. Caso de estudio: Colombia - México*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Fernández, M., & Muttoni, A. (2008). Shear strength of thin-webbed post-tensioned beams. *ACI Structural Journal*.
- Freysinet. (2020). *El pretensado Freyssinet*.
- Galvez, L. (2018). *Análisis y estudio comparativo de nueva edificación del mercado A. Orrego del distrito de la victoria con diseño de concreto postensado, concreto armado y estructuras metálicas*. Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, México.
- García, et al. (2015). *Concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana, México.
- García, R. et al. (2013). *Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes*. Publicación Técnica, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Queretaro.
- Guarachi, J. (2015). *Principios y técnicas de aplicación del pretensado*. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno.
- Hernández, E., & Gil, L. (2007). *Hormigón armado y pretensado. Concreto reforzado y preesforzado*. Granada, España: Grupo de Investigación TEP-190 Ingeniería e infraestructura.
- Hurtado, J. (2018). *Comparación técnica - económica del entrepiso de un edificio de diez plantas con sistema dual que emplea losas de hormigón armado o de hormigón postensado*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Jimenez, E., & Sánchez, A. (1994). *Sistema de elementos presforzados y procedimientos constructivos*. Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de la Construcción, México D.F., México.
- Jiménez, P., García, Á., & Morán, F. (2001). *Hormigón Armado*. Barcelona, España: Gustavo Gili S.A.
- Jiménez, Y. (2015). *Aplicación del método de madurez para la optimización de tiempo en el corte de viguetas de concreto prefabricadas y pretensadas*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas, Lima, Perú.

- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. D.F., México: Alfaomega.
- Méndez, J. (2015). *Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Meza, L. (2015). *Aspectos fundamentales del concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Miñano, U., & Patiño, C. (2015). *Elaboración de agregados con barita para el diseño de concretos de alta densidad que atenúen los rayos ionizantes*. Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Mohammed, H. (2019). *General methods of prestressing*.
- Nistal, A., Retana, M., & Abrio, T. (2012). El hormigón: Historia, Antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. *Tecnología y Desarrollo: Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, 1-16.
- NTC 2. (2018). *Siderurgia. Ensayo de tracción para materiales metálicos. Método de ensayo a temperatura ambiente*. Norma, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, D.C.
- NTC 3353. (2019). *Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero*. Norma, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, D.C.
- NTC-1028. (1994). *Ingeniería Civil y Arquitectura. Determinación del contenido de aire en concreto fresco, método volumétrico*. Norma técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-1032. (2013). *Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-159. (1997). *Alambres de acero para hormigón presforzado. Alambres trefilados no templados*. Norma técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C, Colombia.
- NTC-1926. (2013). *Concreto. Método de ensayo para determinar la densidad (masa unitaria), el rendimiento y el contenido de aire por gravimetría del concreto*. Norma técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-2010. (2018). *Torón de acero de siete alambre de baja relajación para concreto presforzado*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C.

- NTC-2871. (2015). *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-3318. (2008). *Producción de Concreto*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-3357. (2013). *Concretos. Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto frescode cemento hidráulico*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C.
- NTC-396. (2015). *Ensayo de asentamiento del concreto*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-4025. (2015). *Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático y la relación de poissón en concreto a compresión*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-6255. (2017). *Métodos de ensayo de torones de acero presforzado de múltiples alambres*. Norma Técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C.
- NTC-673. (2015). *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Norma técnica, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- NTC-722. (2015). *Concretos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá D.C., Colombia.
- Palacios, L. (2018). *Concreto pretensado y postensado*.
- Parra, C. (2014). *Estructuras de concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Universidad Villa Rica, Ciudad de México, México.
- Ponce, H. (2016). *Análisis comparativo del comportamiento estructural de las vigas del tablero de un puente isostático de hormigón post-tensado versus tablero con vigas de hormigón pretensado, aplicando el método AASHTO - LRFD*. Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Probacons S.A. (07 de 08 de 2017). *Aditivos inclusores de aire*. Obtenido de probacons.com: <https://www.probacons.com/aditivos-inclusores-de-aire/#:~:text=El%20inclutor%20de%20aire%20es,del%20concreto%20aumentando%20notablemente%20su>

- Quintanilla, D. (2016). *Ensayos experimentales en vigas de concreto postensado con tendones adheridos y no adheridos*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ramírez, J. (13 de 03 de 2021). *Más resistentes pero menos robustos*. Obtenido de imcyc.com: <http://www.imcyc.com/cyt/julio02/resistentes.htm#:~:text=Sin%20embargo%2C%20para%20concretos%20con,m%C3%A9todo%20de%20determinaci%C3%B3n%20del%20m%C3%B3dulo>.
- Rojas, W. (2018). *Estructuras*. Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Sotomayor, P. (2016). *Diseño estructural de un edificio de aulas-laboratorio de concreto armado y evaluación económica del uso de vigas postensadas*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Srilaxmi, V., Manju, K., & Vijaya, M. (2018). A case study on pre-tensioning & post tensioning systems of a prestressed concrete. *International Journal of Engineering*, págs. 249-254.
- Stuart, R., James, N., & Ingham, J. (2007). *An overview of reinforced and prestressed concrete research at the University of Auckland*.
- Tandaypán, R. (2019).
- Título C - Concreto Estructural NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, Colombia.
- Torres, A., & Morales, F. (2011). *Sistemas constructivos: Hormigón pretesado y postesado*.
- Villatoro, R. (2005). *Guía teórica y práctica del curso de concreto presforzado*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Yaulli, M. (2019). *Diferencia de las propiedades mecánicas entre la vigueta prefabricada de concreto y vigueta tradicional*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.
- Yong, P. (1981). Flexural strength of prestressed concrete members with unbonded tendons. *PCI JOURNAL*, págs. 52-81.

Apéndices

Apéndice A. Descripción del procedimiento de ensayo de tracción en alambres y torones.

Alambres

Cómo se mencionó en el capítulo 2, el uso de alambres en concretos presforzados debe cumplir con lo establecido en la NTC 159 *Alambres de acero para hormigón presforzado. Alambres trefilados no templados*, donde se estipula la realización del ensayo de tracción. De acuerdo a esta norma, el ensayo de tracción debe basarse en la NTC 2 *Ensayo de tracción de materiales metálicos, método de ensayo a temperatura ambiente* (NTC-159, 1997; NTC 2, 2018).

El ensayo comprende el alargamiento de una probeta de alambre por fuerza de tensión, con el propósito de determinar la carga de rotura mínima y la elongación mínima. El ensayo debe ser llevado a cabo a temperatura ambiente entre 10°C y 35°C, a menos que se especifique de otra manera. Los ensayos que se realizan bajo condiciones controladas, deben asegurar temperaturas de 23°C±5°C. La longitud mínima de las probetas de alambre debe ser de 250 mm, y debe garantizarse una distancia mínima de 200 mm entre mordazas. La velocidad de esfuerzos a aplicar durante el ensayo dependen del módulo de elasticidad del alambre, para alambres con módulo de elasticidad menores a 150 000 N/mm², se deben aplicar velocidades de esfuerzos de entre 2 y 10 N/mm²*s⁻¹; mientras que para alambres con elasticidades iguales o superiores a 150

000 N/mm², se deben aplicar velocidades de esfuerzos de entre 6 y 30 N/mm²*s⁻¹. En la figura 43 se observa la realización de este ensayo (NTC 2, 2018).



Figura 53. Ensayo de tracción en alambres de acuerdo a la NTC 2 Ensayo de tracción de materiales metálicos, método de ensayo a temperatura ambiente. Obtenido en: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/productos-largos/alambres-y-cables/>

Torones

Para el ensayo de tracción en torones, tanto la NTC-6255 *Métodos de ensayo de torones de acero presforzado de múltiples alambres*, como la NTC 2010 *Torón de acero de siete alambres de baja relajación para concreto presforzado*, establecen la realización de este ensayo de acuerdo a lo establecido en la NTC 3353 *Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero* (NTC 3353, 2019).

Se recomienda que la probeta (torón) a ensayar presente una longitud superior a 8 pulgadas (200 mm). En cuanto a los dispositivos de sujeción, no se recomienda el uso del método universal de sujeción (agarre) empleado en varillas de acero corrugado, por lo que se estipula el empleo de alguno de los siguientes dispositivos: mordazas estándar aserradas Tipo V (ver figura 44), y las mordazas especiales con canales lisos cilíndricos o semicilíndricos (ver figura 45) (NTC 3353, 2019; NTC-2010, 2018).



Figura 54. Mordazas estándar aserradas Tipo V empleadas para el ensayo a tracción de torones. Obtenido en: <https://www.instron.com.ar/es-ar/products/testing-accessories/grips>



Figura 55. Mordazas especiales con canales lisos semicilíndricas empleadas para el ensayo a tracción de torones. Obtenido en: <https://www.instron.es/es-es/products/testing-accessories/grips/torsion-axial-torsion-grips>

Para la realización del ensayo de tracción, se recomienda el siguiente proceso (García, R. et al., 2013):

- Las probetas (torones) se colocan en las cuñas de sujeción en cada extremo, en el cual se les deja un espacio libre en cada punta del torón, por lo menos 1 cm, como se observa en la figura 46. Una vez colocada la cuña, ésta se engrasa para que no exista adherencia con el cilindro de acuñado.

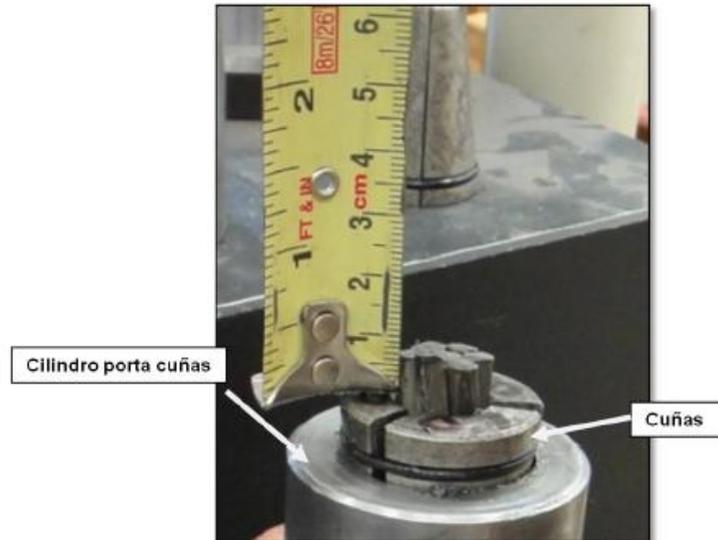


Figura 56. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. *Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes*. Pág. 52

- Las cuñas se introducen dentro de los cilindros porta cuñas.

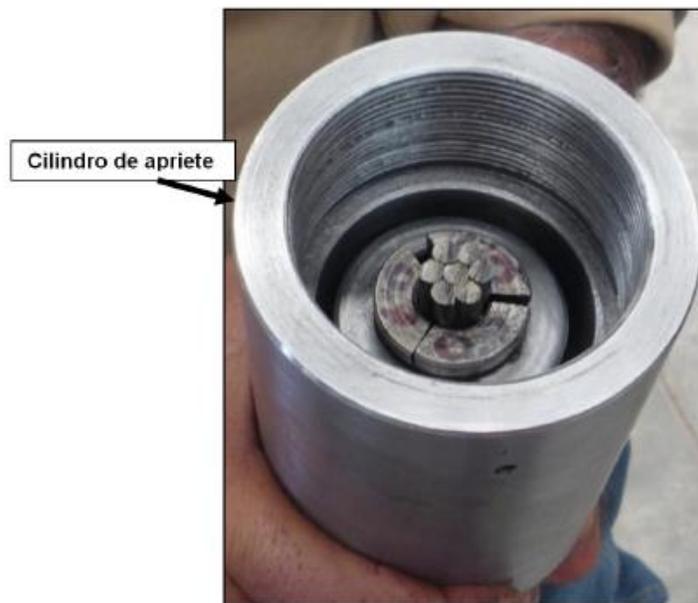


Figura 57. Introducción de los cilindros en los porta cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. *Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes*. Pág. 52

- Se instalan los cilindros de acoplamiento en la celda de carga y en el pistón de la máquina universal, de acuerdo a los procedimientos de instalación del dispositivo.

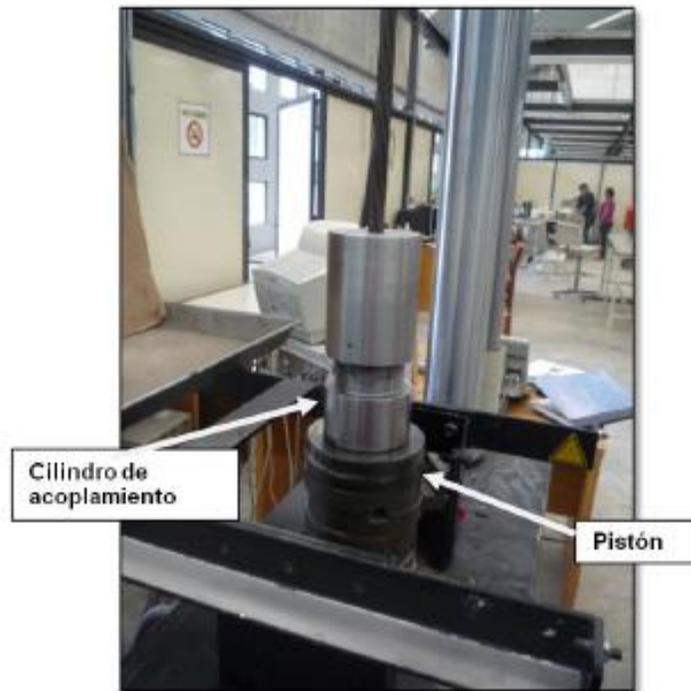


Figura 58. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. *Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes*. Pág. 52

- Se enrosca el cilindro de apriete en el cilindro de acoplamiento. Se procede a realizar el ensayo. La velocidad de carga se recomienda aplicarla desde la mitad del valor de la resistencia a la fluencia, hasta el punto de fluencia, de forma que la tasa de esfuerzo no exceda los 100 000 psi/min (690 MPa/min), sin embargo, la tasa mínima de esfuerzo no debe ser menor que 10 000 psi/min (70 MPa/min).

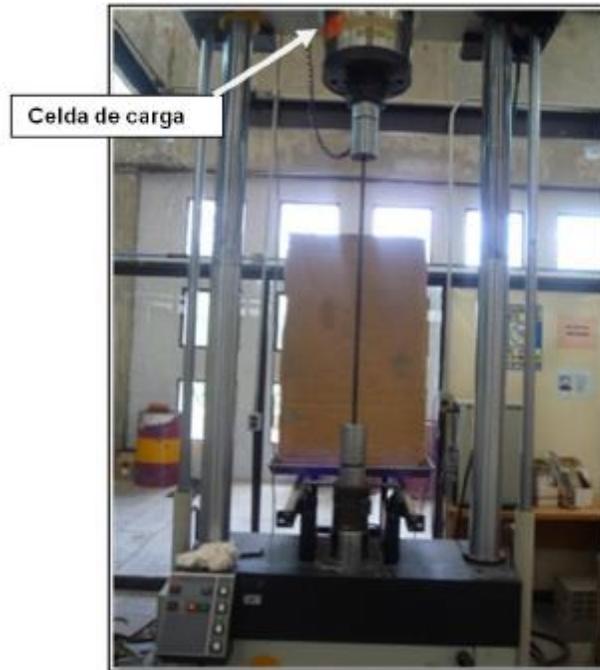


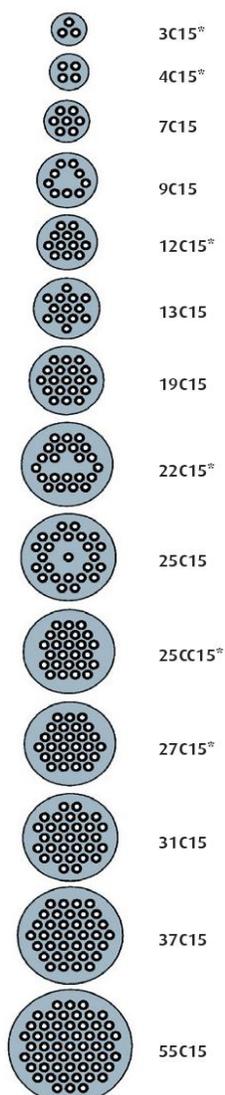
Figura 59. Sujeción de torones por medio de cuñas. Obtenido de García, R. et al., 2013. Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. Pág. 52

Apéndice B. Catálogo de productos Freyssinet Colombia.



ANLAJE DE LA GAMA C

Unidad de anclajes



* Configuración de los cordones en el anclaje sin cordón central.

Composición

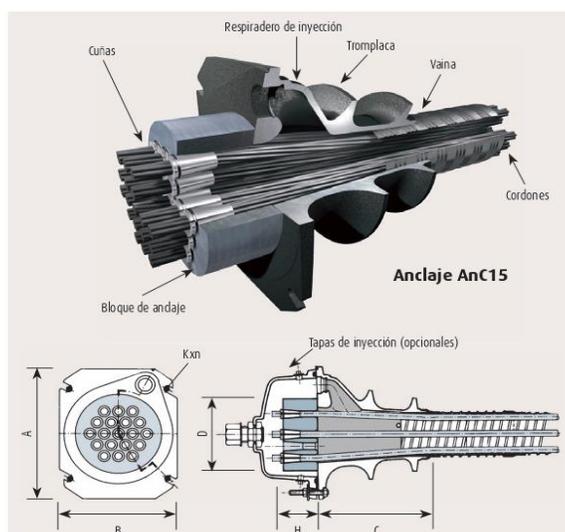
Los anclajes están formados por:

- Cuñas que garantizan un anclaje eficaz con esfuerzos estáticos o dinámicos.
- Bloques de anclaje de acero circulares y con perforaciones troncocónicas.
- Tromplacas de anclaje de hierro fundido y varias capas para una mejor difusión del esfuerzo de pretensado en el hormigón.
- Un capot permanente opcional.

Anclajes compactos

Las reducidas dimensiones de los anclajes de la gama C permiten:

- Una disminución del espesor de las vigas y las almas de los cajones.
- Una mejor concentración de los anclajes en los empalmes.
- Una desviación mínima de los cordones.



Unidades	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Kxn (mm)
3C15	150	110	120	85	50	M10x2
4C15	150	120	125	95	50	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	M16x4
25CC15	350	290	360	220	95	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	M20x4

Todas las unidades cuentan con marcado

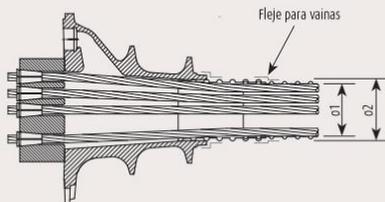


ANCLAJE DE LA GAMA C (CONTINUACIÓN)

Categorías de uso

- ▶ PARA PRETENSADO INTERIOR ADHERENTE EN CORDONES DESNUDOS CON INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO

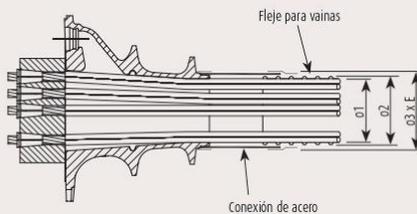
AnC15



Unidades	O1* (mm)	O2** (mm)
3C15	40	45
4C15	45	50
7C15	60	65
9C15	65	70
12C15	80	85
13C15	80	85
19C15	95	100
22C15	105	110
25C15	110	115
25CC15	110	115
27C15	115	120
31C15	120	125
37C15	130	135
55C15	160	165

- ▶ PARA PRETENSADO INTERIOR NO ADHERENTE EN CORDONES ENVAINADOS Y ENGRASADOS CON INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO

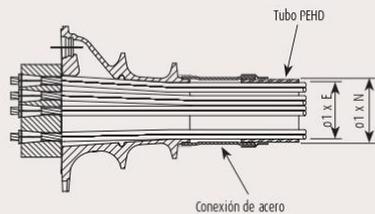
AnC15GI



Unidades	O1* (mm)	O2** (mm)	O3 (mm)	E (mm)
3C15	40	45	70	2,9
4C15	65	70	82,5	3,2
7C15	65	70	82,5	3,2
9C15	80	85	101,6	5
12C15	95	100	114,3	3,6
13C15	95	100	114,3	3,6
19C15	115	120	133	4
22C15	120	125	139,7	4
25C15	130	135	152,4	4,5
25CC15	130	135	152,4	4,5
27C15	130	135	152,4	4,5
31C15	145	150	177,8	5
37C15	145	150	177,8	5

- ▶ PARA PRETENSADO EXTERIOR NO ADHERENTE EN CORDONES ENVAINADOS Y ENGRASADOS CON INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO

ADnC15GI

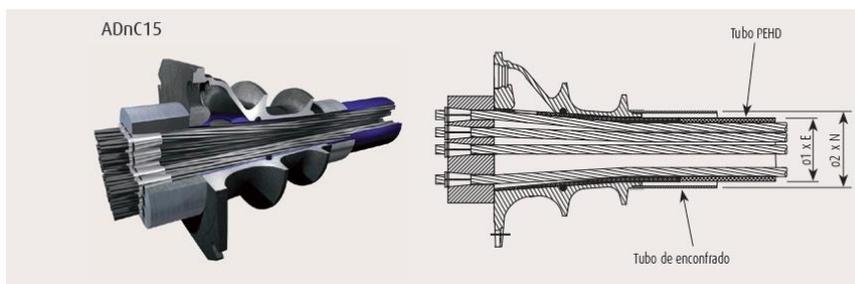


Unidades	O1* (mm)	E (mm)	O2** (mm)	N (mm)
3C15	70	2,9	63	4,7
4C15	82,5	3,2	75	5,5
7C15	82,5	3,2	90	6,6
9C15	101,6	5	90	6,6
12C15	114,3	3,6	110	5,3
13C15	114,3	3,6	110	5,3
19C15	133	4	125	6
22C15	139,7	4	125	6
25C15	152,4	4,5	140	6,7
25CC15	152,4	4,5	140	6,7
27C15	152,4	4,5	140	6,7
31C15	177,8	5	160	7,7
37C15	177,8	5	160	7,7
55C15	219,1	6,3	200	9,6

* Verificar el espesor de la vaina en función de la normativa aplicable.
 ** Ø : diámetro interior del conducto estriado/ exterior de conductos de polietileno o de acero. * y **: dimensiones mínimas recomendadas.

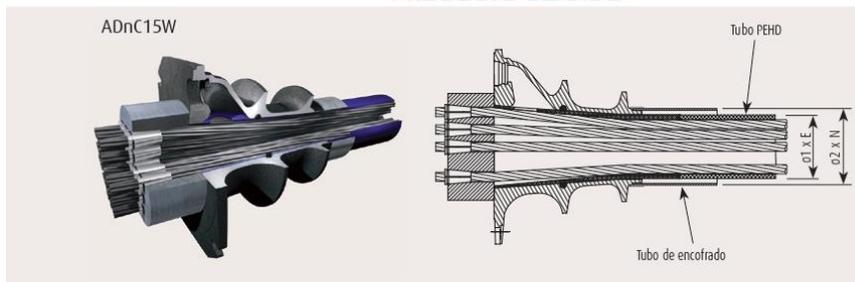


► PARA PRETENSADO EXTERIOR
NO ADHERENTE EN CORDONES
DESNUDOS CON INYECCIÓN DE
LECHADA DE CEMENTO



Unidades	Ø1* (mm)	E (mm)	Ø2** (mm)	N (mm)
3C15	50	3,7	70	2,9
4C15	63	4,7	82,5	3,2
7C15	63	4,7	82,5	3,2
9C15	75	5,5	101,6	5
12C15	90	6,6	114,3	3,6
13C15	90	6,6	114,3	3,6
19C15	110	5,3	133	4
22C15	110	5,3	139,7	4
25C15	125	6	152,4	4,5
25CC15	125	6	152,4	4,5
27C15	125	6	152,4	4,5
31C15	140	6,7	177,8	5
37C15	140	6,7	177,8	5

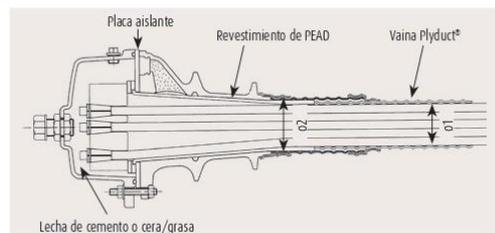
► PARA PRETENSADO EXTERIOR
NO ADHERENTE CON CORDONES
DESNUDOS E INYECCIÓN DE
PRODUCTO BLANDO



Unidades	Ø1* (mm)	E (mm)	Ø2** (mm)	N (mm)
3C15	50	3,7	70	2,9
4C15	63	4,7	82,5	3,2
7C15	63	4,7	82,5	3,2
9C15	75	5,5	101,6	5
12C15	90	6,6	114,3	3,6
13C15	90	6,6	114,3	3,6
19C15	110	8,1	133	4
22C15	110	8,1	139,7	4
25C15	125	9,2	152,4	4,5
25CC15	125	9,2	152,4	4,5
27C15	125	9,2	152,4	4,5
31C15	140	10,3	177,8	5
37C15	140	10,3	177,8	5

► PARA PRETENSADO CON AISLAMIENTO
ELÉCTRICO

Los cables provistos de anclajes de la gama C pueden revestirse con un envainado continuo no conductor para obtener un sistema de pretensado aislado eléctricamente. Suelen utilizarse en las estructuras ferroviarias en las que las corrientes de fuga pueden comprometer la durabilidad de los cables.



Unidades	Ø1* (mm)	Ø2** (mm)
3C15	40	45
4C15	45	50
7C15	60	65
9C15	65	70
12C15	80	85
13C15	80	85
19C15	95	100
22C15	105	110
25C15	110	115
25CC15	110	115
27C15	115	120
31C15	120	125
37C15	130	135
55C15	160	165

* Verificar el espesor de la vaina en función de la normativa aplicable.
** Ø : diámetro interior del conducto estriado/ exterior de conductos de polietileno o de acero. * y **: dimensiones mínimas recomendadas.

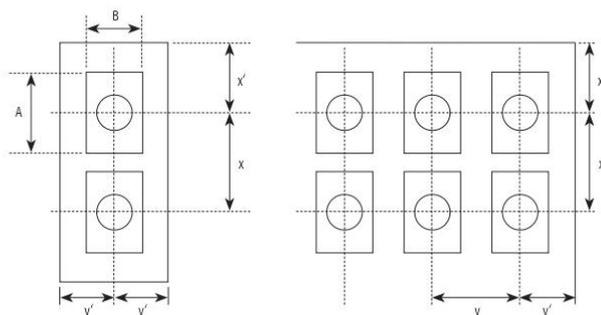


DISPOSICIONES DE ANCLAJES DE LA GAMA C

Los anclajes deben estar situados a una distancia suficiente de la pared y han de estar separados según una distancia entre ejes mínima. Estas distancias se obtienen a partir de las dimensiones a y b de los montajes de los ensayos realizados en el marco del procedimiento de la Aprobación Técnica Europea. A continuación aparecen los anclajes dispuestos en función de las direcciones normales: x e y , con el lateral de menor tamaño de la placa de anclaje orientada según el eje y .

Notación

- A, B : dimensiones en plano de la placa de anclaje ($A \geq B$).
- a, b : dimensiones del prisma de prueba ($a \geq b$).
- x, y : la distancia entre ejes de los anclajes en las direcciones x e y .
- x', y' : la distancia desde el anclaje al paramento más cercano en las direcciones x e y .
- $f_{cm,0}$: la resistencia media del hormigón a la compresión medida en el cilindro antes del tesado.



Las dimensiones x e y deben satisfacer las siguientes condiciones:

- $x \geq A + 30$ (mm)
- $y \geq B + 30$ (mm)
- $x \cdot y \geq a \cdot b$
- $x \geq 0,85 a$
- $y \geq 0,85 b$
- $x' \geq 0,5 x + \text{revestimiento del hormigón} - 10$ (mm)
- $y' \geq 0,5 y + \text{revestimiento del hormigón} - 10$ (mm)

Distancias a y b

Unidades	$a = b$ (mm)		
	$f_{cm,0}$ (MPa)		
	24	44	60
3C15	220	200	180
4C15	250	220	200
7C15	330	260	240
9C15	380	300	280
12C15	430	320	300
13C15	450	340	310
19C15	530	400	380
22C15	590	430	410
25C15	630	460	440
27C15	650	480	470
31C15	690	520	500
37C15	750	580	540
55C15	1070	750	690

En la tabla aparecen los valores a y b para tres clases distintas de resistencias del hormigón $f_{cm,0}$.

Si al realizar el proyecto se prevé un valor $f_{cm,0}$ distinto a los valores indicados en la tabla, se puede proceder por interpolación lineal para determinar los valores x e y . No obstante, no se podrá tensar al máximo cuando $f_{cm,0}$ sea inferior al menor de los valores indicados en la tabla que aparece en la tabla.

Si el proyecto prevé un tesado parcial o un índice de tesado inferior al mínimo $[0,8 F_{pk}; 0,9 F_{p0,1\%}]$, se puede proceder por interpolación para determinar el valor requerido de $f_{cm,0}$, teniendo en cuenta que con el 50% de la fuerza máxima, la resistencia necesaria para el hormigón puede llegar a los 2/3 de los valores indicados en las tablas anteriores y que con el 30% de esta fuerza, la resistencia que requiere el hormigón puede ser equivalente a la mitad de dichos valores.



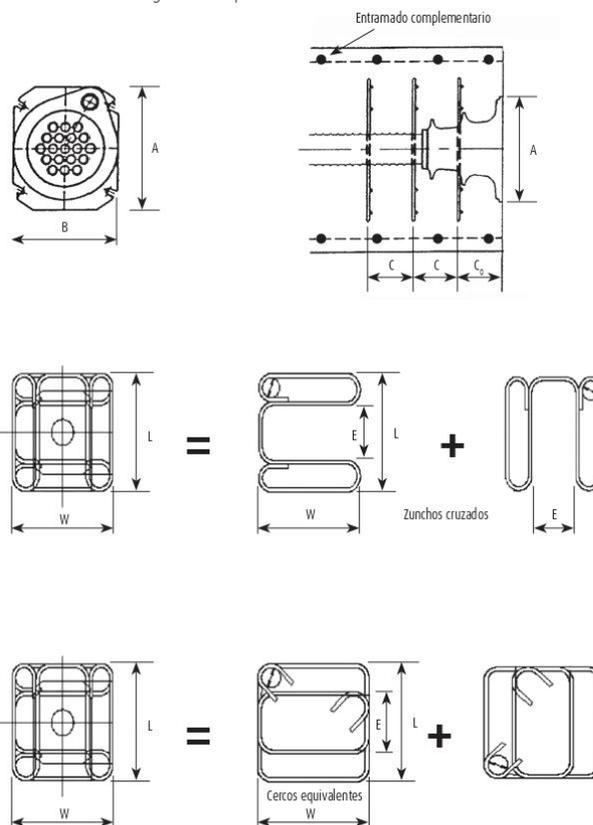
ZUNCHADO DE LOS ANCLAJES DE LA GAMA C

Las fuerzas concentradas que ejercen las unidades pretensadas imponen la necesidad de instalar un zunchado junto a los anclajes en el caso de las estructuras de hormigón. Este entramado local incluye un zunchado de rotura y los elementos de acero complementarios. Se ha definido el zunchado de rotura de tal modo que queda asegurado mediante zunchos cruzados o zunchado helicoidal para poder tener en cuenta las disposiciones constructivas habituales en determinados países.

Los zunchos que se indican en las tablas que aparecen a continuación se deducen de las armaduras empleadas en los prismas de ensayo y para una resistencia cilíndrica del hormigón de 24 ó 44 MPa. Si la resistencia del hormigón es de 60 MPa, debe consultarse la Aprobación Técnica Europea del sistema Freyssinet. Si se trata de otras resistencias, se podrán interpolar los valores indicados en las tablas.

1/ Zunchos cruzados (cercos)

Los esquemas que aparecen a continuación definen la disposición general del zunchado de rotura en caso de que se empleen zunchos cruzados. En cada capa se colocan dos zunchos cruzados. Por razones prácticas, un zuncho puede sustituirse por dos cercos cuya sección tenga una resistencia equivalente como se muestra en el siguiente esquema.





**ZUNCHADO
DE LOS ANCLAJES
DE LA GAMA C
(CONTINUACIÓN)**

En el caso de anclajes con varias filas, normalmente las dimensiones W y L son iguales al valor LO que aparece en las siguientes tablas. Por el contrario, en el caso de los anclajes en una sola fila, W se reduce y L aumenta, aunque siempre respetando el valor mínimo de E indicado en las siguientes tablas.

Las características del zunchado de rotura varían en función de la resistencia media en compresión del hormigón durante el tensado: $f_{cm,0}$ (medida sobre el cilindro). En estas tablas aparece la descripción para dos valores de resistencia.

Unidades	Zunchos cruzados o cercos equivalentes (FeE 235)							(B500) Elementos de acero complementarios (cercos)		
	Número de capas	Co (mm)	C (mm)	Diámetro d (mm)	Diámetro del mandril D (mm)	Distancia centro mínima E (mm)	Dim. sin LO (mm)	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número
3C15	3	100	75	8	31	90	200	110	8	3
4C15	3	100	75	8	46	90	230	115	12	3
7C15	3	120	90	12	74	130	310	120	12	4
9C15	3	120	110	12	74	140	360	125	14	4
12C15	3	120	120	14	83	160	410	140	16	4
13C15	3	140	125	14	88	170	430	130	16	4
19C15	3	160	125	16	117	200	520	180	20	4
22C15	3	170	140	20	118	215	570	130	16	6
25C15	3	200	160	20	135	220	610	175	20	5
27C15	3	175	170	20	130	250	630	130	20	6
31C15	3	210	150	20	130	255	670	140	20	6
37C15	4	250	225	20	130	270	740	130	25	5
55C15	5	290	200	25	160	340	1050	200	20	6

$f_{cm,0} = 24 \text{ MPa}$

Unidades	Zunchos cruzados o cercos equivalentes (FeE 235)							(B500) Elementos de acero complementarios (cercos)			
	Número de capas	Co (mm)	C (mm)	Tipo	Diámetro d (mm)	Diámetro del mandril D (mm)	Distancia centro mínima E (mm)	Longitud total LO (mm)	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número
3C15	3	100	75	FC	8	26	90	190	150	8	2
4C15	3	100	75	FC	8	31	90	200	250	8	3
7C15	3	120	90	FC	12	39	130	240	140	10	4
9C15	3	120	110	FC	12	39	140	290	150	14	3
12C15	3	120	120	C	14	84	160	300	240	14	3
13C15	3	140	125	C	14	84	170	330	120	14	4
19C15	3	160	125	C	16	96	200	380	200	16	3
22C15	3	170	140	C	20	120	215	410	160	14	4
25C15	3	200	160	C	20	120	220	440	165	16	3
27C15	3	175	170	C	20	120	250	460	165	16	3
31C15	3	210	190	C	20	120	255	500	210	20	3
37C15	4	250	225	C	20	120	270	600	210	20	4
55C15	4	290	255	C	25	150	340	730	200	20	4

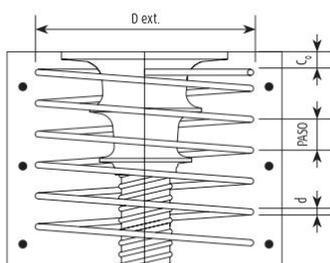
FC: zunchos cruzados o cercos equivalentes
C: sólo cercos

$f_{cm,0} = 44 \text{ MPa}$



2/ Espiras helicoidales

El esquema que aparece en la figura define la disposición general del zunchado de rotura cuando se emplea una espira helicoidal. Esta disposición es especialmente útil en el caso de anclajes aislados.



Zunchado y entramado complementario

Unidades	Zunchado helicoidal (FeE 235)					(B500) Elementos de acero complementarios (cercos)		
	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número	Co (mm)	Diámetro exterior D (mm)	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número
3C15	50	8	5	40	160	110	8	3
4C15	60	10	5	40	190	115	10	3
7C15	60	14	6	40	270	120	10	4
9C15	70	14	6	40	320	125	12	4
12C15	70	14	7	40	370	140	16	4
13C15	70	14	7	40	390	130	16	4
19C15	60	16	8	40	470	180	20	4
22C15	70	16	8	40	510	130	20	5
25C15	80	20	7	40	550	150	20	5
27C15	80	20	7	40	570	160	20	5
31C15	80	20	7	40	600	140	20	6
37C15	90	20	7	40	660	130	25	5
55C15	100	25	9	40	930	200	20	6

$f_{cm,0} = 24 \text{ MPa}$



Puente del Corgo, Portugal

Unidades	Zunchado helicoidal (FeE 235)					(B500) Elementos de acero complementarios (cercos)		
	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número	Co (mm)	Diámetro exterior D (mm)	Paso (mm)	Diámetro d (mm)	Número
3C15	50	8	5	40	150	150	8	2
4C15	60	10	5	40	160	250	8	3
7C15	60	12	6	40	200	140	10	4
9C15	70	14	6	40	250	150	12	3
12C15	50	14	7	40	260	240	14	3
13C15	70	14	7	40	290	120	14	4
19C15	60	16	8	40	320	200	16	3
22C15	70	16	8	40	350	160	14	4
25C15	80	20	7	40	380	165	16	3
27C15	80	20	7	40	400	165	16	3
31C15	80	20	8	40	420	210	16	3
37C15	90	20	9	40	520	210	20	4
55C15	100	25	10	40	650	250	20	3

$f_{cm,0} = 44 \text{ MPa}$

3/ Entramado complementario

El zunchado de rotura debe completarse en la zona de anclaje con el armado complementario utilizado en los prismas de ensayo de transferencia, en forma de cercos como se muestra en los cuadros anteriores o mediante barras de la misma sección correctamente ancladas.

El armado que se muestra en las tablas anteriores normalmente ha de completarse mediante armaduras generales, que no aparecen en las figuras y que deben corresponder al mínimo necesario contra las fisuras y a las armaduras de equilibrio general. La persona encargada de elaborar el proyecto debe verificar el equilibrio general de las zonas de anclaje.

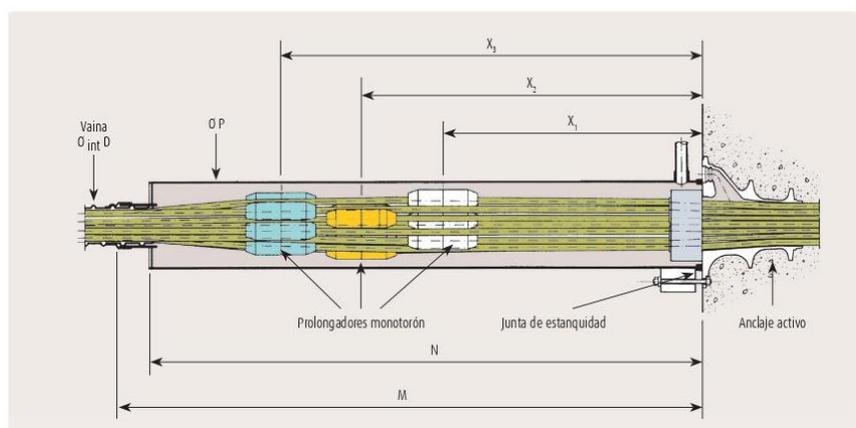


ACOPLADORES FIJOS CI MONOCORDÓN

Es necesario incorporar acopladores cuando una estructura continua está compuesta por fases sucesivas con prolongación de los cables ya colocados, tensados e inyectados en el tramo anterior. Normalmente se utilizan en pretensados interiores.

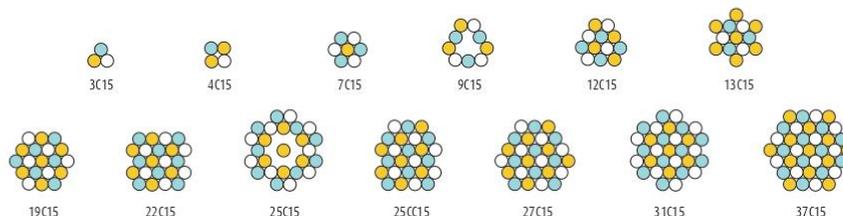
Acopladores fijos CI monocordón

Los acopladores fijos CI permiten conectar el cable secundario al cable primario usando prolongadores monocordón, mecanizados o moldeados, con bloqueo automático mediante un resorte interpuesto entre las dos cuñas opuestas. El anclaje primario es un anclaje gama C. Los prolongadores monocordón dispuestos en tres niveles ofrecen una configuración muy compacta.



Unidades	D (mm)	M (mm)	N (mm)	P (mm)	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	X ₃ (mm)
CI 3C15	40	1050	1000	102	250	500	750
CI 4C15	45	1050	1000	127	250	500	750
CI 7C15	60	1050	1000	127	250	500	750
CI 9C15	65	1100	1050	178	300	500	800
CI 12C15	80	1150	1100	194	300	550	800
CI 13C15	80	1200	1150	219	300	550	800
CI 19C15	95	1200	1150	219	300	550	800
CI 22C15	105	1250	1200	273	350	600	800
CI 25C15	110	1250	1200	273	350	600	850
CI 25CC15	110	1300	1250	273	350	600	850
CI 27C15	115	1300	1250	273	350	600	850
CI 31C15	120	1350	1300	273	400	650	900
CI 37C15	130	1530	1480	324	400	650	900

Todas las unidades cuentan con marcado





ACOPLADORES FIJOS CU Y CC MULTICORDÓN

SE PUEDEN USAR DOS TIPOS DE ACOPLADORES MULTICORDÓN:

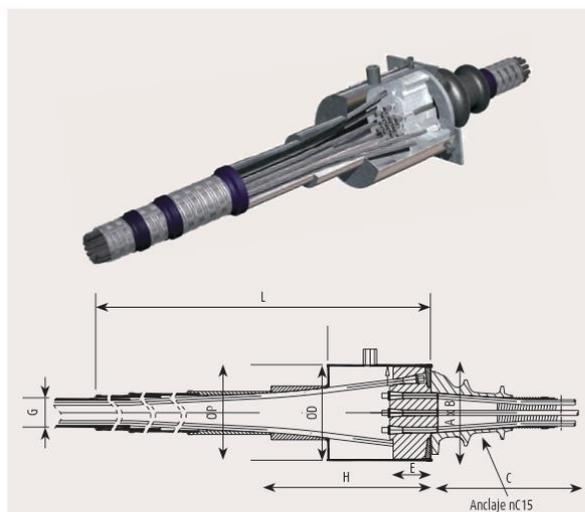
Acopladores tipo CU

El bloque de anclaje usado con estos acopladores está diseñado para recibir las cuñas de anclaje del cable secundario.

Este conjunto está protegido mediante un capot que en uno de sus extremos cuenta con una trompeta para garantizar la conexión con el conducto del cable secundario.

Unidades	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G (mm)	OD (mm)	E (mm)	L (mm)	H (mm)	OP (mm)
CU 3C15	150	110	120	40	140	120	150	150	150
CU 4C15	150	120	125	45	150	127	150	150	150
CU 7C15	180	150	186	60	200	120	180	180	180
CU 9C15	225	185	260	65	255	122	225	225	225
CU 12C15	240	200	165	80	265	130	240	240	240
CU 13C15	250	210	246	80	276	130	250	250	250
CU 19C15	300	250	256	95	306	140	300	300	300
CU 22C15	330	275	430	105	335	145	330	330	330
CU 25C15	360	300	400	110	346	145	360	360	360
CU 25CC15	350	290	360	110	354	150	350	350	350
CU 27C15	350	290	360	115	354	150	350	350	350
CU 31C15	385	320	346	120	356	150	385	385	385
CU 37C15	420	350	466	130	386	156	420	420	420

Todas las unidades cuentan con marcado



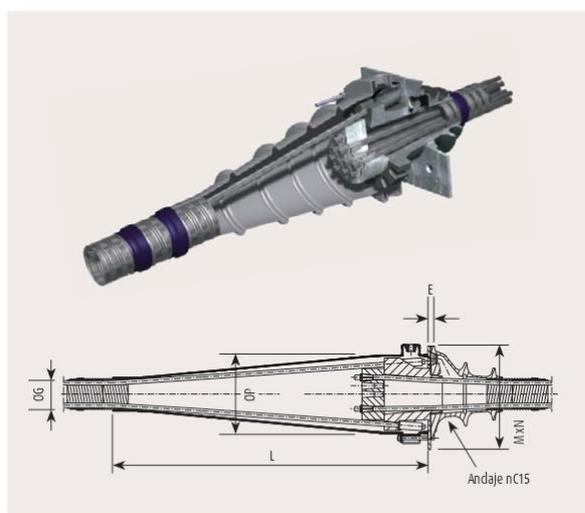
Acopladores de tipo CC

Para estos acopladores, se introduce una corona acanalada entre la placa de anclaje y el bloque de anclaje del cable primario. El cable secundario se ancla por medio de manguitos roscados a esta corona.

Unidades	E (mm)	L (mm)	M x N [®] (mm)	OP (mm)	OG (mm)
CC 3C15 ^{**}	10	570	220 x 220	210	40
CC 4C15 ^{**}	10	600	240 x 240	220	45
CC 7C15 ^{**}	10	670	260 x 260	230	60
CC 9C15 ^{**}	10	750	290 x 290	270	65
CC 12C15 ^{**}	10	725	300 x 300	280	80
CC 13C15	10	770	290 x 290	275	80
CC 19C15	12	825	320 x 320	305	95
CC 22C15 ^{**}	10	885	390 x 390	365	110
CC 25C15	5	900	360 x 360	340	110
CC 27C15 ^{**}	10	955	390 x 390	365	110
CC 31C15	5	1 110	420 x 420	400	120

[®]Dimensiones de la placa de mantenimiento.

^{**} Disponibles bajo pedido.



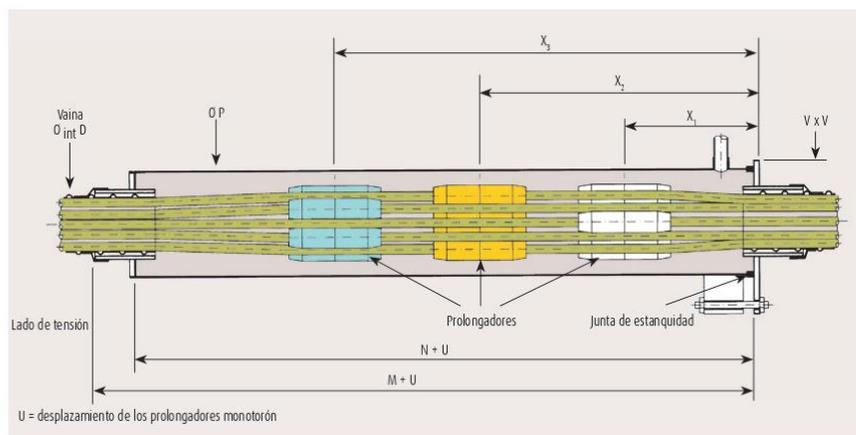


ACOPLADORES MÓVILES CM MONOCORDÓN

Acoplamiento de cables no tesados

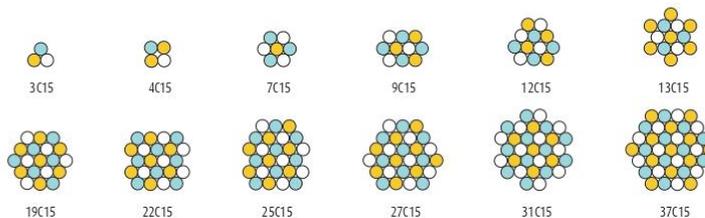
Estos dispositivos de conexión permiten unir totalmente dos cables no tensados.

Esta configuración es similar a la de los acopladores fijos que utilizan los mismos prolongadores individuales, aunque sin anclaje primario. La tapa es más larga para permitir el desplazamiento de los prolongadores durante el tesado del cable completo.



Unidades	D (mm)	M (mm)	N (mm)	P (mm)	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	X ₃ (mm)	V (mm)
CM 3C15	40	1050	1000	102	250	500	750	130
CM 4C15	45	1050	1000	108	250	500	750	140
CM 7C15	60	1050	1000	114	250	500	750	150
CM 9C15	65	1100	1050	159	300	550	800	200
CM 12C15	80	1150	1100	159	300	550	800	200
CM 13C15	80	1200	1150	168	300	550	800	200
CM 19C15	95	1200	1150	194	300	550	800	230
CM 22C15	105	1250	1200	219	350	600	800	230
CM 25C15	110	1250	1200	219	350	600	850	250
CM 27C15	115	1300	1250	219	350	600	850	250
CM 31C15	120	1350	1300	244	400	650	900	280
CM 37C15	130	1530	1480	273	400	650	900	310

Todas las unidades cuentan con marcado



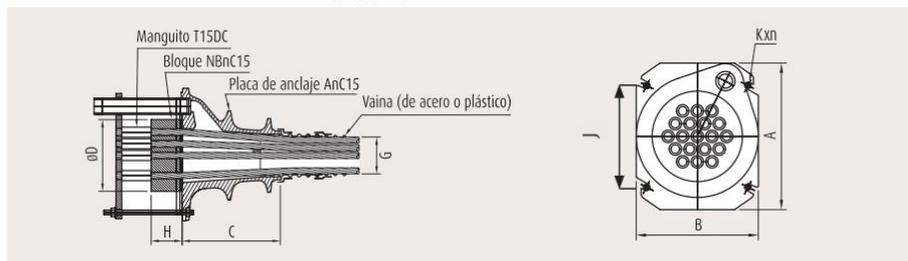


ANCLAJES PASIVOS

Existen tres tipos de anclajes pasivos embebidos en el hormigón que se utilizan en combinación con los anclajes activos de la gama C: NB, N y G. Los cables se colocan antes del hormigonado.

Anclaje pasivo de tipo NB

Los anclajes NB están formados por un bloque de anclaje con perforaciones cilíndricas sobre el que se apoyan los manguitos roscados sustentados por una placa trasera de retenida.



Unidades	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	G (mm)	J (mm)	Kxn
3C15	150	110	120 ^o	85	50	40 ^{***}	91	M10x2
4C15	150	120	125 ^a	95	50	45 ^{***}	101	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	60	128	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	65	153	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	80	168	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	80	168	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	95	208	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	105	248	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	110	268	M16x4
25CC15	350	290	360	220	95	110	258	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	115	258	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	120	268	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	130	300	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	160	370	M20x4

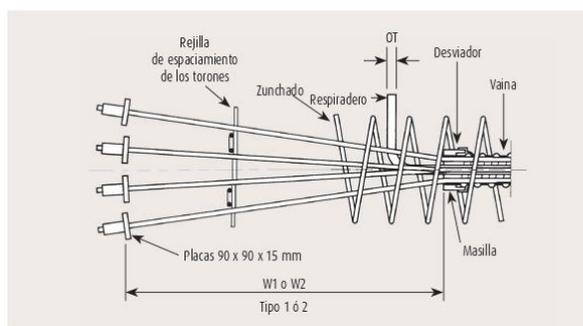
Todas las unidades cuentan con marcado

* Placa de anclaje en dos fases ** Variante vaina oval 58x21
*** Variante vaina oval 75x21

Unidades	W1 (mm)	W2 (mm)	OT (mm)
3C15	300	300	G 1/2"
4C15	350	350	G 1/2"
7C15	500	400	G 1/2"
9C15	600	400	G 1/2"
12C15	900	500	G 1/2"
13C15	1 200	500	G 1/2"
19C15	1 500	650	G 1"
22C15	1 800	750	G 1"
25C15	2 000	850	G 1"
27C15	2 000	1 000	G 1"
31C15	2 200	1 100	G 1"
37C15	2 500	1 280	G 1 1/2"
55C15	2 800	1 400	G 1 1/2"

Anclaje pasivo de tipo N

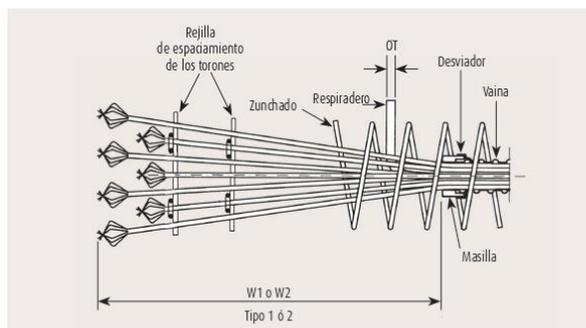
En el anclaje de tipo N, cada cordón cuenta con un manguito roscado que se apoya individualmente en una placa de acero.



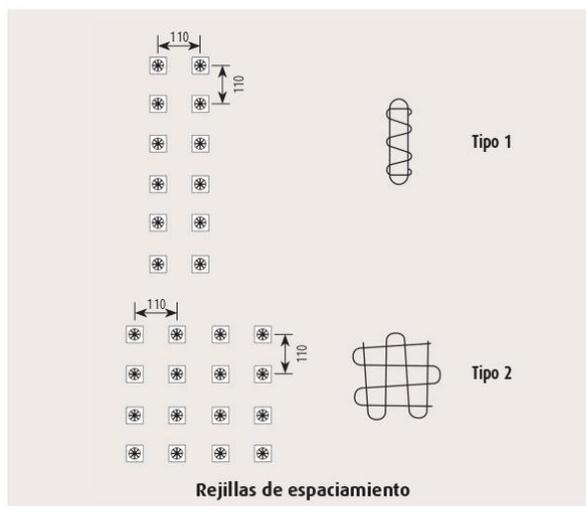


Anclaje pasivo de tipo G

El anclaje de tipo G es un anclaje por adherencia. El extremo de cada cordón está preformado para formar un bulbo.



Unidades	W1 (mm)	W2 (mm)	ØT (mm)
3C15	950	450	G 1/2"
4C15	950	500	G 1/2"
7C15	950	550	G 1/2"
9C15	950	550	G 1/2"
12C15	1 300	650	G 1/2"
13C15	1 300	650	G 1/2"
19C15	1 300	800	G 1"
22C15	1 500	1 000	G 1"
25C15	1 500	1 000	G 1"
27C15	1 700	1 250	G 1"
31C15	1 700	1 250	G 1"
37C15	2 000	1 250	G 1 1/2"
55C15	2 500	1 250	G 1 1/2"



EPR, China



ANCLAJES DE LA GAMA F PARA ELEMENTOS FINOS

Composición del anclaje de la gama F

Los anclajes de la gama F están compuestos por:

- Un cuerpo de anclaje embebido en el hormigón que cumple la función de cabeza de anclaje y pieza de difusión.
- Cuñas que garantizan el anclaje de los cordones.
- Elementos de protección definitiva de las cuñas, constituidos por capots PEAD (o metálicas) y rellenos de grasa.

Categorías de uso

Los anclajes de la gama F están diseñados para el pretensado de elementos finos (losas, forjados, etc.)

Se utilizan para:

- El pretensado no adherente
- El pretensado adherente

Configuraciones de pretensado interior adherente

El modo de uso más habitual de la gama F con pretensado interior adherente se basa en el empleo de cordones desnudos lubricados en una vaina corrugada de fleje metálico, galvanizada o no, normalmente plana para facilitar la introducción de los elementos finos y en la que se inyecta una lechada de cemento después del tensado de los cordones.

Los anclajes, la vaina y las armaduras de pretensado se colocan antes del hormigonado de la estructura. De este modo es posible evitar el riesgo de aplastamiento de las vainas planas durante el hormigonado que impediría el posterior enfilado de los cordones.

Configuraciones de pretensado interior no adherente

Los anclajes de la gama F para el pretensado interior no adherente se utilizan con cordones protegidos con grasa y revestidos con una vaina individual de PEAD. Estas armaduras se incorporan directamente en el armado antes del hormigonado prestando especial atención para no dañar la vaina individual.

El anclaje individual AF13/15, para cordones T13 y T15 respectivamente, permite distribuir uniformemente los efectos beneficiosos del pretensado en los elementos finos.

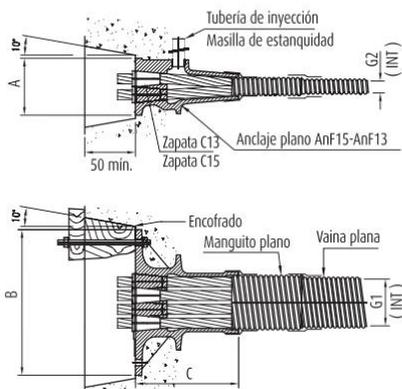


Puente de Jamuna, Bangladesh



PRETENSADO INTERIOR ADHERENTE

Unidades multicordón de 3 a 5 F13/F15



Notas: Los anclajes F han sido diseñados para una resistencia mínima del hormigón $f_{cmin} = 22$ MPa (cilíndrica).

El método de colocación habitual es el enfilado de los torones en los conductos (vainas planas) antes del hormigonado.

No obstante, en caso necesario, es posible enfilar los cordones después del hormigonado de la estructura por medio de disposiciones concretas.



Unidades	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G1 x G2 (mm ²)	G (mm)	H (mm)
A3 F13/15	85	190	163	58 x 21	95	200
A4 F13/15	90	230	163	75 x 21	100	240
A5 F13/15	90	270	163	90 x 21	100	280

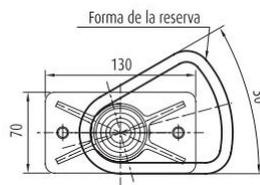
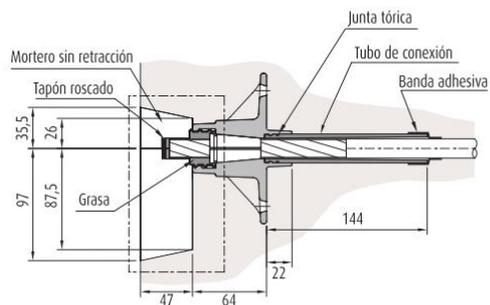


Puente en Rousson, Francia

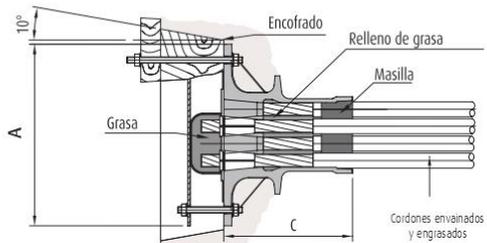
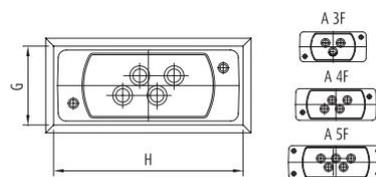
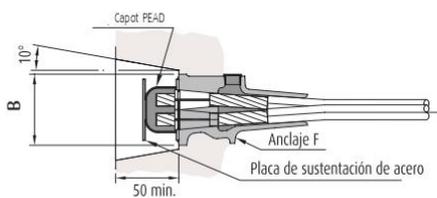


**PRETENSADO
INTERIOR
NO ADHERENTE
CON CORDONES
ENVAINADOS Y
ENGRASADOS**

1/ Unidad monocordón (1F13/1F15) CE



2/ Unidades multicordón (de 3 a 5 F13/F15)

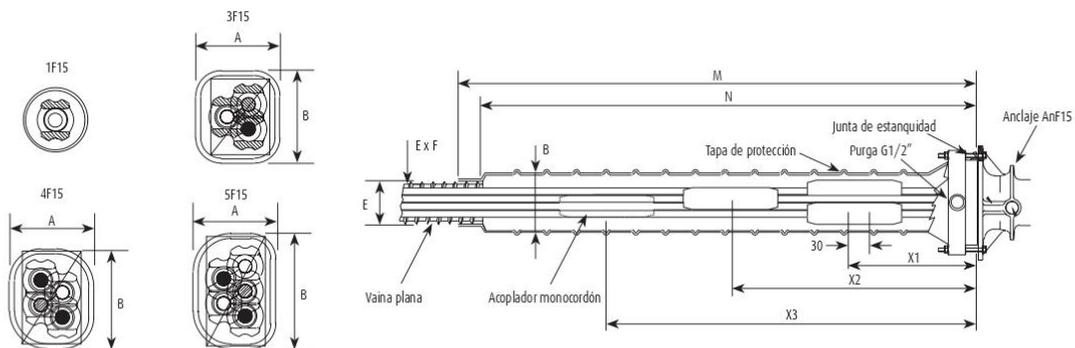


Unidades	A (mm)	B (mm)	C (mm)	G (mm)	H (mm)
A 3F 13/15	190	85	163	95	200
A 4F 13/15	230	90	163	100	240
A 5F 13/15	270	90	163	100	280



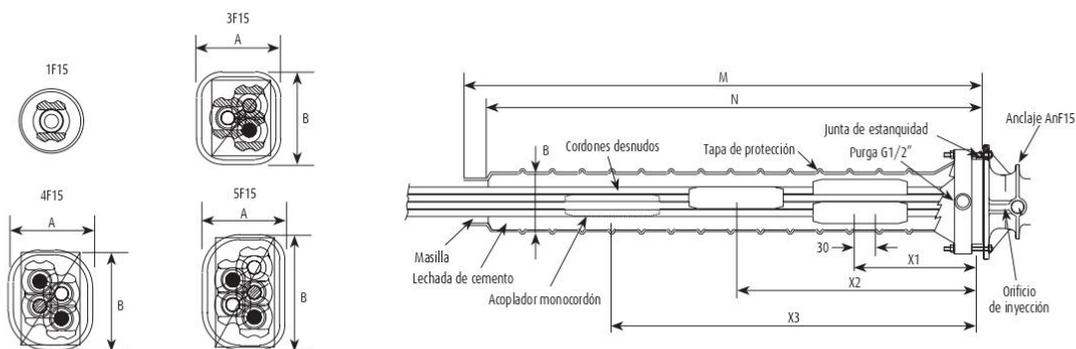
ACOPLADORES FIJOS CI MONOCORDÓN

Pretensado adherente



Unidades	A (mm)	B (mm)	E (mm)	F (mm)	M (mm)	N (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)
CI 1F13/15	-	-	-	-	550	550	250	-	-
CI 3F13/15	100	100	58	20	800	750	250	500	750
CI 4F13/115	100	110	75	20	1050	1000	250	500	750
CI 5F13/15	100	140	90	20	1050	1000	250	500	750

Pretensado no adherente



Unidades	A (mm)	B (mm)	M (mm)	N (mm)	X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)
CI 1F13/15	-	-	550	500	250	-	-
CI 3F13/15	100	100	800	750	250	500	750
CI 4F13/15	100	110	1050	1000	250	500	750
CI 5F13/15	100	140	1050	1000	250	500	750

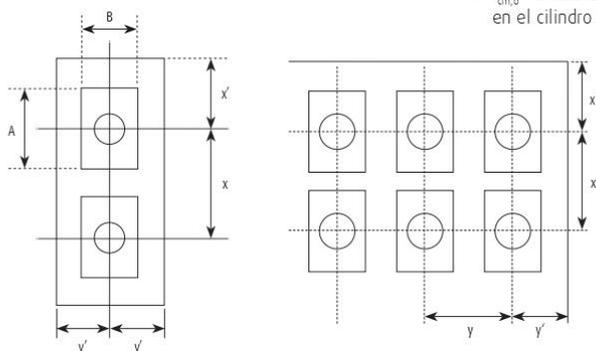


DISPOSICIONES DE LOS ANCLAJES DE LA GAMA F

Los anclajes deben estar situados a una distancia suficiente de la pared y han de estar separados según una distancia entre ejes mínima. Estas distancias se obtienen a partir de las dimensiones a y b de los montajes de los ensayos realizados en el marco del procedimiento de la Aprobación Técnica Europea. En la descripción que aparece a continuación se considera que los anclajes están dispuestos según las dos direcciones normales: x e y, con el lateral de menor tamaño de la placa de anclaje orientada según el eje y.

Notación

- A, B: dimensiones en plano de la placa de anclaje ($A \geq B$).
- a, b: longitudes laterales de la probeta ($a \geq b$).
- x, y: la distancia entre ejes de los anclajes en las direcciones x e y.
- x' y' : la distancia desde el anclaje al paramento más cercano en las direcciones x e y.
- $f_{cm,o}$: la resistencia media del hormigón a la compresión medida en el cilindro antes del tesado.



Las dimensiones x e y deben satisfacer las siguientes condiciones:

- $x \geq A + 30$ (mm)
- $y > B + 30$ (mm)
- $x \cdot y \geq a \cdot b$
- $x \geq 0,85 a$
- $y \geq 0,85 b$
- $x' \geq 0,5 x + \text{revestimiento del hormigón} - 10$ (mm)
- $y' \geq 0,5 y + \text{revestimiento del hormigón} - 10$ (mm)

Distancias a y b

Unidades	$f_{cm,o}$ (MPa)	a (mm)	b (mm)
1F 13/15	22	190	140
3/4 F 13	22	500	160
3/4 F 15	22	390	190
5 F 13	22	570	260
5 F 15	22	510	240

En la tabla lateral aparecen los valores a y b para tres resistencias $f_{cm,o}$ diferentes del hormigón en el caso de la gama F.

Si el proyecto prevé un tensado parcial o un índice de tensado inferior al mínimo $[0,8 F_{pk}; 0,9 F_{p0,1\%}]$, se puede proceder por interpolación para determinar el valor requerido de $f_{cm,o}$, teniendo en cuenta que con el 50% de la fuerza máxima, la resistencia necesaria para el hormigón puede llegar a los 2/3 de los valores indicados en las tablas anteriores y que con el 30% de esta fuerza, la resistencia que requiere el hormigón puede ser equivalente a la mitad de dichos valores.

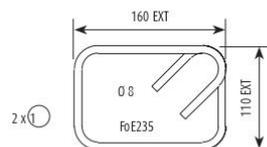
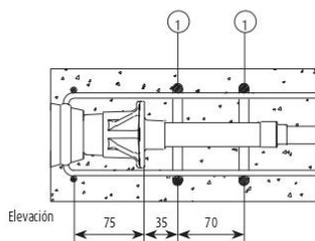




ZUNCHADO DE LOS ANCLAJES DE LA GAMA F

1/ Unidad monocordón

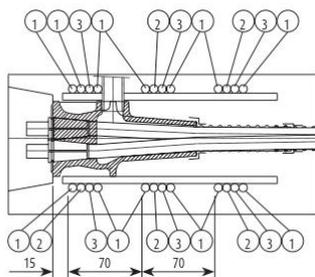
A 1F13
A 1F15



Dimensiones en mm

2/ Unidades multicordón (de 3 a 5F13/F15)

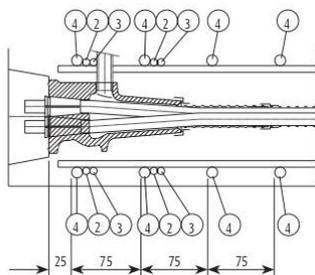
A 3F13
A 4F13



Tipo	Nº	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
1	12	8	320			
2	3	8	320	20	160	140
3	3	8	320	20	160	140

Ver el tipo de barras más bajas.

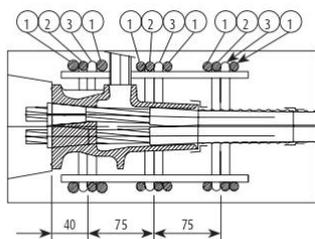
A 3F15
A 4F15



Tipo	Nº	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
2	2	8	350	60	160	160
3	2	8	350	60	160	160
4	4	12	350		160	160

Ver el tipo de barras más bajas.

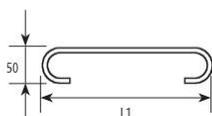
A 5F15
A 5F13



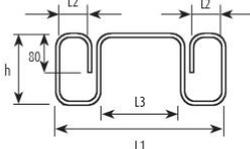
Tipo	Nº	Ø (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
1	12	10	380	-	-	-
2	3	10	380	55	190	145
3	3	10	380	55	190	145

Ver el tipo de barras más bajas.

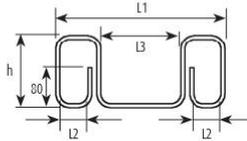
Tipo Nº 1



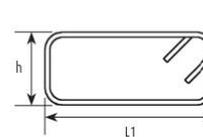
Tipo Nº 2



Tipo Nº 3



Tipo Nº 4



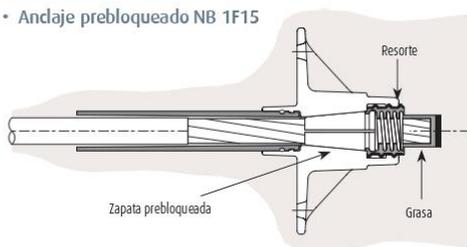


ANCLAJES PASIVOS PARA LA GAMA F

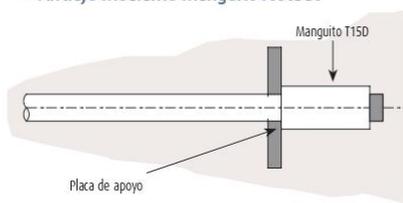
Existen tres tipos de anclajes pasivos embebidos en el hormigón que se utilizan en combinación con los anclajes activos de la gama F: el anclaje NB1F15 prebloqueado, el tipo N que utiliza una placa individual sobre la que se apoya un manguito roscado y el tipo G que funciona mediante adherencia. Los cables se colocan antes del hormigonado.

1/ Unidad monocordón

• Anclaje prebloqueado NB 1F15



• Anclaje mediante manguito roscado

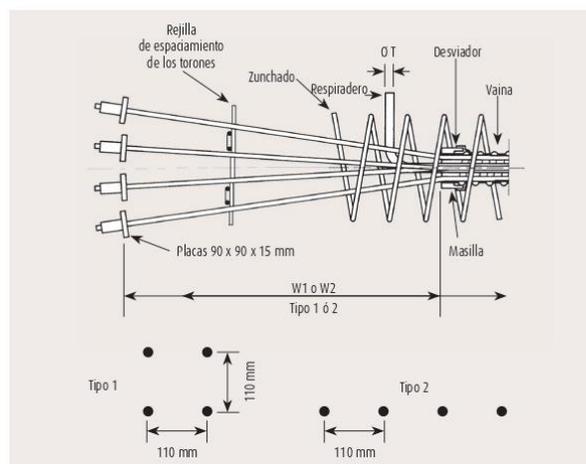


Anclaje pasivo de tipo N

En el anclaje de tipo N, cada torón cuenta con un manguito roscado que se apoya individualmente en una placa de acero.

Unidades	N		ØT (mm)
	W1 (mm)	W2 (mm)	
N3 F13/15	300	300	G 1/2"
N4 F13/15	350	350	G 1/2"
N5 F13/15	500	400	G 1/2"

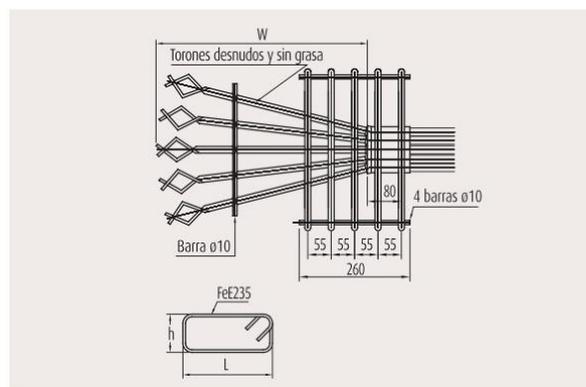
2/ Unidades multicordón (de 3 a 5F13/F15)



Anclaje pasivo de tipo G

El anclaje de tipo G es un anclaje por adherencia. El extremo de cada cordón está preformado en forma de bulbo.

Unidades	W (mm)	Ø (mm)	H (mm)	L (mm)
3F13	950	10	120	300
4F13	950	10	120	320
5F13	950	12	120	340
3F15	950	10	120	300
4F15	950	12	145	340
5F15	950	14	145	380





COMPONENTES COMUNES DE LAS GAMAS C Y F

1/ Cordones de pretensado

La tabla que aparece a continuación reúne las características principales de los cordones más habituales que pueden utilizarse junto con el sistema de pretensado de Freyssinet:

CARACTERÍSTICAS DE LOS CORDONES SEGÚN LA NORMA PREN 10138-3

Norma	Clase MPa	Diámetro nominal (mm)	Sección nominal de la armadura (mm ²)	Masa nominal (kg/m)	Carga de rotura garantizada (Fpk kN)	Límite elástico (Fp0,1 kN)
pr EN 10138-3	1 770	12,5	93	0,73	165	145
		12,9	100	0,78	177	156
		15,3	140	1,09	248	218
		15,7	150	1,18	265	234
	1 860	12,5	93	0,73	173	152
		12,9	100	0,78	186	164
		15,3	140	1,09	260	229
		15,7	150	1,18	279	246

- El alargamiento característico con carga máxima es para todos los cordones $\geq 3,5\%$,
- La relajación máxima a 1000 horas con 0,7 fpk es para todos los cordones $\leq 2,5\%$.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES FORMADOS POR CORDONES DE DIÁMETRO NOMINAL 15,7 MM Y 0,6"

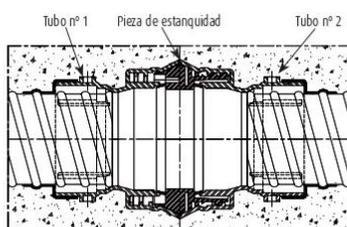
Unidades	Tipo de cordones						
	T 15,7 pr EN 10138-1 y 3				ASTM A-416-96 0,6 clase 270		
	Sección nominal (mm ²)	Masa (kg/m)	Clase 1 770 (Fm kN)	Clase 1 860 (Fm kN)	Sección nominal (mm ²)	Masa (kg/m)	Fm (kN)
1	150	1,17	265	279	140	1,102	260,7
2	300	2,34	530	558	280	2,205	521,4
3	450	3,54	795	837	420	3,306	782
4	600	4,72	1 060	1 116	560	4,41	1 043
7	1 050	8,26	1 855	1 953	980	7,71	1 825
9	1 350	10,62	2 385	2 511	1 260	9,92	2 346
12	1 800	14,16	3 180	3 348	1 680	13,22	3 128
13	1 950	15,34	3 445	3 627	1 820	14,33	3 389
19	2 850	22,42	5 035	5 301	2 660	20,94	4 953
22	3 300	25,95	5 830	6 138	3 080	24,24	5 735
25	3 750	29,50	6 625	6 975	3 500	27,55	6 518
27	4 050	31,85	7 155	7 533	3 780	29,75	7 039
31	4 650	36,58	8 215	8 649	4 340	34,16	8 082
37	5 550	43,66	9 805	10 323	5 180	40,77	9 646
55	8 250	64,9	14 575	15 345	7 700	60,61	14 339



Vaina acanalada de acero

LIASEAL			
Diámetro exterior del LIASEAL (mm)	125	140°	155°
Diámetro interior de la vaina (mm)	65	80	95

* Disponibles bajo pedido



Liaseal

2/ Conductos de pretensado interior

Para los cables de las gamas C y F se utilizan los siguientes tipos de conductos:

Vaina corrugada con fleje de acero laminado

Las dimensiones recomendadas para los conductos son las que aparecen en las tablas asociadas a cada anclaje. Sin embargo, es necesario verificar que las dimensiones propuestas son compatibles con el reglamento aplicable. Cuando es necesario lograr un coeficiente de rozamiento reducido, se puede utilizar un fleje fosfatado-jabonoso (L.F.C.) (ver página 28).

Vaina plástica corrugada de Plyduct

Este tipo de vaina, desarrollada y patentada por Freyssinet para satisfacer las recomendaciones de la fib (Federación Internacional del Hormigón) "Vainas de plástico corrugadas para postensado interno adherente" (2000) y las del informe técnico TR47 de la Concrete Society "Durable Bonded Post-tensioned Concrete Bridges", es totalmente estanca al agua y al aire.

Diámetro interior de la vaina PLYDUCT (con manguito = d + 10)									
Esesor 2,5 mm	40	45	50	60	65	70	80	90	95
Esesor 3,0 mm	100	105	110	115	120	130	160	-	-

Liaseal

El acoplador de vainas Liaseal, desarrollado por Freyssinet, garantiza la estanquidad de los conductos en las juntas de las dovelas, especialmente cuando están combinadas y no es posible acceder a ellas. Si se utilizan junto con la vaina Plyduct, permiten lograr conductos plásticos continuos y estancos.

Tubos de acero

Para la construcción de conductos totalmente estancos o con una gran desviación.

Radio de curvatura

El radio de curvatura del conducto debe ser de como mínimo:

- 100 Ø en el caso de las vainas rígidas circulares o planas que puedan curvarse manualmente (Siendo Ø = al diámetro interior del conducto).
- 3 m en el caso de los tubos de acero.
Excepcionalmente, el radio de curvatura puede reducirse a 20 Ø si se trata de tubos de acero y siempre que:
- Este radio no sea inferior a 1,1 m para los torones T13 y 1,3 m para los torones T15.
- La tensión no supere el 70% del esfuerzo de rotura garantizado de la armadura en la zona en la que el radio es inferior a los 3 metros.
- La suma de las desviaciones angulares a lo largo de la armadura no supere $3\pi/2$ radianes.
- La zona de curvatura pronunciada se considere como un anclaje pasivo cuando la desviación angular sea superior a $\pi/2$ radianes.

Caso concreto

Si se utilizan vainas (L.F.C.), es posible reducir el radio de curvatura de las vainas que pueden curvarse manualmente, siempre y cuando se conserve una correcta transmisión de las fuerzas de pretensado. En este caso, el límite inferior del radio de curvatura es $R_{min} \geq 1,35v n$, teniendo en cuenta que n se refiere al número de cordones del cable.

Rozamiento en la sección principal

Para el cálculo del esfuerzo de pretensado, los valores de los coeficientes de rozamiento (μ) y parasito por metrolínea (k) varían en función del uso de cada tipo de conducto, de su tratamiento superficial y de la relación $P_{(x)} = P_{max} e^{-\mu(0+x)}$.



Lechada tixotrópica

Lechada de cemento

Para garantizar un llenado perfecto de los conductos y una protección duradera del acero de pretensado, las propiedades de la lechada de cemento deben adaptarse a la técnica de inyección, que puede variar en función del trazado de los cables, de las temperaturas ambientales, de la posición de las purgas y los puntos de inyección, etc.

Tomando como base los estudios de laboratorio realizados y la experiencia adquirida en todo tipo de proyectos, Freyssinet ha creado una gama de lechadas de pretensado que responde a las necesidades específicas de cualquier tipo de proyecto.

- **Lechada de alta estabilidad FREYSSIFLOW HP 215**

Esta lechada permite realizar la inyección en cables con un gran desnivel sin necesidad de repetir la operación de inyección gracias a la ausencia de exudación.

- **Lechada especial de larga duración FREYSSIFLOW RT 514**

Esta lechada conserva un alto índice de fluidez durante un periodo prolongado, lo que permite realizar inyecciones en cables de grandes volúmenes en obras que presentan restricciones importantes, como los recintos de los reactores nucleares.

- **Lechada especial tixotrópica FREYSSIFLOW TX**

Este tipo de lechada caracterizado por su elevado valor de cizallamiento está especialmente indicado para la inyección en cables de gran diámetro y geometría compleja. La estabilidad del frente de propagación evita el hundimiento de la lechada al pasar por puntos altos, impidiendo de este modo la formación de bolsas de aire. El uso de la lechada Freyssiflow TX permite limitar el empleo de purgas de inyección e incluso eliminarlos totalmente.

En el caso de las aplicaciones que requieren volúmenes reducidos de lechada de cemento, es más recomendable utilizar un producto listo para su uso al que únicamente haya que añadir agua. Si se trata de aplicaciones que requieren grandes cantidades de lechada de cemento, Freyssinet puede instalar en la obra una central de mezclado que permita llevar a cabo campañas de inyección de grupos completos de cables.

PROPIEDADES GENERALES DE LA LECHADA DE PRETENSADO

Propiedad	Número de ensayos	Criterio de aceptación	Método de ensayo
Granulometría	1 ensayo	Ningún residuo	EN 445 - Tamiz
Fluidez	1 ensayo inmediatamente después del mezclado	$11 \text{ s} \leq t_v \leq 20 \text{ s}$	EN 445 - Cono de Marsh
	1 ensayo a los 15 min, 30 min, 60 min, 90 min y 120 min	$t \leq 25 \text{ s}$	
Temperatura	1 medición en t_0 , t_0+30 min, t_0+60 min y t_0+120 min.	$T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$	Termómetro
Exudación	3 ensayos	La media de las 3 mediciones no debe superar el 0,3% después de 3 h.	EN 445 - Tubo 1 m
Cambio de volumen	3 ensayos	El cambio de volumen debe estar comprendido entre -1% y +5% tras 1 h, 3 h y 24 h	EN 445 - Tubo 1 m
Resistencia a la compresión	3 ensayos	$\geq 27 \text{ MPa}$ a los 7 días $\geq 30 \text{ MPa}$ a los 28 días	EN 196 - 1

Producto blando

Los productos blandos anticorrosión son químicamente inertes con respecto a los aceros de pretensado. Se clasifican en dos categorías principales: las grasas y las ceras (inyectadas en caliente). Freyssinet ha desarrollado la cera artificial **Freyssiwax** que posee una larga cadena molecular especialmente diseñada para mantener la estabilidad durante un largo periodo de tiempo y minimizar de este modo los fenómenos de exudación.



INSTALACIÓN



La instalación del sistema Freyssinet se divide en estas cuatro fases principales:

- 1/ Colocación de los conductos y las placas de anclaje
- 2/ Enfilado de los cordones y colocación de los anclajes
- 3/ Tesado
- 4/ Inyección y sellado

1/ Colocación de los conductos y las placas de anclaje

Si se trata de pretensado interior, los conductos se colocan antes del hormigonado. Las vainas que más se utilizan son las corrugadas de fleje de acero o PEAD.

Para pretensado exterior los conductos más habituales son los tubos de PEAD. Ha de prestarse especial atención a la ubicación y la sustentación de los conductos.

2/ Enfilado de los cordones y colocación de los anclajes

Tras verificar que el paso de los conductos está libre, normalmente los cables se enfilan empujando cada cordón desde un extremo.

El material de enfilado de Freyssinet permite lograr cables de pretensado exterior de más de 200 m de longitud.

3/ Tesado

Los cables provistos con anclajes de gama C y F se tensan con gatos hidráulicos monotorón o multitorón con bloqueo hidráulico de las cuñas de anclaje. En caso necesario pueden utilizarse gatos sin bloqueo hidráulico o monotorón.

La fuerza inicial es:

- La fuerza de tesado tras la transferencia al anclaje en el caso de:
 - El Eurocódigo 2 (el menor de los valores $0,75 f_{pk}$ y $0,85 f_{p0,1k}$)
 - El Reglamento AASHTO ($0,7 f_{pk}$)
- La fuerza de tesado antes de la transferencia al anclaje en el caso de:
 - El reglamento del Eurocódigo 2 y el BPEL 91 (el menor de los valores $0,8 f_{pk}$ y $0,9 f_{p0,1}$)
 - El Reglamento AASHTO ($0,7 f_{pk}$)

No podrá iniciarse la operación de tesado si la resistencia mecánica del hormigón medida en la obra en las proximidades de la zona de anclaje es superior al valor $f_{cm,0}$ seleccionado para el proyecto.





► GAMA C

Gatos de tipo CC

Gracias a su tamaño compacto, los gatos de tipo CC permiten reducir:

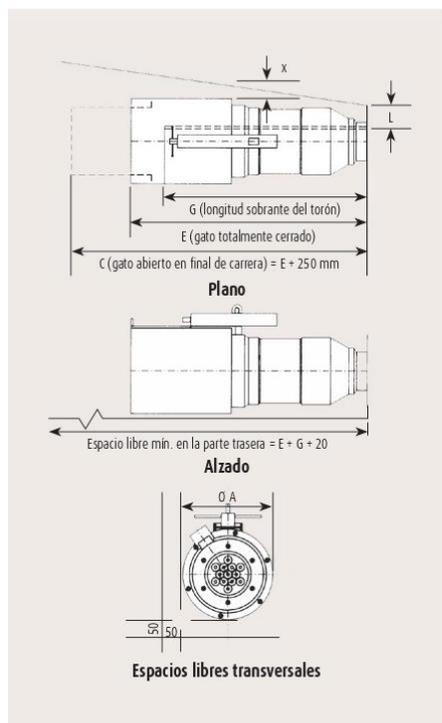
- Las dimensiones de los cajetines,
- Las distancias a las paredes y, de ese modo, los momentos parásitos.
- El volumen del hormigón de los almohadillados y las nervaduras necesarias a la salida de los cables en un vano.
- La posibilidad de aumentar la excentricidad de los cables y, por lo tanto, su eficacia.

El tamaño compacto y la automatización de los gatos de tipo CC facilitan las operaciones de mantenimiento y tesado.

Dimensiones de los gatos CC

Gatos	Unidades	OA (mm)	E (mm)	G (mm)	L (mm)	α para x = 50	Carrera (mm)
CC 350	7C15	360	1 105	690	120	11°	250
	9C15		1 105	690	150	8°	
	12C15		1 115	700	150	8°	
	13C15		1 074	660	150	9°	
CC 500	7C15	438	1 085	688	120	15°	250
	9C15		1 085	688	150	13°	
	12C15		1 095	698	150	13°	
	13C15		1 100	703	150	12°	
	19C15		1 071	674	170	11°	
CC 1000	19C15	593	1 160	723	170	16°	250
	22C15		1 170	733	210	13°	
	25C15		1 175	738	210	13°	
	25C15P		1 175	738	210	13°	
	27C15		1 180	743	210	13°	
	31C15		1 146	709	210	13°	
CC 1500	37C15	722	1 550	770	240	9°	350
	55C15		1 986	700	280	8°	

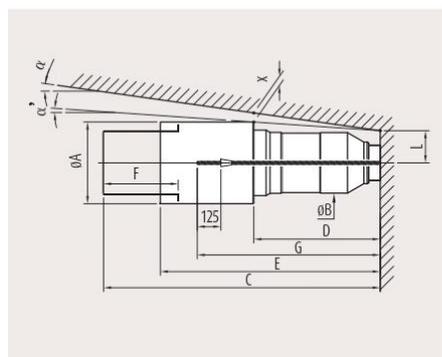
Los cables 3 y 4C15 se tensan con el gato K100 (ver página siguiente).



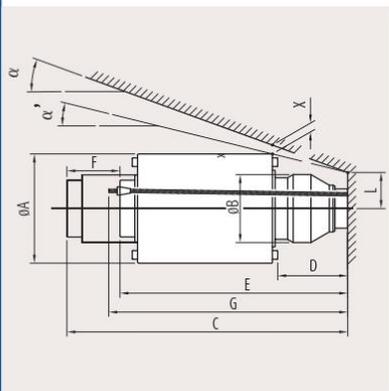
Gatos de tipo C/F

Gatos	Unidades	OA (mm)	OB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α actual	φ para x = 50
C350F	7C15	355	263	1 415	731	1165	250	1120	120	4°30'	8°
	9C15 ^a			1 415	731	1165		1120	150	2°54'	8°
	12C15 ^a			1 115	741	1175		1130	150	3°50'	8°
	13C15 ^a			1 374	675	1124		1080	150	2°20'	7°
C500F	7C15	432	320	1513	714	1213	300	1080	120	7°39'	12°
	9C15 ^a			1523	709	1223		1085	150	7°25'	13°
	12C15 ^a			1533	719	1233		1095	150	7°6'	13°
	13C15			1538	724	1238		1100	150	5°13'	9°
	19C15			1482	668	1182		1050	170	3°56'	8°
C1000F	19C15	582	417	1583	754	1283	300	1110	170	9°	13°
	22C15 ^a			1593	764	1293		1120	210	7°4'	11°
	25C15			1593	764	1293		1120		6°03'	10°
	25CC15 ^a			1593	764	1293		1120		6°01'	10°
	27C15 ^a			1598	769	1298		1125		6°01'	10°
	31C15			1603	774	1303		1130		5°58'	10°
C1500F	37C15	707	512	2423	134	1923	500	1250	210	7°13'	10°
	55C15			2438	1144	1938		1270	140	5°39'	8°
	55C15			2375	1076	1875		1200	280	3°54'	7°

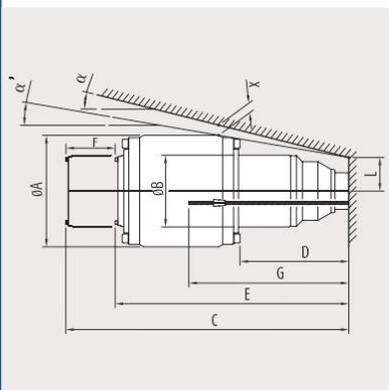
^aDisponibilidad bajo pedido.



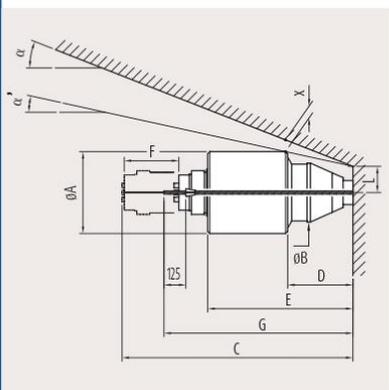
El esquema se basa en un dispositivo de suspensión del gato situado en un plano perpendicular al del esquema.



El esquema se basa en un dispositivo de suspensión del gato situado en un plano perpendicular al del esquema.



El esquema se basa en un dispositivo de suspensión del gato situado en un plano perpendicular al del esquema.



El esquema se basa en un dispositivo de suspensión del gato situado en un plano perpendicular al del esquema.

Gatos del tipo K/C

Gatos	Unidades	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α actual	α para X=50			
K100C	3C15	290	220	913	256	713	200	820	100	9°21'	19°			
	4C15			918	349	718								
K200C	7C15	350	263	1154	435	954	250	1060	120	6°52'	13°			
	9C15	440	263	1153	324	903		1005	150	9°09'	17°			
	12C15			1163	334	913		1015	150	9°40'	16°			
13C15	1168			339	918	1020	150	9°33'	16°					
K500C	19C15	515 [±]	320	1333	361	1083	250	1136	170	13°23'	21°			
	508	353		1083	13°57'	23°								
	22C15	515 [±]		1343	349	1093				1146	15°59'	21°		
	508	341		1093	16°32'	23°								
K700C	25C15	640 [±]	419	1465	420	1215	250	1320	210	12°25'	18°			
	25C15	609		454	1215	11°45'				18°				
	27C15	640 [±]		1465	438	1215				1320	11°33'	18°		
	609	474		1215	10°21'	16°								
	31C15	640 [±]		1475	430	1225				1330	12°09'	18°		
	609	464		1225	11°30'	18°								
K1000C	770 [±]	492	492	1548	490	1298	250	1400		15°59'	21°			
	720			523	1298	16°40'				21°				
	37C15			770 [±]	1497	434				1247	1350	240	14°23'	20°
	720			467	1247	15°20'				20°				
	720			467	1247	15°20'				20°				

[±]Disponibilidad bajo pedido.

Gatos de tipo K500F

Gatos	Unidades	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α actual	α para X=50
K500F	13C15	565	364	1462	580	1212	250	840	150	9°41'	14°
	19C15			1433	551	1183		810	170	9°17'	13°

Gatos del tipo VP/C

Gatos	Unidades	ØA (mm)	ØB (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	L (mm)	α actual	α para X=50
VP260C	7C15	375	270	1151	299	735	250	980	120	12°19'	21°
	13C15			1126	264	700		945	150	8°5'	19°
VP650C	19C15	560	395	1602	310	1052	300	1400	170	19°32'	28°
	31C15			1441	320	973		1410	210	12°20'	21°

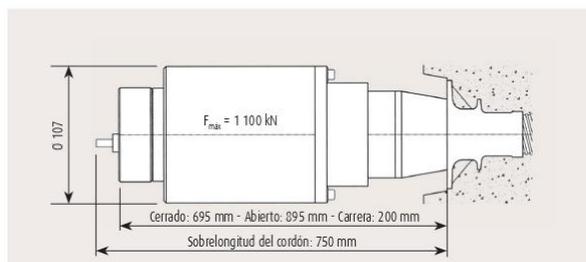


Viaducto del Sioule, Francia

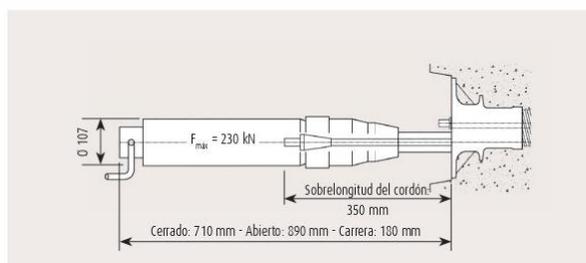
► GAMA F

El tesado de los cables con anclajes 3F15, 4F15 y 5F15 puede realizarse bien trabajando sobre el cable completo con un gato K100, bien torón a torón con un gato M23.

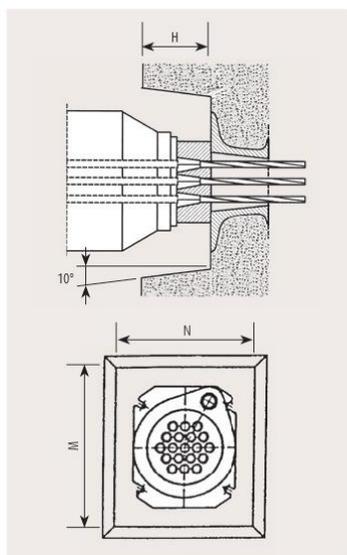
Las principales dimensiones de estos gatos se indican a continuación:



K 100



M 23



► SELLADO DEFINITIVO DE LOS ANCLAJES

Unidades	M (mm)	N (mm)	H (mm)
3F15	200	95	50
3C15	200	170	120
4F15	240	100	50
4C15	200	180	125
5F15	280	100	50
7C15	230	210	125
9C15	275	245	125
12C15	290	260	150
13C15	300	270	150
19C15	350	310	160
22C15	380	335	170
25C15	410	360	170
25C15P	410	360	170
27C15	400	350	180
31C15	435	380	180
37C15	470	410	195
55C15	560	480	230



Formulación de la lechada de cemento en el laboratorio de Freyssinet



Capots de inyección

4/ Inyección y sellado

• El objetivo de la inyección en la sección principal del cable y del sellado de los anclajes es proteger los cables frente a la corrosión. La inyección en el cable se lleva a cabo por medio de llenado, bien mediante una lechada de cemento que constituye un medio de pasivación para los elementos de acero, bien con productos hidrófobos, como la grasa o la cera, que crean un revestimiento continuo y estanco a los agentes agresivos.

• Para que la protección contra la corrosión sea efectiva, es recomendable garantizar un llenado total de los conductos, sin que se produzcan bolsas de aire que puedan convertirse en zonas de acumulación de agua infiltrada. Este objetivo normalmente se logra seleccionando la velocidad de progresión adecuada de la lechada en la vaina y mediante purgas en los puntos altos de los cables desviados.

• En el caso de los trazados complejos, por ejemplo si se trata de cables muy desviados o incluso verticales, o para paliar las posibles dificultades de instalación de purgas en puntos altos, Freyssinet ha desarrollado técnicas de inyección específicas que se describen a continuación.

Inyección en vacío

Su finalidad es lograr un vacío parcial de aire en el conducto antes de su llenado para no atrapar bolsas de aire. Esta técnica se utiliza exclusivamente para conductos estancos y resulta recomendable para los cables que no permiten situar las purgas en puntos altos.

En el caso de los cables horizontales desviados, puede combinarse con el empleo de la lechada tixotrópica Freyssiflow TX para obtener un mejor llenado.

También permite realizar inyecciones en cables en forma de U desde un anclaje superior sin temor a que se produzca un efecto de hundimiento del frente de la lechada.

Reinyección de los puntos altos

Cuando existe un riesgo importante de exudación en los puntos altos del trazado de los cables o cables con mucha desviación o incluso verticales, es conveniente volver a inyectar estos puntos altos para purgar la lechada pobre. El volumen que debe purgarse se evalúa caso a caso tomando como referencia la amplia experiencia de Freyssinet.

Freyssinet también ha desarrollado disposiciones tecnológicas concretas para los casos en los que no es posible sacar un tubo de reinyección del paramento.

Inyección en los cables con torones envainados y protegidos antes del tensado

Los cables formados por torones envainados y protegidos situados en un conducto deben inyectarse con una lechada de cemento antes de su tensado. Cuando se ha endurecido, la lechada desempeña la función de separador entre los torones e impide el aplastamiento de las vainas plásticas individuales a la altura de las desviaciones del trazado. Esta técnica perfeccionada por Freyssinet garantiza la estanquidad de la vaina de cada cordón y su correcto desplazamiento durante el tesado.



Para reducir las pérdidas de cargas hidráulicas en los puntos de inyección, Freyssinet ha desarrollado conectores de vainas que permiten inyectar el producto de protección por la parte trasera del bloque de anclaje a través de un tubo de gran diámetro.

Esta disposición se adapta perfectamente a los cables verticales de gran altura. También facilita las posibles operaciones de reinyección en las cabezas de anclajes.



Capot permanente en plástico



Toma de inyección sobre conducto en PEAD

Capots permanentes

Los anclajes de pretensado se protegen mediante un sellado de hormigón si el anclaje está situado en un cajetín o por medio de una tapa permanente cuando el anclaje debe mantenerse accesible para permitir intervenciones posteriores. Los capots permanentes también se utilizan para la inyección en los conductos. Pueden ser de fundición (galvanizadas o pintadas, según se elija) o de plástico.

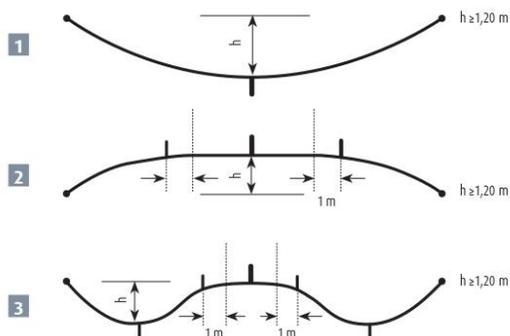
Purgas y toma de inyección

Los esquemas que aparecen a continuación muestran las posiciones de las purgas y los tubos de inyección para trazados relativamente simples.

Figura 1 En los trazados parabólicos en forma de U que presentan un desnivel superior a 1,2 m, se coloca un tubo de inyección en el punto bajo.

Figura 2 En los trazados parabólicos en forma de U invertida que presentan un desnivel superior a 1,2 m, se colocan en el punto alto una purga y dos tubos descentrados. Durante la reinyección desde el punto alto, uno de ellos funciona como tubo de inyección y el otro como purga.

Figura 3 Los cables horizontales que presentan dos ondulaciones en forma de U separadas por una zona recta y que tienen un desnivel superior a 1,2 m deben inyectarse desde uno de los puntos bajos, inclusive la zona recta, y debe repetirse la inyección desde el otro punto bajo realizando en este caso la purga desde la zona horizontal.



Para los trazados más complejos, le recomendamos que pida asesoramiento a los servicios técnicos de Freyssinet.



Apéndice C. Catálogo de productos EMCOCABLES.



Alambres

1 | ALAMBRES Y TORONES PARA CONCRETO PREENFORZADO

1.1 Alambres

EMCOCABLES® produce una amplia gama de alambres con alto contenido de carbono entre los que se encuentran los alambres para concreto preesforzado utilizados en estructuras de pequeñas y de medianas dimensiones.

Las normas básicas del producto son: ASTM A 421, NTC 159, UNE 36094 y ASTM A 881; los alambres son fabricados lisos y/o grafilados, según el diámetro y/o norma de referencia.

Los alambres se utilizan especialmente para estructuras pretensadas. (Ver tabla 1).



REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DE LOS ALAMBRES PARA CONCRETO PREENFORZADO											TABLA 1
Diámetro Nominal		Tolerancia del Diámetro (+/-)		Profundidad del Grafilado (mm)		Elongación Mínima	Carga al 1% Mínima		Carga de Rotura Mínima		Normas Aplicables
pulg	mm	pulg	mm	Min	Max	%	lbf	kgf	lbf	kgf	
0,0985	2,50	0,001	0,03	N.A	N.A	3,5	1.555	705	1.877	851	NTC 159
0,118	3,00	0,001	0,03	N.A	N.A	3,5	2.255	1.023	2.644	1.200	NTC 159
0,157	4,00	0,002	0,04	0,051	0,127	3,5	4.190	1.900	4.740	2.100	NTC 159
0,197	5,00	0,002	0,05	0,076	0,152	4,0	6.286	2.850	7.166	3.250	NTC 159
0,207	5,26	0,002	0,05	0,101	0,180	3,5	7.211	3.272	8.485	3.850	NTC 159
0,236	6,00	0,002	0,05	0,076	0,152	4,0	8.710	3.950	9.923	4.500	NTC 159
0,276	7,00	0,002	0,05	0,101	0,203	4,5	11.466	5.200	13.120	5.950	NTC 159
0,198	5,03	0,003	0,08	0,076	0,152	3,0	5.882	2.667	6.920	3.138	ASTMA 881
0,216	5,50	0,003	0,08	0,076	0,152	3,0	6.545	2.968	7.700	3.492	ASTMA 881
0,196	4,98	0,002	0,05	0,076	0,152	4,0	6.155	2.791	7.241	3.284	ASTMA 421 / UNE 36094*
0,250	6,35	0,002	0,05	0,076	0,152	4,0	10.013	4.541	11.781	5.342	ASTMA 421 / UNE 36094*
0,276	7,01	0,002	0,05	0,076	0,152	4,0	11.950	5.420	14.059	6.376	ASTMA 421 / UNE 36094*

* UNE 36094 aplica para el grafilado y la ASTM A 421 para las propiedades mecánicas. Para travesía de ferrocarril ASTM A 881 especialmente.



Torones

1.2 Torones

Generalmente los torones están constituidos por un alambre central y seis alambres exteriores enrollados helicoidalmente sobre dicho núcleo, estos torones se producen sin recubrimiento, con recubrimiento de Cinc y/o polietileno de alta densidad, según las necesidades y aplicaciones definidas por el cliente. Normas NTC 2010, ASTMA 416 y Post-Tensioning Institute (PTI).

Adicional a los torones de 7 alambres, EMCOABLES® produce cordones de dos alambres (biflares) o de tres alambres (Torzales), basados en normas de empresa y/o internacionales.

EMCOABLES® también produce torones grafilados basados en la norma ASTMA 886.

Las dimensiones y propiedades de los cordones se relacionan en las tablas 2 y 3.

REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DE LOS TORONES 1 X 7.

TABLA 2

Grado	Designación del torón No	Diámetro del torón mm (pulg.)	Resistencia a la rotura mínima del torón, kN (lbf)	Área de acero del torón mm ² (pulg ²)	Peso del torón kg/1000 m (lb/1000 ft)
Grado 1725 (250)	6	6,40 (0,250)	40,0 (9.000)	23,20 (0,036)	182 (122)
	8	7,90 (0,313)	64,5 (14.500)	37,40 (0,058)	294 (197)
	9	9,50 (0,375)	89,0 (20.000)	51,60 (0,080)	405 (272)
	11	11,10 (0,438)	120,1 (27.000)	69,70 (0,108)	548 (367)
	13	12,70 (0,500)	160,1 (36.000)	92,9 (0,144)	730 (490)
	15	15,20 (0,600)	240,2 (54.000)	139,40 (0,216)	1.094 (737)
Grado 1860 (270)	9	9,53 (0,375)	102,3 (23.000)	54,80 (0,085)	432 (290)
	11	11,11 (0,438)	137,9 (31.000)	74,20 (0,115)	582 (390)
	13	12,70 (0,500)	183,7 (41.300)	98,70 (0,153)	775 (520)
	15	15,24 (0,600)	260,7 (58.600)	140,00 (0,217)	1.102 (740)

REQUISITOS DE LÍMITE DE FLUENCIA

TABLA 3

Grado	Designación del torón No	Diámetro del torón mm (pulg.)	Carga inicial kN (lbf)	Mínima carga de tensión de 1% kN (lbf)	
				Baja relajación Kn (lb)	Relajación normal
Grado 1725 (250)	6	6,40 (0,250)	4,0 (900)	36,0 (8.100)	34,0 (7.650)
	8	7,90 (0,313)	6,5 (1.450)	58,1 (13.050)	54,7 (12.300)
	9	9,50 (0,375)	8,9 (2.000)	80,1 (18.000)	75,6 (17.000)
	11	11,10 (0,438)	12,0 (2.700)	108,1 (24.300)	102,3 (23.000)
	13	12,70 (0,500)	16,0 (3.600)	144,1 (32.400)	136,2 (30.600)
	15	15,20 (0,600)	24,0 (5.400)	216,2 (48.600)	204,2 (45.900)
Grado 1860 (270)	9	9,53 (0,375)	10,2 (2.300)	92,1 (20.700)	87,0 (19.550)
	11	11,11 (0,438)	13,8 (3.100)	124,1 (27.900)	117,2 (26.350)
	13	12,70 (0,500)	18,4 (4.130)	165,3 (37.170)	156,1 (35.100)
	15	15,24 (0,600)	26,1 (5.860)	234,6 (52.740)	221,5 (49.800)

Nota1: Las normas ASTMA 416 aplica para las propiedades mecánicas de los torones de acero fabricados con alambres lisos, la ASTM A 886 aplica para las propiedades mecánicas de torones de acero con alambres grafilados.

Nota2: Los cordones biflares y los torzales tienen resistencia última a la tracción de 1660 Mpa mínimo y elongación de 3.5% mínima.



Torones

1.3 Torón encauchetado

Propiedades Mecánicas y Físicas

Las propiedades de carga de rotura, carga al 1% de elongación, longitud de paso y diámetro son las mismas que se requieren para el torón sin recubrimiento (uncoated strand), propiedades establecidas por la ASTM A 416 y detallada en las tablas 2 y 3.

Las especificaciones para el recubrimiento (chaqueta), establecidas por el Post-Tensioning Institute se relacionan a continuación.

Propiedades de la Cubierta (Chaqueta)

- Suficiente resistencia y durabilidad para evitar el daño del torón durante la fabricación, transporte, instalación y/o tensionamiento.
- Hermeticidad en toda la longitud de la cubierta.
- No debe reaccionar con el concreto, el acero ni con el inhibidor de corrosión (grasa de relleno).
- El espesor mínimo de la cubierta (chaqueta) no debe ser menor que 1.0mm (0.040") para polietileno y/o polipropileno, de alta densidad o el equivalente si se usan otros materiales.
- El diámetro interno de la cubierta (chaqueta) debe ser al menos 0,76mm (0.030") mayor al diámetro máximo del torón.

Inhibidor de Corrosión

El recubrimiento del material inhibidor de corrosión debe tener las siguientes propiedades:

- Ser químicamente estable y no reactivo con el acero, el material de la cubierta (chaqueta) y el concreto.
- Debe tener la polaridad adecuada para desplazar la humedad.
- Proveer una adecuada lubricación entre el torón y la cubierta (chaqueta), con una cantidad mínima de grasa.



1.4 Torón galvanizado

Propiedades Físicas y Mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas corresponden a los grados 270 y 250, definidas en la ASTM A 416, para torones de relajación normal; al igual que, para los torones desnudos, el grado se determina tomando como base el área nominal del torón. (Tablas 2 y 3).

Propiedades de Recubrimiento

El cinc utilizado para la protección de los alambres constitutivos del torón debe ser de alta pureza grado SHG (Special High Grade) de acuerdo con lo establecido en la ASTM B 6, para garantizar la formación adecuada de la interfase de Hierro-Cinc lo suficientemente tenaz, no frágil y lograr una adecuada protección galvánica del acero.

La masa de recubrimiento de cinc en g/m² debe ser homogénea en toda la longitud de los alambres, cumpliendo los requisitos de las normas y/o especificaciones previamente acordadas por el cliente, por ejemplo ASTM A 475, BS 183 (British Standard), ASTM A 363, Normas de EMCOABLES® y/o propias del cliente.



Alambrón y demás Materia Prima

1 | MATERIA PRIMA

Los alambres y torones para concreto preesforzado son producidos utilizando alambrones de acero con alto contenido de carbono cuyas características físicas y químicas son certificadas por los proveedores, de acuerdo con lo establecido en normas internacionales y/o regionales. Ejemplo: ASTM A 510.

Para garantizar un tamaño de grano fino y una micro estructura adecuada el alambrón debe ser suministrado con un tratamiento térmico final denominado Stelmor.



2 | PROCESO DE FABRICACIÓN

2.1 Limpieza del Alambrón

Para remover el óxido superficial, se sumergen los rollos de alambrón en una solución de ácido a temperatura ambiente con tiempos y concentración debidamente controladas para evitar la fragilización por absorción de hidrógeno.

Posterior al proceso de decapado el rollo de alambrón es enjuagado con agua a presión para retirar el ácido residual, luego es neutralizado con bórax y/o fosfato, compuestos que ayudan en el proceso siguiente de trefilado.



2.2 Trefilación

Es un proceso de deformación en frío que permite reducir el diámetro, sin generación de virutas, de la mayoría de los materiales metálicos de forma alargada y sección simétrica cuya fabricación se haya originado en procesos de laminación.

2.3 Toronado (Cordoneado).

Consiste en enrollar helicoidalmente los alambres de acero sobre un alma o núcleo, constituido por un alambre de mayor diámetro que los exteriores.

2.4 Alivio de esfuerzos

Para aliviar los esfuerzos del trabajo en frío (trefilado), los torones de baja relajación se someten a calentamiento por inducción en horno, con tensión aplicada simultáneamente, logrando una micro estructura estable que garantiza menos pérdidas de carga en su aplicación.

El alivio de esfuerzos en plomo fundido se utiliza para los alambres y torones de relajación normal.

3 | EMPAQUE



3.1 Alambres

Los alambres son empacados en rollos cuyos pesos son previamente acordados con el cliente.

3.2 Torones

Los torones son embalados en empaques sin núcleo, debidamente amarrados y estibados.



4 CONTROL DE PROPIEDADES

Las propiedades de los alambres y torones son controladas durante todas las etapas de proceso, de acuerdo con el plan de calidad detallado en el flujograma.



Flujograma	Actividades	Parámetros a controlar	Instrumentos de medida
	Lavado	1. Grado de concentración de ácidos, bórax, fosfato	1. Titulación, ácido base
	Treflado	1. Diámetro 2. Carga de rotura 3. Superficie	1. Micrómetro 2. Máquina de tensión 3. Visual
	1. Transporte al toronado 2. Alivio de esfuerzos	1. Identificación 2. Diámetro	1. Visual 2. Micrómetro 3. Vernier
	(Alambres con destino al cliente)	1. Velocidad 2. Temperatura 3. Carga de rotura 4. Diámetro	1. Vueltas / Reloj 2. Pirómetro 3. Máquina de tensión 4. Micrómetro
	Aislamiento de máquinas toronadoras	1. Herramental	1. Galgas 2. Regletas
	Toronado	1. Longitud de paso 2. Dirección del paso	1. Vernier 2. Visual
	Alivio de esfuerzos	1. Temperatura 2. Tensión	1. Pirómetro 2. Amperímetro
	Inspección Alambres	1. Diámetro 2. Resistencia mecánica 3. Doblamiento 4. Profundidad del graficado	1. Micrómetro 2. Máquina de tensión 3. Máquina dobladora 4. Comparador de carátula
	Inspección Torones	1. Paso 2. Diámetro 3. Carga al 1% 4. Carga de rotura 5. Ensayo de relajación	1. Metro 2. Vernier 3. Máquina de tensión y Extensómetro 4. Máquina de tensión 5. Máquina de baja relajación
	Almacenamiento para despacho	1. Cantidad	1. Báscula

Apéndice D. Catálogo de productos de la empresa DYWIDAG.

Sistemas DYWIDAG

Las barras y componentes DYWIDAG exceden los límites exigidos por las normas brasileñas y normas colombianas. Su rosca robusta proporciona máxima adherencia acero/hormigón, única en el mercado, característica clave para garantizar una transferencia de carga adecuada en la Estructura anclada o reforzada.

Los tendones DYWIDAG son normalmente aplicados en medios ambientales agresivos. Por lo tanto, requieren una adecuada protección contra la corrosión. Para esto, disponemos de accesorios de protección específicos y de la opción de cobertura epoxi como primera capa de protección.

Con el lanzamiento de los nuevos diámetros, conseguimos obtener mayor alcance en el soporte a las cargas de trabajo, alcanzando aun más nichos del mercado y suministrando para las más diversas aplicaciones.

Materiales a Medida

Los tendones son proporcionados en las medidas especificadas en el proyecto, evitando pérdidas de material en el trabajo y reduciendo la necesidad de manguitos de unión.

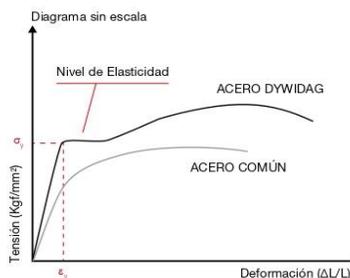
Pueden estar compuestos por barras enteras de hasta 11,8 metros de longitud.

Nivel de Fluencia Real

El acero DYWIDAG tiene un nivel de elasticidad bien definido, por lo que su límite de fluencia es real y no calculado, como en los aceros comunes.

Todas sus ventajas sumadas constituyen el sistema ideal para la ejecución de tirantes de pretensado.

Advertencia: El alto rendimiento de los Sistemas DYWIDAG no permite el proceso de soldadura de las barras (ni siquiera con sus componentes).



Tuerca de Anclaje

Transfiere el pretensado a la placa de anclaje

Manguito de Unión

Permite el montaje de tirantes de cualquier longitud



Propiedades de los Sistemas DYWIDAG

Ø Nominal	Tensión de Elasticidad	Tensión de Ruptura	Carga de Elasticidad	Carga de Ruptura	Paso	Área de Sección Transversal ^{a)}	Peso ^{b)}
	[Kg/mm ² / MPa]	[Kg/mm ² / MPa]	[tf]	[tf]			
DW 15 mm	95 [950]	105 [1.050]	16	19	10	177	1,41
DW 32 mm	95 [950]	105 [1.050]	76	84	16	804	6,31
DW 36 mm	95 [950]	105 [1.050]	97	107	18	1.018	8,27
DW 40 mm*	95 [950]	105 [1.050]	119	132	20	1.257	10,21
DW 47 mm	95 [950]	105 [1.050]	165	182	21	1.735	14,10

a) área calculada

b) peso nominal teórico

*Bajo demanda. Plazo de entrega mínimo: 60 días

Módulo de Elasticidad: E = 20.500 Kg/mm² +/- 5%

Componentes de los Sistemas DYWIDAG

Tuercas de Anclaje

Los anclajes pueden estar compuestos por tuercas hexagonales de base plana o por tuercas de calota de base cónica. Esas últimas se adaptan y compensan pequeños ángulos de inclinación del tirante (hasta 5°).

Contratuercas

Las contratuercas pueden ser utilizadas como trabas, junto a los manguitos o tuercas, actuando de manera que ellos no sean desrosqueados.

Manguitos de Unión

La barra de acero DYWIDAG puede ser cortada y unida en cualquier punto utilizando manguitos de unión especiales. Podemos suministrar tendones de cualquier longitud, de forma simple y sin desecho de material.

Placas de Anclaje

Tienen la función de distribuir las tensiones en la estructura anclada, pueden ser con agujero recto (AR) o cónico (AC) dependiendo del tipo de tuerca utilizada. Pueden ser producidas en otras dimensiones.

Anillos de Compensación de Ángulo

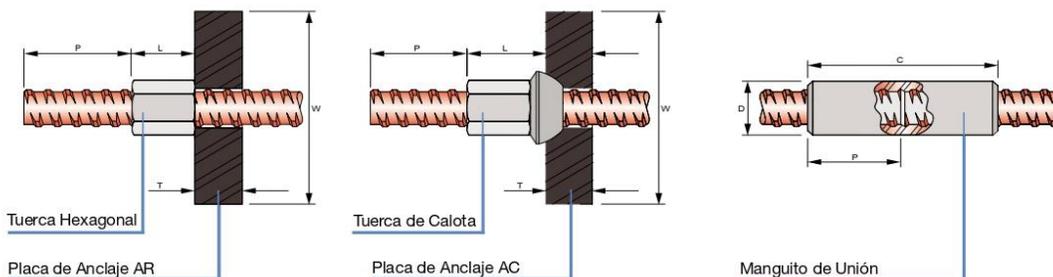
Para tendones inclinados, compensan ángulos con más de 5° en el anclaje. Son fabricados en intervalos de ángulo de 5°, ya que los ángulos intermedios son compensados por la tuerca de calota.



Ø Nominal	Tuerca Hexagonal		Tuerca de Calota		Contratuerca		Manguito de Unión	
	L [mm]	llave [mm]	L [mm]	llave [mm]	L [mm]	llave [mm]	C [mm]	D [mm]
DW 15 mm	40	30	35	30	20	30	80	35
DW 32 mm	85	50	65	55	35	50	180	63
DW 36 mm	110	60	80	65	60	60	210	68
DW 40 mm	120	70	95	70	25	50	245	70
DW 47 mm	140	80	115	80	40	80	270	83

Ø Nominal	Placa de Anclaje AR*		Placa de Anclaje AC*		Anillos de Compensación de Ángulo	Longitud Mínima de Pretensado
	W [mm]	T [mm]	W [mm]	T [mm]	grados [°]	P [mm]
DW 15 mm	120	16	120	20	hasta 45°	40
DW 32 mm	200	20	200	25	hasta 45°	90
DW 36 mm	200	45	200	45	hasta 45°	105
DW 40 mm	220	45	220	45	hasta 45°	123
DW 47 mm	260	50	260	50	hasta 45°	135

Nota: *Las placas de anclaje pueden ser proporcionadas en otras dimensiones, de acuerdo con las especificaciones de proyecto.



Sistemas GEWI® & GEWI® Plus

Los sistemas GEWI® y GEWI® Plus están compuestos por barras y componentes de anclaje de alta capacidad, diferenciándose de los sistemas DYWIDAG sólo por las propiedades mecánicas del acero. Tienen rosca izquierda doblemente filetada y robusta en toda su longitud, característica ventajosa que mantiene su fácil roscabilidad, incluso en ambientes agresivos, dañinos para las roscas finas.

Para tendones de cualquier longitud, las barras GEWI® y GEWI® Plus también pueden ser cortadas en cualquier punto y unidas con manguitos especiales. La utilización de manguitos de unión roscados facilita la ejecución completa del servicio, y reduce el riesgo de fallas en el proceso.

La barra y los componentes del sistema pueden proporcionarse con la pintura anticorrosiva de fábrica.

Fácil Ejecución

Las altas necesidades exigen gran concentración de armadura, y por tanto dificultan el montaje y la fundición de la estructura. Utilizando los sistemas GEWI® y GEWI® Plus, la armadura se vuelve menos densa debido a la eliminación de la superposición y ganchos. El montaje y hormigonado se facilitan.

Materiales a Medida

Los tirantes son proporcionados en las medidas especificadas en el proyecto, evitando pérdidas de material en el trabajo y reduciendo la necesidad de manguitos de unión.

Pueden estar compuestos por barras enteras de hasta 11,8 metros de longitud.



Los sistemas GEWI® y GEWI® Plus tienen características y componentes similares al sistema DYWIDAG.

**Informaciones sobre los procesos de soldadura y galvanización en el sistema GEWI® deben ser previamente consultadas con nuestro equipo técnico.*

Propiedades de los Sistemas GEWI® & GEWI® Plus

Ø Nominal	Tensión de Elasticidad	Tensión de Ruptura	Carga de Elasticidad	Carga de Ruptura	Paso	Área de Sección Transversal ^{a)}	Peso ^{b)}
	[Kgf/mm ² /MPa]	[Kgf/mm ² /MPa]	[tf]	[tf]		[mm ²]	
GW 25 mm	50 [500]	75 [750]	25	37	12,5	491	3,90
GW 25 mm Plus	67 [670]	80 [800]	33	39	12,5	491	3,90
GW 28 mm Plus	67 [670]	80 [800]	41	49	14	616	4,83
GW 32 mm	50 [500]	55 [550]	40	44	16	804	6,31
GW 32 mm Plus	67 [670]	80 [800]	54	64	16	804	6,31
GW 50 mm	50 [500]	55 [550]	98	108	26	1.963	15,40
GW 57,5 mm Plus*	67 [670]	80 [800]	174	208	20	2.597	20,38
GW 63,5 mm Plus*	67 [670]	80 [800]	212	253	21	3.167	24,86
GW 75 mm Plus*	67 [670]	80 [800]	296	353	24	4.418	34,68

a) área calculada

b) peso nominal teórico

*Bajo demanda. Plazo de entrega mínimo: 60 días

Módulo de Elasticidad: E=20.500 Kgf/mm² +/- 5%



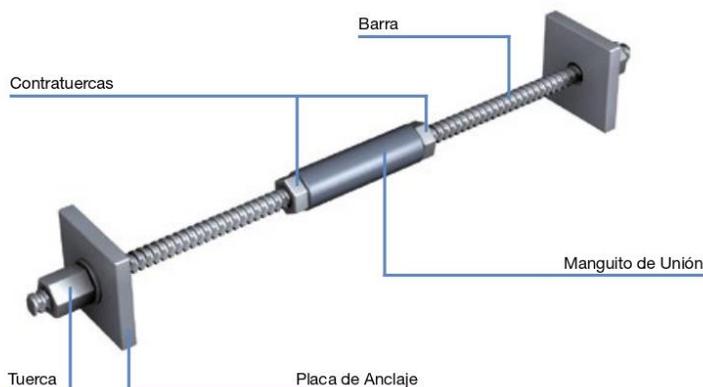
Micropilotes para Línea de Transmisión
Nueva Esperanza
Sistema GEWI® 50 mm
Bogotá - Colombia



Componentes de los Sistemas GEWI® & GEWI® Plus

Los componentes de los sistemas GEWI® y GEWI® Plus son similares a los componentes del sistema DYWIDAG, y sólo difieren en sus dimensiones y en algunas características específicas, de acuerdo con su aplicación.

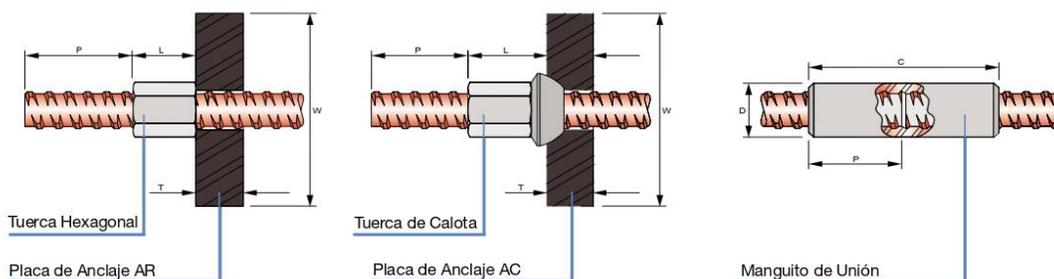
Todos los componentes del sistema GEWI® tienen rosca a izquierda, así que el uso de sus componentes con el sistema DYWIDAG, y viceversa, es imposible.



Ø Nominal	Tuerca Hexagonal		Tuerca de Calota		Contratuerca		Manguito de Unión	
	L [mm]	llave [mm]	L [mm]	llave [mm]	L [mm]	llave [mm]	C [mm]	D [mm]
GW 25 mm	50	41	35	41	25	41	115	40
GW 25 mm Plus	80	41	35	41	25	41	130	40
GW 28 mm Plus	60	50	55	46	30	46	140	50
GW 32 mm	50	50	65	55	35	50	130	50
GW 32 mm Plus	70	50	65	55	35	50	150	63
GW 50 mm	85	80	65	80	50	80	200	80
GW 57,5 mm Plus	120	90	85	90	60	90	250	102
GW 63,5 mm Plus	145	100	95	100	70	100	300	114
GW 75 mm Plus	130	100	120	120	80	100	260	108

Ø Nominal	Placa de Anclaje AR*		Placa de Anclaje AC*		Anillos de Compensación de Ángulo grados [°]	Longitud Mínima de Pretensado P [mm]
	W [mm]	T [mm]	W [mm]	T [mm]		
GW 25 mm	140	16	140	20	hasta 45°	58
GW 25 mm Plus	140	20	140	20	hasta 45°	65
GW 28 mm Plus	115	30	135	35	hasta 45°	70
GW 32 mm	200	20	200	25	hasta 45°	65
GW 32 mm Plus	200	20	200	25	hasta 45°	75
GW 50 mm	200	45	200	45	hasta 45°	100
GW 57,5 mm Plus	250	55	275	60	hasta 45°	125
GW 63,5 mm Plus	265	60	300	65	hasta 45°	150
GW 75 mm Plus	320	70	325	70	hasta 45°	130

Nota: *Las placas de anclaje pueden ser proporcionadas en otras dimensiones, de acuerdo con las especificaciones de proyecto..



Aplicaciones Geotécnicas

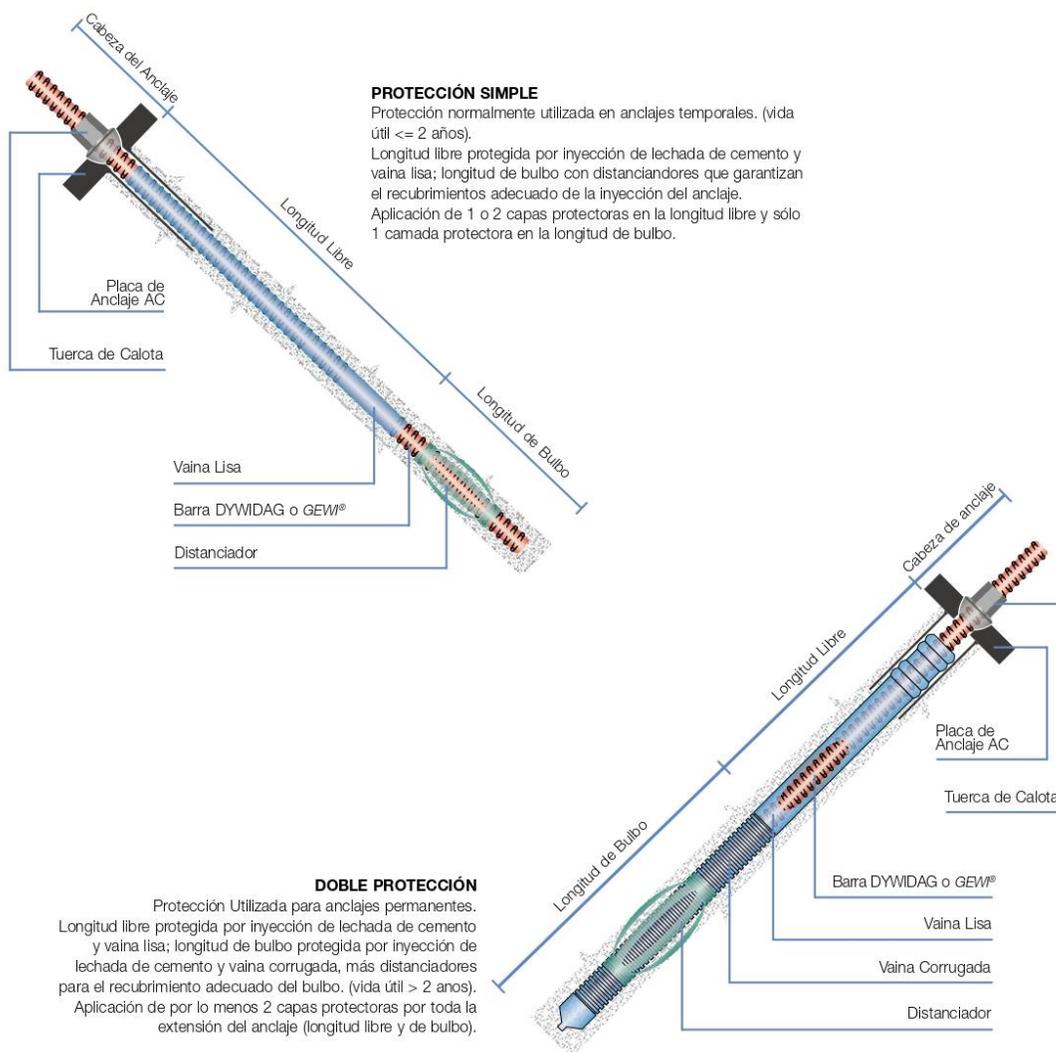
Muros anclados • Suelos claveteados • Pernos de roca • Muros de contención • Pilotes y Micropilotes • Pruebas de carga • Líneas de Transmisión

Los sistemas DYWIDAG son mundialmente conocidos en la ejecución de anclajes al terreno (suelos y rocas), permanentes o temporales, debido a su seguridad y confiabilidad.

Los anclajes en suelo y roca necesitan una transferencia de carga adecuada de la estructura anclada al terreno estable. Los sistemas de anclaje DYWIDAG con placas y tuercas, y las barras de acero especial con rosca robusta, garantizan la transferencia adecuada de carga con eficiencia y simplicidad.

Según la norma brasileña para anclajes al terreno - NBR 5629 - las protecciones contra la corrosión se efectuarán considerando la vida útil de los anclajes (permanentes o temporales) y el nivel de agresividad del terreno en que serán instalados.

Los anclajes DYWIDAG pueden ser proporcionados cubiertos con epoxi o galvanizados, y también con todos los accesorios de protección.



Aplicaciones Estructurales

Refuerzos Estructurales • Recuperaciones • Puentes Atriantados • Sistemas de Encofrado • Estructuras Prefabricadas • Soportes Estructurales

Los sistemas DYWIDAG y GEW[®] también son utilizados en una multitud de aplicaciones estructurales, tanto para la construcción de nuevas estructuras, como para el refuerzo y la rehabilitación de estructuras ya existentes.

Los anclajes de placa y tuerca permiten grandes ventajas en aplicaciones estructurales debido a su alta confiabilidad y fácil ejecución, además de la capacidad de destensado y retensado del tendón en cualquier momento.

Como elemento de refuerzo en nuevas estructuras de hormigón, o en recuperaciones de estructuras, cada sistema se puede suministrar hasta su carga límite.



Reforzamiento del Centro Comercial Vizcaya - Postensado exterior con barras Sistemas DYWIDAG 36mm
Medellín - Colombia

Recuperación Estructural
Refuerzo de Viga Transversal en Puente

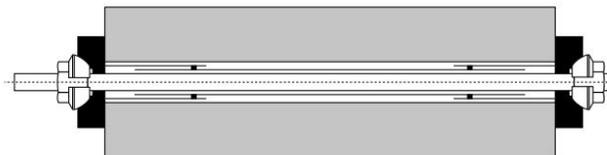


Pilotes de cimentación
Sistema DYWIDAG 36mm
Monotriho Leste/SP - Brasil



Anclaje Activo

Punto de aplicación del pretensado.
Debe ser apoyado sobre la estructura y tener una longitud mínima de barra disponible.



Anclaje Pasivo

Puede ser apoyado o integrado en la estructura.
No necesita de longitud mínima de barra disponible

Equipos de Pretensado

El pretensado es aplicado en el sistema mediante la utilización de un conjunto gato y bomba hidráulica, que se ajusta a la cabeza del tendón (placa + tuerca), apoyando sobre la placa.

El equipo tira la barra con la aplicación de cargas sucesivas, por etapas, hasta alcanzar la carga deseada.

Las bombas hidráulicas pueden ser manuales o eléctricas, de acuerdo con las características de pretensado y el lugar de la obra.



Gato DW 110 Mp

Modelo	Área del Pistón [cm ²]	Capacidad [kN]	Carrera [mm]	Peso [Kg]
25 Mp	50,3	245	100	23
60 Mp	132,5	625	50	37
110 Mp	235,6	1.100	50	46



Bombas Eléctricas



Bomba Manual

Bombas Hidráulicas

Manual o Eléctrica
Presiones de 500 o 600 bares
Con terminal para 1 o 2 gatos simultáneos

Accesorios

Manguito de Inyección

Utilizado para ejecutar la inyección posterior de vaina corrugada, en tendones de refuerzos estructurales.



Manguito de Inyección

Vaina Corrugada

Puede ser utilizada en la longitud del bulbo de anclajes al terreno, y para refuerzos estructurales.



Vaina Corrugada

Vaina Lisa

Utilizada para proteger la longitud libre de anclajes al terreno, compuesta por material elástico que acompaña el estiramiento del anclaje.

Distanciador

Distanciador

Utilizado para garantizar la centralización de la barra en el agujero de instalación del anclaje al terreno. Asegura el recubrimiento adecuado con lechada de cemento.

