

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PROCESO CONSTRUCTIVO DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES CON POSTENSADO CON EL SISTEMA
ADHERIDO Y NO ADHERIDO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

HÉCTOR VARELY YACTAYO BELLEZA

Lima- Perú

2015

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: DEFINICIÓN DEL CONCRETO PRESFORZADO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS	11
1.1 DEFINICIÓN	11
1.2 VENTAJAS DEL PRESFORZADO	13
1.3 DESVENTAJAS DEL PRESFORZADO	15
CAPÍTULO II: CONCRETO PRETENSADO POSTENSADO. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	16
2.1 CONCRETO PRETENSADO	16
2.2 CONCRETO POSTENSADO	17
2.3 UTILIZACIÓN DEL CONCRETO POSTENSADO	18
2.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA NO ADHERIDO	20
2.4.1 Materiales Utilizados en el Sistema No Adherido	20
2.4.2 Equipos Utilizados en el Sistema No Adherido	23
2.5 MATERIALES Y EQUIPOS EN SISTEMA ADHERIDO	25
2.5.1 Materiales Utilizados en el Sistema Adherido	25
2.5.2 Equipos Utilizados en el Sistema Adherido	27
CAPÍTULO III: CONCEPTOS BÁSICOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON EL MÉTODO ADHERIDO Y NO ADHERIDO	30
3.1 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	30
3.2 PÉRDIDAS POR EMBUTIMIENTO DE LAS CUÑAS	31

3.3	PÉRDIDA POR ACORTAMIENTO ELÁSTICO DEL CONCRETO	31
3.4	PÉRDIDAS POR ACORTAMIENTO PLÁSTICO DEL CONCRETO	32
3.5	PÉRDIDAS POR CONTRACCIÓN DE FRAGUA DEL CONCRETO	32
3.6	PÉRDIDAS POR RELAJACIÓN DEL TENDÓN	33
3.7	DISEÑO DE UNA VIGA POSTENSADA	33
CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO VIGAS POSTENSADAS, LOSAS POSTENSADAS Y PUENTES CON PÉNDOLAS		37
4.1	VIGAS POSTENSADAS	37
4.1.1	Vigas Postensadas con el Sistema No Adherido	37
4.1.2	Vigas Postensadas con el Sistema Adherido	46
4.1.3	Análisis de Precios Unitarios en el Sistema Adherido y No Adherido	53
4.2	LOSAS POSTENSADAS	55
4.2.1	Proceso Constructivo de Losa Postensada	55
4.2.2	Reforzamiento y Reparación de Losa Postensada	60
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
5.1	CONCLUSIONES	69
5.2	RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA		73

RESUMEN

En el presente Informe de Suficiencia tratamos el tema del Postensado, donde se explica las ventajas y las funciones que podría cumplir al utilizarlo en determinadas estructuras. También mencionamos algunas desventajas, que pueden ser superadas con el continuo uso de este Sistema.

Con el fin de que el Postensado se vuelva un Sistema más conocido y usado, se explica el Proceso Constructivo de Elementos Estructurales con el Sistema Adherido y No Adherido. También indicamos los materiales utilizados y los equipos que sirven para cada caso.

También se explica el Proceso Constructivo de los Puentes con Péndolas, que poco a poco van siendo más conocidos en el País.

Se detalla el caso de Reforzamiento y Reparación de Losa Postensada, ya que se han dado casos en Lima, donde se tiene que hacer este tipo de trabajos, y no es común ni muy conocido las soluciones.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1.0: Deformación Unitaria vs. Esfuerzo	20
Cuadro N° 2.0: Distancias Mínimas entre Anclajes Monotorón y al borde	45
Cuadro N° 3.0: Distancias Mínimas de Anclaje Multitorón	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1.1: Momentos Flexionantes a lo largo de las vigas presforzadas simplemente apoyadas	11
Figura N° 1.2: Esfuerzos al centro de luz y en los extremos de las vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad	12
Figura N° 1.3: Deformaciones para carga de servicio	13
Figura N° 1.4: Esquema comparativo del concreto postensado con el concreto armado en edificaciones	14
Figura N° 1.5: Vigas Postensadas de la Planta Lindley Pucusana	14
Figura N° 1.6: Materiales de Alta Resistencia	15
Figura N° 1.7: Montajes de vigas prefabricadas en Sodimac – Mega Plaza Lima	15
Figura N° 2.1: Esquema del Sistema de Pretensado	16
Figura N° 2.2: Molde de viga prefabricada con apoyos para dar forma curva al cable.	16
Figura N° 2.3: Curvatura parabólica en Viga Postensada – Sistema No Adherido. Planta Lindley Pucusana	17
Figura N° 2.4: Curvatura parabólica en Viga Postensada – Sistema Adherido. Intercambio Vial Óvalo Grau Trujillo	18
Figura N° 2.5: Tendido de cables en Losas Postensadas. Almacén CGZ	18
Figura N° 2.6: Colocación de cables en vigas postensadas. Clínica San Felipe	19
Figura N° 2.7: Tensado de Vigas. Puente Mataca – Huaral Acos	19
Figura N° 2.8: Cables forrados. Planta Lindley Pucusana	20
Figura N° 2.9: Esquema interno del Cable Forrado	21

Figura N° 2.10: Cuñas monotorón y pocket respectivo	21
Figura N° 2.11: Anclajes Encapsulados. Obra Lindley Pucusana	22
Figura N° 2.12: Formación de anclajes fijos (estándar) al interior de una viga	22
Figura N° 2.13: Sillas de soporte	23
Figura N° 2.14: Bomba Hidráulica	23
Figura N° 2.15: Gato Hidráulico. Clínica San Felipe	24
Figura N° 2.16: Gato Hidráulico. Reforzamiento Estacionamiento del Jockey Plaza	24
Figura N° 2.17: Manómetro. Reforzamiento Estacionamiento del Jockey Plaza	25
Figura N° 2.18: Anclaje estándar y cuñas monotorón	25
Figura N° 2.19: Anclaje Tipo H. Obra Casa Poseidón	26
Figura N° 2.20: Anclajes Multitorón. Obra Puente Sucre	26
Figura N° 2.21: Ductos y Empalmes Corrugados	27
Figura N° 2.22: Gato Hoz 3000 (8 a 12 cables). Universidad Pacífico	27
Figura N° 2.23: Gato Tensa 2600 (9 a 12 cables). Obra Puente Sucre	28
Figura N° 2.24: Gato Hoz 1700 (Hasta 7 cables)	28
Figura N° 2.25: Bomba Hidráulica Stronhold	29
Figura N° 2.26: Bomba Hidráulica Power Team	29
Figura N° 3.1: Viga Postensada Simplemente Apoyada	33
Figura N° 4.1: Encofrado de Viga Postensada – Planta Lindley Pucusana	37
Figura N° 4.2: Encofrado de Viga Postensada – Ampliación Colegio Champagnat	37
Figura N° 4.3: Colocación de acero longitudinal y estribos – Planta Lindley Pucusana	38

Figura N° 4.4: Colocación de acero longitudinal y estribos – Nueva Planta de Alimentos Ajinomoto	38
Figura N° 4.5: Trazado de Cables en Viga Postensada – Planta Lindley Pucusana	39
Figura N° 4.6: Trazado de Cables en viga Postensada – Clínica San Felipe	39
Figura N° 4.7: Instalación de Tendones en Viga Postensada – Planta Lindley Pucusana	40
Figura N° 4.8: Instalación de Vigas Postensadas – Colegio de Ingenieros Trujillo	40
Figura N° 4.9: Colocación de Anclajes – Planta Lindley Pucusana	41
Figura N° 4.10: Colocación de Anclajes en la parte inferior de la Viga Postensada – UTEC	41
Figura N° 4.11: Colocación de Anclajes por la parte superior de la Viga Postensada – Colegio de Ingenieros Trujillo	42
Figura N° 4.12: Vaciado de Concreto en Viga Postensada – Planta Lindley Pucusana	42
Figura N° 4.13: Vaciado de Concreto en Viga Postensada – Clínica San Felipe	43
Figura N° 4.14: Tensado de Tendones – Planta Lindley Pucusana	44
Figura N° 4.15: Tensado de Tendones – Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza	44
Figura N° 4.16: Distancias Mínimas entre anclajes y borde	45
Figura N° 4.17: Puntos de Inflexión en la parábola	45
Figura N° 4.18: Colocación del Fondo de Encofrado en Viga Postensada – Intercambio Vial Óvalo Grau	46
Figura N° 4.19: Colocación de Acero de Refuerzo – Intercambio Vial Óvalo Grau	47

Figura N° 4.20: Preparación de Anclajes Fijos - Intercambio Vial Óvalo Grau	47
Figura N° 4.21: Colocación de Ductos – Intercambio Vial Óvalo Grau	48
Figura N° 4.22: Colocación de Cables – Intercambio Vial Óvalo Grau	49
Figura N° 4.23: Vaciado de Vigas – Intercambio Vial Óvalo Grau	49
Figura N° 4.24: Vaciado de Vigas – Intercambio Vial Óvalo Grau	50
Figura N° 4.25: Inyección de Vigas – Intercambio Vial Óvalo Grau	51
Figura N° 4.26: Representación Gráfica de Anclajes y sus distancias Mínimas	52
Figura N° 4.27: Distancias Mínimas entre ductos	53
Figura N° 4.28: Encofrado de Losa Postensada – Techo Almacén CGZ	55
Figura N° 4.29: Colocación de malla inferior de la Losa Postensada - Techo Almacén CGZ	55
Figura N° 4.30: Colocación de Cables en Viga Tipo Banda – Techo Almacén CGZ	56
Figura N° 4.31: Colocación de Cables Tipo Distribuido – Techo Almacén CGZ	56
Figura N° 4.32: Colocación de Anclajes – Techo Almacén CGZ	57
Figura N° 4.33: Vaciado de Losa Postensada – Techo Almacén CGZ	57
Figura N° 4.34: Tensado de Losa Postensada – Techo Almacén CGZ	58
Figura N° 4.35: Zona de Influencia de la Fuerza de Postensado en zona de anclajes	59
Figura N° 4.36: Tensado de Losa Postensada – Techo Almacén CGZ	60
Figura N° 4.37: Vista Panorámica del Estacionamiento del Jockey Plaza	61
Figura N° 4.38: Apuntalamiento de la Losa Postensada	61
Figura N° 4.39: Reforzamiento de Losa Postensada con Vigas Postensadas	62

Figura N° 4.40: Corte de Cables Postensados con Oxicorte	63
Figura N° 4.41: Colocación de bolsas de arena en los puntos altos de la parábola	63
Figura N° 4.42: Colocación de anclajes móviles en la Losa Postensada (Ducto Elíptico)	64
Figura N° 4.43: Colocación de anclajes móviles en la Losa Postensada (Ducto Trapezoidal)	64
Figura N° 4.44: Tensado de la Losa Postensada y Viga Postensada	65
Figura N° 4.45: Vista Panorámica del Ducto Elíptico	65
Figura N° 4.46: Vista Panorámica del Ducto Trapezoidal	65
Figura N° 4.47: Desprendimiento del concreto debido a la ruptura de un cable postensado	66
Figura N° 4.48: Desprendimiento del concreto debido a la ruptura de un cable postensado	67
Figura N° 4.49: Picado de zona donde el cable ha sido afectado	67
Figura N° 4.50: Colocación del empalme entre los cables postensados	68
Figura N° 4.51: Tensado de cables de pretensar reparados	68

INTRODUCCIÓN

Desde muchos años atrás, los ingenieros han buscado muchas soluciones al problema de grandes luces. Una solución es el Concreto Postensado, que no solo nos permite colocar grandes elementos, si no que reducir el peralte del mismo, así ahorrando en acero, concreto y encofrado.

Debido a esta característica de poder utilizar la reducción de peralte en elementos estructurales, en muchas edificaciones también se empezaron a utilizar con fines arquitectónicos, ya que era muy favorable a la hora de eliminar elementos intermedios sin utilizar elementos tan peraltados.

CAPÍTULO I: Se explica la definición del postensado, y las posibles utilidades de los sistemas en diferentes estructuras, indicando las ventajas y desventajas generales.

CAPÍTULO II: Diferencias entre el concreto Pretensado y Postensado. Se pueden ver los diferentes sistemas de utilizados del Concreto Postensado, con los diferentes materiales, accesorios, y equipos.

CAPÍTULO III: Se explica básicamente los conceptos de diseño y construcción de Elementos Estructurales con Postensado, utilizando el Método Adherido y No Adherido.

CAPÍTULO IV: Se explican los procesos constructivos en Vigas Postensadas en los diferentes sistemas haciendo diferenciación en Edificaciones y Puentes. También se explica el proceso constructivo de Losas Postensadas.

Poco a poco se ha venido realizando construcciones con el Sistema del Postensado, pero son pocos los incidentes que han ocurrido con los cables Postensados una vez puestos y tensados. Por esta razón se detalla el proceso de reparación y reforzamiento de Losas Postensadas.

CAPÍTULO I: DEFINICIÓN DEL CONCRETO PRESFORZADO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS

1.1 DEFINICIÓN

El Concreto Presforzado consiste en crear esfuerzos permanentes en un elemento estructural con el fin de mejorar su capacidad de servicio y resistencia, pero sin que estos esfuerzos resultantes excedan los que la estructura es capaz de resistir.

Con la combinación del concreto y el acero del presfuerzo es posible producir en un elemento estructural esfuerzos y deformaciones capaces de resistir las cargas gravitacionales (peso propio, sobrecarga) que actúan en el elemento.

Estos elementos estructurales se pueden utilizar desde una edificación con vigas chatas postensadas, hasta grandes vigas de puentes con grandes luces.

En la Figura N° 1.1 se muestran los diagramas de momentos debidos a la carga vertical (W) y a la fuerza de presfuerzo (P) para una viga simplemente apoyada. Las cargas W y P son las mismas para los tres casos, pero los diagramas de momento son diferentes debido a que la fuerza de presfuerzo está aplicada de diferente forma.

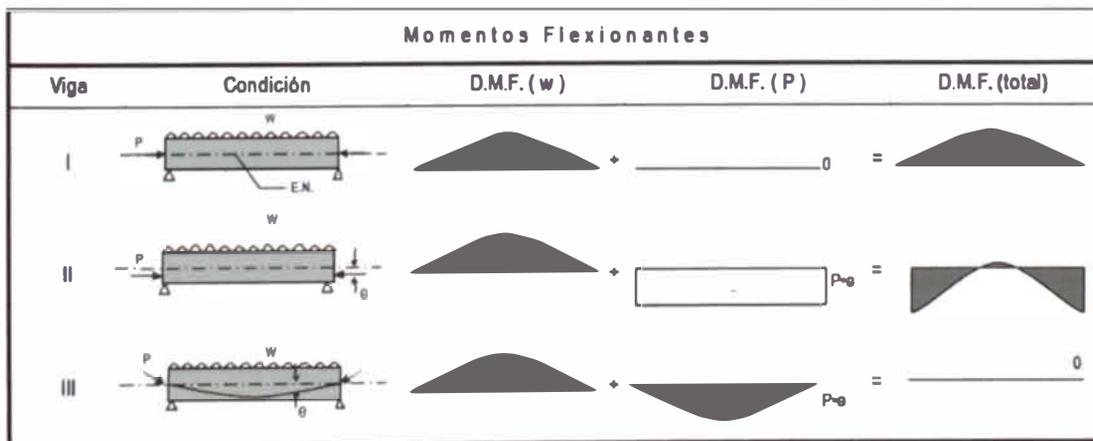


Figura N° 1.1.- Momentos Flexionantes a lo largo de las vigas presforzadas simplemente apoyadas

Fuente: Libro "Conceptos Básicos de Diseño de Elementos de Concreto Presforzado y Prefabricado"

En el tipo de viga I, la fuerza de presfuerzo está aplicada axialmente en el eje neutro, lo cual no produce momentos en la sección de la viga, y no es ventajoso colocar el presfuerzo de esta manera.

En el tipo de viga II, la fuerza de presfuerzo está aplicada axialmente pero con una excentricidad e , lo cual produce un momento constante y que puede contrarrestar al momento producido por la carga W , pero en los extremos el esfuerzo que se produce es excesivo.

En el tipo de viga III, la fuerza de presfuerzo es aplicada con una excentricidad pequeña en los extremos, pero mayor en el centro del elemento. El momento que se produce es similar a la distribución formada por la carga vertical, con lo que el efecto de las cargas en cada sección de la viga es prácticamente nulo y sería la manera más eficiente de utilizar el presfuerzo en elementos estructurales.

En la Figura N° 1.2 se muestran los esfuerzos producidos en el mismo tipo de vigas de la Figura N° 1.1.

		Esfuerzos							
Viga	Condición	AL CENTRO DEL CLARO				EN EL EXTREMO			
		Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total	Carga (W)	Presfuerzo Axial	Presfuerzo Excéntrico	Total
I			-	+ 0 =		0 -		+ 0 =	
II			-	+	=	0 -		+	=
III			-	+	=	0 -		+ 0 =	

Figura N° 1.2.- Esfuerzos al centro de luz y en los extremos de las vigas simplemente apoyadas con y sin excentricidad.

Fuente: Libro "Conceptos Básicos de Diseño de Elementos de Concreto Presfuerzo y Prefabricado"

En el tipo de viga I con el presfuerzo axial mejora el comportamiento de la viga, ya que este provoca compresiones que disminuyen las tensiones provocadas por W en la fibra inferior de la sección. En los extremos solo muestra esfuerzos de compresión.

En el tipo de viga II el presfuerzo excéntrico hace que los esfuerzos de tensión sean menores que en el tipo de viga I, en el centro de luz. Pero en los extremos aparecen esfuerzos de tensión y compresión debidos al presfuerzo excéntrico, que generalmente son mayores que los permisibles.

En el tipo de viga III el presfuerzo excéntrico hace que los esfuerzos de tensión sean menores que en el tipo de viga I y seguramente también que el tipo de viga II. Mientras que en el extremo solo se producen esfuerzos de compresión.

1.2 VENTAJAS DEL PRESFORZADO

- Mejor comportamiento del elemento estructural en el estado de servicio por el control de agrietamiento y deflexiones (Ver Figura N° 1.3)
- Al poder controlar el agrietamiento, la posibilidad del acero a la corrosión y el deterioro el hormigón se reducen al mínimo.
- Se requiere de un concreto de mayor calidad y de mayor resistencia.
- Se obtienen elementos más esbeltos y con menor peralte, con lo que utilizamos menor cantidad de materiales (Ver Figura N° 1.4)
- Utilización para elementos con grandes luces sin necesidad de tener un elemento vertical en el centro (Ver Figura N° 1.5)
- Permite la utilización óptima de materiales de alta resistencia (Ver Figura N° 1.6)
- Al producirse en serie, se permite el mayor control de la calidad y se reducen costos al realizarse con mayor rapidez

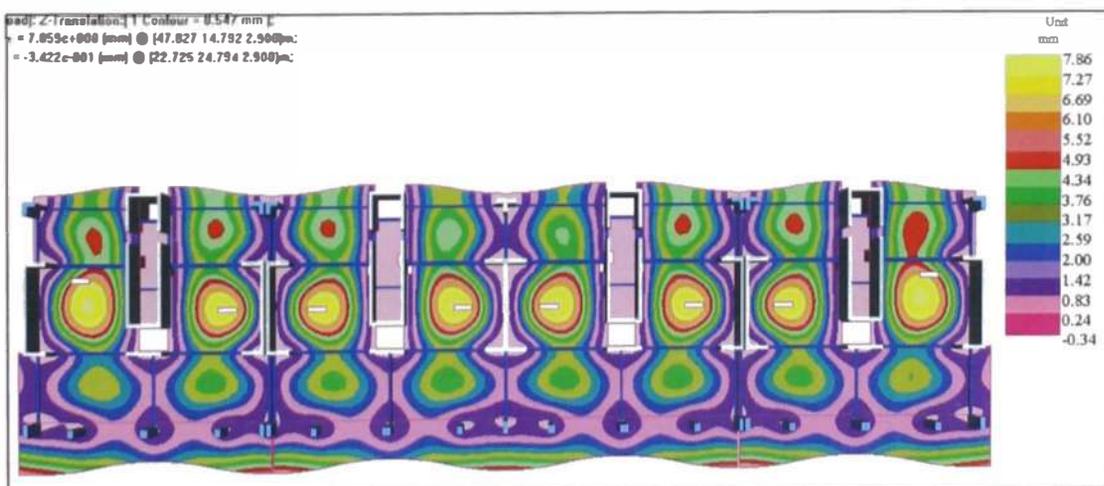


Figura N° 1.3.- Deformaciones para carga de servicio.

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Proyecto La Joya



Figura N° 1.4.- Esquema comparativo del concreto postensado con el concreto armado en edificaciones

Fuente: Conferencia de Samayca Ingenieros SAC – Lima 2014



Figura N° 1.5.- Vigas postensadas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 1.6.- Materiales de alta resistencia

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana

1.3 DESVENTAJA DEL PRESFORZADO

Las desventajas del postensado se suelen dar en determinadas obras:

- La inversión inicial es mayor, debido a la disminución del tiempo de producción.
- El diseño del postensado es complejo y especializado, además los técnicos operarios también deben estar especializados en el sistema empleado.
- Se debe planificar y ejecutar con mucha cautela el proceso constructivo en la etapa de montaje y colocación en situ. (Ver figura N° 1.7)



Figura N° 1.7.- Montajes de vigas prefabricadas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Sodimac – Mega Plaza Lima

CAPÍTULO II: CONCRETO PRETENSADO Y CONCRETO POSTENSADO. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

2.1 CONCRETO PRETENSADO

La misma terminología de pretensado nos indica que este sistema se trata de colocar el presfuerzo en el elemento estructural antes de vaciar el concreto.

Se tensa el cable entre unos bloques de concreto que puedan soportar la fuerza del presfuerzo. Luego se procede a vaciar la viga y se tiene que esperar a que llegue a la resistencia indicada para poder destensar los tendones y así la fuerza sea transmitida al elemento estructural por adherencia. (Ver Figura N° 2.1)

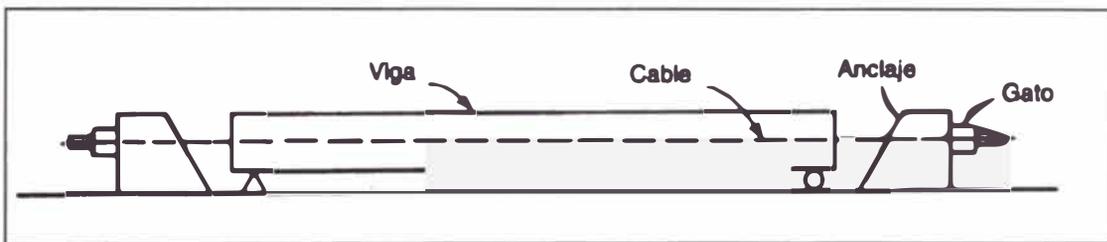


Figura N° 2.1.- Esquema del sistema de pretensado

Fuente: Libro "Conceptos Básicos de Diseño de Elementos de Concreto Presforzado y Prefabricado"

A veces es necesario darle forma curva por lo que se necesitan unos apoyos que quedarán embebidos en el concreto. (Ver Figura N° 2.2)

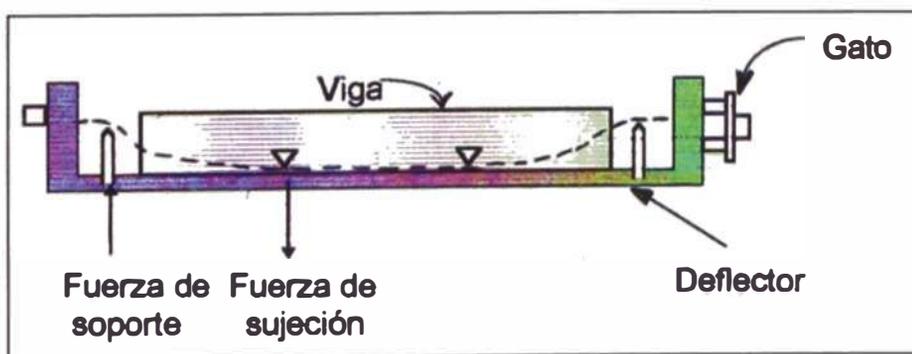


Figura N° 2.2.- Molde de viga prefabricada con apoyos para dar forma curva al cable

Fuente: Libro "Conceptos Básicos de Diseño de Elementos de Concreto Presforzado y Prefabricado"

2.2 CONCRETO POSTENSADO

El método del Postensado consiste en aplicar la fuerza de presfuerzo (tensar los cables) una vez que el concreto del elemento haya fraguado y alcanzado la resistencia que se requiere.

A través de la viga se colocan fijamente los tendones con la trayectoria deseada (Ver Figura N° 2.3 y Figura N° 2.4), lo que permite variar la excentricidad dentro del elemento a lo largo del mismo. La fuerza de presfuerzo se aplica exteriormente, y los tendones se anclan generalmente en los extremos de las vigas mediante dispositivos mecánicos especiales (anclajes).

Este sistema puede ser empleado en vigas prefabricadas como también para vigas in situ. Lo más usual es que sean para vigas de grandes dimensiones como en puentes, pero también se utilizan en edificaciones con fines mayormente arquitectónicos.



Figura N° 2.3.- Curvatura parabólica en Viga Postensada – Sistema No Adherido

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 2.4.- Curvatura parabólica en Viga Postensada – Sistema Adherido
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau Trujillo

2.3 UTILIZACIÓN DEL CONCRETO POSTENSADO

- Losas Postensadas (Edificaciones). Ver Figura N° 2.5
- Vigas Postensadas (Edificaciones y Puentes). Ver Figura N° 2.6 y Figura N° 2.7

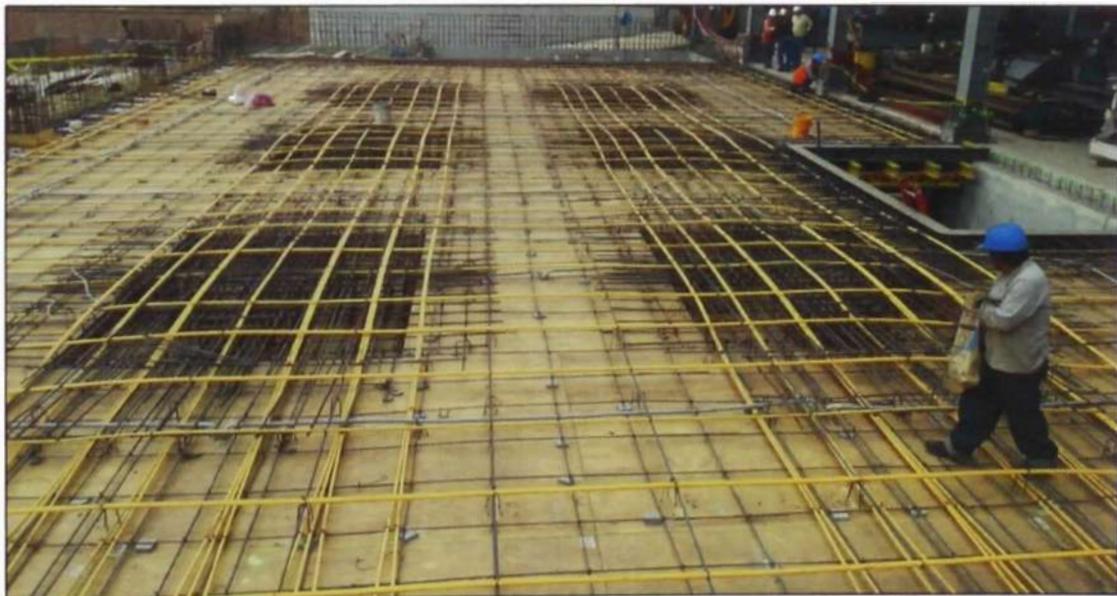


Figura N° 2.5.- Tendido de cables en Losas Postensada
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Almacén CGZ



Figura N° 2.6.- Colocación de cables en vigas postensadas
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Clínica San Felipe



Figura N° 2.7.- Tensado de Vigas
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Puente Mataka, Huaral Acos

2.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA NO ADHERIDO

2.4.1 Materiales Utilizados en el Sistema No Adherido

A. Los Torones

Los torones consisten en 7 alambres individuales conformados en frío, de los cuales 6 son enrollados helicoidalmente sobre el alambre principal central. Las propiedades mecánicas del torón así como las medidas de protección anticorrosiva son de suma importancia. Para garantizar al máximo la protección anticorrosiva, estos torones van cubiertos por una grasa de protección y también por un forro de polietileno. (Ver Figura N° 2.8 y Figura N° 2.9)

Cuadro N° 1.0.- Deformación Unitaria vs Esfuerzo.

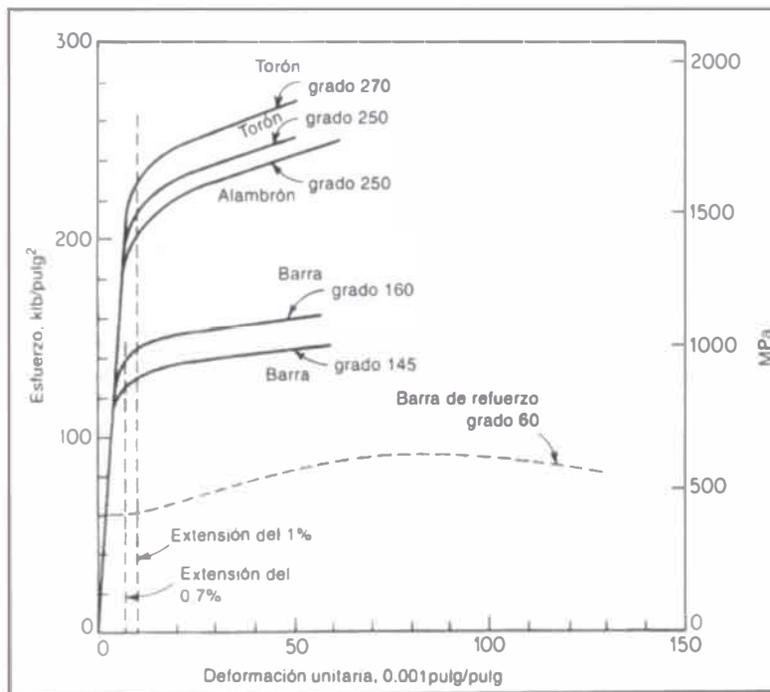


Figura N° 2.8.- Cables forrados.

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana

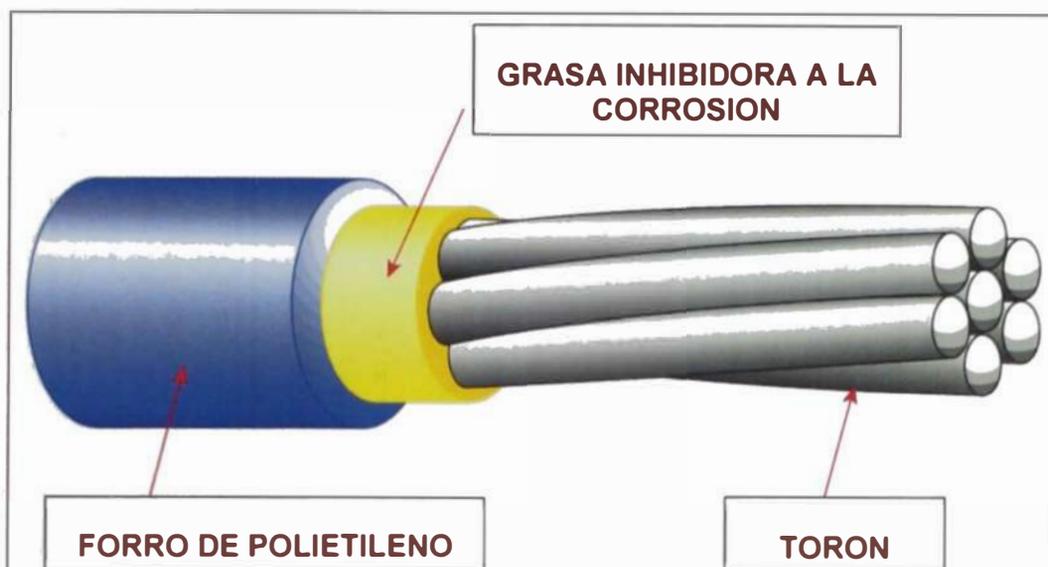


Figura N° 2.9.- Esquema interno del Cable Forrado
Fuente: Conferencia de Samayca Ingenieros SAC – Lima 2014

B. Anclajes y Cuñas

En el mercado tenemos los anclajes estándar y encapsulados. Los primeros son utilizados para Sistema Adherido, y los segundos son utilizados para el Sistema No Adherido (Ver Figura N° 2.10, Figura N° 2.11 y Figura N° 2.12). El anclaje tiene un hoyo en forma cónica por donde pasa el cable y lo atrapa a través de las cuñas. Las cuñas tienen unos dientes que al darle presión entre el anclaje y el cable no permiten que este escape.



Figura N° 2.10.- Cuñas monotorón y pocket respectivo
Fuente: Conferencia de Samayca Ingenieros SAC – Lima 2014



Figura N° 2.11.- Anclajes Encapsulados

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 2.12.- Formación de anclajes fijos al interior de una viga.

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana

C. Sillas de soporte

Las sillas de soporte se utilizan para las losas postensadas. Son hechas de fierro liso o fierro corrugado. (Ver Figura N° 2.13) La función de las sillas es darle la altura a los cables, que indican en los planos de potensado.



Figura N° 2.13.- Sillas de soporte
Fuente: Samayca Ingenieros SAC

2.4.2 Equipos Utilizados en el Sistema No Adherido

A. Bomba Hidráulica y Gato Hidráulico

Con la Bomba y Gato Hidráulico (Ver Figura N° 2.14, Figura N° 2.15 y Figura N° 2.16), logramos ejercer la fuerza de presfuerzo al elemento estructural.

La Bomba Hidráulica a través de unas mangueras, bombea aceite hidráulico al Gato, el que tiene un funcionamiento similar al de pistones y que con su cuña de arrastre agarra el cable y empieza a tensarlo hasta llegar a la presión requerida.



Figura N° 2.14.- Bomba Hidráulica
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Clínica San Felipe



Figura N° 2.15.- Gato Hidráulico

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Clínica San Felipe



Figura N° 2.16.- Gato Hidráulico

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

La presión la leemos en el Manómetro (Ver Figura N° 2.17), que se coloca en la Bomba Hidráulica, y la cual tiene que ser calibrada cada 6 meses.



Figura N° 2.17.- Manómetro

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

2.5 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA ADHERIDO

2.5.1 Materiales Utilizados en el Sistema Adherido

A. Anclajes Estándar y Anclajes Tipo H

Los anclajes estándar son utilizados en este Sistema Adherido, ya que el cable al estar embebido en el concreto no hay mayor necesidad de protección a la corrosión en el conexión de cable, anclajes y cuñas (Ver Figura N° 2.18). Los anclajes estándar son utilizados como móviles y fijos. Los anclajes Tipo H, son utilizados como anclajes fijos (Ver Figura N° 2.19).



Figura N° 2.18.- Anclaje Estándar y cuñas monotorón

Fuente: Conferencia de Samayca Ingenieros SAC – Lima 2014



Figura N° 2.19.- Anclaje tipo H

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Casa Poseidón

B. Anclajes Multitorón

En el Sistema Adherido, el cable de pretensar no tiene un forro de Polietileno, si no que estos cables desnudos van dentro de un ducto corrugado metálico (Ver Figura N° 2.21).

Estos cables de pretensar se fijan en unos anclajes multitorón (Ver Figura N° 2.20), los cuales tienen agujeros cónicos para que puedan entrar las cuñas multitorón.



Figura N° 2.20.- Anclajes Multitorón

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Puente Sucre

C. Ductos Corrugados

Los ductos corrugados metálicos es la forma de crear un espacio vacío a través del elemento estructural donde se colocan los elementos tensores, de tal forma que el concreto no tenga contacto directo con estos. También nos garantizan una perfecta adherencia entre el concreto y el tendón. Posteriormente estos ductos tienen que ser rellenados con un grouting.



Figura N° 2.21.- Ductos y Empalmes Corrugados

Fuente: Conferencia de Samayca Ingenieros SAC – Lima 2014

2.5.2 Equipos Utilizados en el Sistema Adherido

A. Gato Hidráulico



Figura N° 2.22.- Gato Hoz 3000 (8 a 12 cables)

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Universidad Pacifico



Figura N° 2.23.- Gato Tensa 2600 (9 a 12 cables)
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Puente Sucre



Figura N° 2.24.- Gato Hoz 1700 (Hasta 7 cables)
Fuente: Samayca Ingenieros SAC

B. Bomba Hidráulica



Figura N° 2.25.- Bomba Hidráulica Stronhold

Fuente: Samayca Ingenieros SAC



Figura N° 2.26.- Bomba Hidráulica Power Team

Fuente: Samayca Ingenieros SAC

CAPÍTULO III: CONCEPTOS BÁSICO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON EL MÉTODO ADHERIDO Y NO ADHERIDO

Para empezar con el Diseño de Vigas Postensadas, es necesario saber el elemento estructural está sujeto a pérdidas que las mencionaremos:

3.1 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

La fricción es la resistencia que se genera en el tendón en el momento del tensado cuando éste se desliza a través del ducto o forro plástico, según sea el caso. Esto se produce a las curvaturas existentes en el perfil del tendón, representadas por el coeficiente de fricción angular; y la deformación no intencionada del tendón representada por el coeficiente de curvatura.

$$f_x = f_j \times e^{-(\mu\alpha + Kx)}$$

Donde:

f_j = Esfuerzo en el Punto de Tensado

f_x = Esfuerzo en la distancia x del punto de tensado

μ = Coeficiente de fricción angular

α = Cambio del ángulo en el tendón desde los puntos de tensado a la distancia " x "

K = Coeficiente de fricción por curvatura no intencional

x = Distancia del punto de tensado

Para el Sistema No Adherido se utiliza:

$$\mu = 0.07/\text{rad}; k = 0.0016/\text{m}$$

Para el Sistema Adherido se utiliza:

$$\mu = 0.19/\text{rad}; k = 0.001/\text{m}$$

3.2 PÉRDIDAS POR EMBUTIMIENTO DE LAS CUÑAS

En los elementos postensados, cuando se libera la fuerza del gato, la tensión del acero se transfiere al concreto mediante anclajes de uno u otro tipo. Existe inevitablemente una pequeña cantidad de deslizamiento en los anclajes al hacer la transferencia, a medida que las cuñas se acomodan dentro de los anclajes, o a medida en que se deforma el dispositivo de anclaje.

3.3 PÉRDIDAS POR ACORTAMIENTO ELÁSTICO DEL CONCRETO

Cuando la fuerza pretensora se transfiere a un miembro, existirá un acortamiento elástico en el concreto a medida en que éste se comprime.

Al tensar siguiendo una secuencia, el primer tendón que se ancle sufrirá una pérdida de esfuerzo cuando se tense el segundo, luego el primero y el segundo sufrirán pérdida de esfuerzo cuando se tense el tercero, y así sucesivamente.

Para el Sistema No Adherido:

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{cpa}}{E_{ci}}$$

Donde:

$K_{es} = 0.5$ Para miembros postensados donde los tendones son tensionados secuencialmente

$K_{es} = 0$ Para miembros postensados con un solo tendón

f_{cpa} = Esfuerzo de compresión promedio en el concreto a lo largo del miembro en el centro de gravedad de los tendones inmediatamente después del tensado.

Para el Sistema Adherido:

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{citr}}{E_{ci}} \quad \text{donde: } f_{citr} = K_{citr} \times f_{cpi} - f_g$$

Donde:

$K_{es} = 1,0$ para elementos prefabricados pretensados

$K_{es} = 0.5$ Para miembros postensados donde los tendones son tensionados secuencialmente. ($K_{es}=0$) Para miembros con un solo tendón.

$f_{c,ir}$ = Esfuerzo de compresión neta en el concreto a nivel del centro de gravedad de los tendones inmediatamente después de haberse aplicado el pretensado.

$f_{c,pi}$ = Esfuerzo en el concreto a nivel del centro de gravedad de los tendones debido a la fuerza de tensado considerando solamente las pérdidas por fricción y por acuramiento en los anclajes.

f_g = Esfuerzo en el concreto a nivel del centro de gravedad de los tendones debido al peso propio y otras cargas presentes en el momento del pretensado.

$k_{c,ir} = 0,9$ para elementos pretensados y $1,0$ para elementos postensados.

E_s = Módulo de Elasticidad del torón

$E_{c,i}$ = Módulo de Elasticidad del concreto en el Momento del Tensado

3.4 PÉRDIDAS POR ACORTAMIENTO PLÁSTICO DEL CONCRETO

El acortamiento plástico es la propiedad de muchos materiales mediante la cual ellos continúan deformándose a través de lapsos considerables de tiempo bajo un estado constante de esfuerzo o carga.

Se ha encontrado que la deformación por acortamiento plástico en el concreto depende no solamente del tiempo, sino que también depende de las proporciones de la mezcla, de la humedad, de las consideraciones de curado, y de la edad del concreto a la cual comienza a ser cargado.

La deformación es casi proporcional a la intensidad de esfuerzo.

3.5 PÉRDIDAS POR CONTRACCIÓN DE FRAGUA DEL CONCRETO

La contracción de fragua del concreto provoca una reducción en la deformación del acero del presfuerzo igual a la deformación por contracción del concreto. La reducción de esfuerzo resultante en el acero constituye una componente importante de la pérdida de presfuerzo.

Sólo se necesita considerar la parte de la contracción que ocurre después de la transferencia de la fuerza pretensora al elemento y esto ocurre normalmente de 3 a 7 días después del vaciado del concreto.

3.6 PÉRDIDAS POR RELAJACIÓN DEL TENDÓN

El relajamiento se define como la pérdida de esfuerzo en un material esforzado mantenido con longitud constante.

La magnitud del relajamiento varía dependiendo del tipo y del grado del acero, pero los parámetros más significativos son el tiempo y la intensidad del esfuerzo inicial.

3.7 DISEÑO DE UNA VIGA POSTENSADA

Para el diseño de una Viga Postensada, se ilustrará con un ejemplo de un elemento simplemente apoyado.

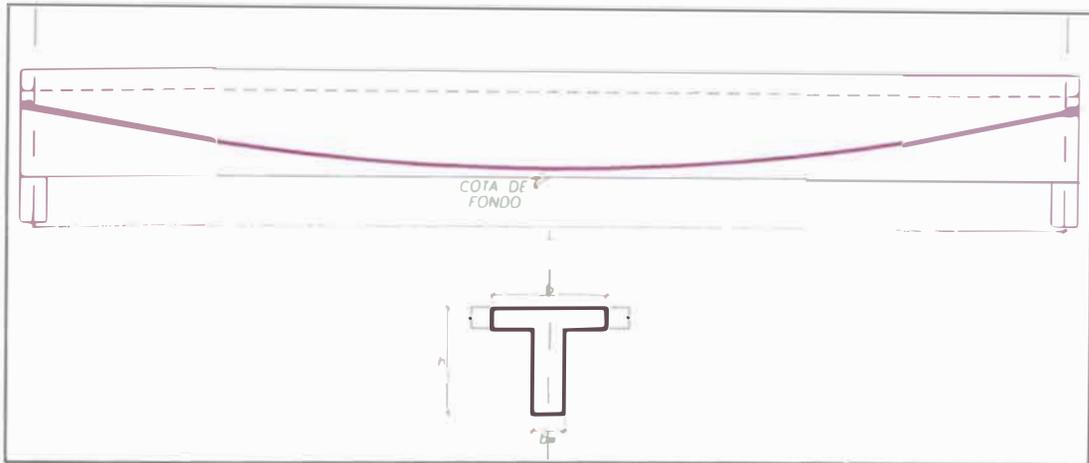


Figura N° 3.1.- Viga Postensada Simplemente Apoyada

Se tomaron los siguientes datos:

Datos:		
L =	25.00 m	
h =	1.25 m	125 cm
bw =	0.40m	40 cm
t =	0.20 m	20 cm
$b = bw + 2*8*t$	3.60 m	360 cm
Calzada =	6.00 m	600 cm

Datos del Presforzado:	
$f_{pu} =$	18,900 kg/cm ²
Atorón 0.6" =	1.40 cm ²
Cota de Fondo =	15 cm
R =	1.25

Cargas:	
Carga Muerta	100 kg/m ²
Sobrecarga	250 kg/m ²

Concreto:	
$f_c =$	350 kg/cm ²
$f_{ci} =$	280 kg/cm ²

Podemos hallar:

Área Sección =	1.14 m ²	11,400 cm ²
Área m1 =	0.48 m ²	4,800 cm ²
$y_b =$	0.920 m	91.97 cm
$y_t =$	0.330 m	33.03 cm

$$I = 14460592.11 \text{ cm}^4$$

$Z_t = I/y_t$	437850.60 cm ³
$Z_b = I/y_b$	157225.32 cm ³
exc =	76.97 m

Realizamos los Metrados de Cargas:

METRADO DE CARGAS - MOMENTOS Y ESFUERZOS

PESO PROPIO

Peso Propio =	$W_{pp} = (A_{sección} + A_{m1}) \times 2.4 \text{ ton/m}^3$	3.888 ton/m
Momento =	$M_{pp} = W_{pp} \times L^2 / 8$	303.75 ton-m
Esfuerzos =	$\sigma_{ppt} = -M_{pp} / Z_t$	-69.37 kg/cm ²
	$\sigma_{ppb} = M_{pp} / Z_b$	193.19 kg/cm ²

CARGA MUERTA

Carga Muerta =	Carga muerta x calzada	0.6 ton/m
Momento =	$M_d = W_d \times L^2 / 8$	46.88 ton-m
Esfuerzos =	$\sigma_{dt} = -M_d / Z_t$	-10.71 kg/cm ²
	$\sigma_{db} = M_d / Z_b$	29.81 kg/cm ²

SOBRECARGA

Carga Muerta =	Sobrecarga x calzada	1.5 ton/m
Momento =	$M_d = W_d \times L^2 / 8$	117.19 ton-m
Esfuerzos =	$\sigma_{dt} = -M_d / Z_t$	-26.76 kg/cm ²
	$\sigma_{db} = M_d / Z_b$	74.53 kg/cm ²

CÁLCULO DE LA FUERZA PRETENSORA

Esfuerzo en la fibra inferior en el centro de luz (ETAPA FINAL):

$$f_{tb} = 1.6 \times \sqrt{f'_c \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$$

$$f_{tb} = 29.90 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\left(\frac{P_e}{A}\right) - \frac{P_e \times e_{xc}}{Z_b} + \sigma_{ppb} + \sigma_{db} + \sigma_{scb} = f_{tb}$$

$$P_e = 463.62 \text{ ton}$$

$$P_i = 579.52 \text{ ton}$$

NÚMERO DE TORONES Ø0.6":

Esfuerzo Efectivo	$f_e = 0.6 f_{pu}$ $f_e = 11340 \text{ kg/cm}^2$
Fuerza Efectiva de 1 torón de 0.6"	$P_{e1\text{torón}} = f_e \times A$ $P_{e1\text{torón}} = 15.876 \text{ ton}$
Número de Torones Ø0.6"	$N_{\text{tor}} = P_e / P_{e1\text{torón}}$ $N_{\text{tor}} = 29.20$ $N_{\text{tor}} = 30$
Área de acero de pretensar	$A_p = N_{\text{tor}} \times A_{1\text{torón}}$ $A_p = 42 \text{ cm}^2$

CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO VIGAS POSTENSADAS Y LOSAS POSTENSADAS

4.1 VIGAS POSTENSADAS

4.1.1 Vigas Postensadas con el Sistema No Adherido

A. Colocación del encofrado de las Vigas Postensadas

El primer paso para el Proceso Constructivo de las Vigas Postensadas, es verificar que el encofrado esté debidamente nivelado de acuerdo al Proyecto.



Figura N° 4.1.- Encofrado de Viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 4.2.- Encofrado de Viga Postensada – Ampliación Colegio Champagnat

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliacion Colegio Champagnat

B. Colocación del Acero de Refuerzo de la Viga Postensada

Verificar que los aceros de refuerzo estén debidamente taqueados a las medidas que indican en las Especificaciones Técnicas.



Figura N° 4.3.- Colocación de acero longitudinal y estribos

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 4.4.- Colocación de acero longitudinal y estribos

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Nueva Planta de Alimentos Ajinomoto

C. Trazado de Cables Postensados

Antes de iniciar con el Trazado de las Vigas Postensadas, es importante volver a verificar que el fondo del encofrado esté correctamente nivelado de acuerdo al proyecto.

Se realizará el trazo en forma horizontal y luego en forma vertical del perfil del tendón, del cual las medidas deberían indicar en los Planos de Detalles del Postensado (Ver Anexo N°1). Los Planos de Detalles del Postensado, contienen los datos de Fuerza Tensora, dimensiones de los Elementos, el Sistema de Postensado a utilizar, resistencia del Concreto, así como los detalles propios de la colocación de los cables de pretensar y los anclajes.

Se procede a colocar los soportes de los tendones, que son fierros de construcción de preferencia con el mismo ancho del estribo.



Figura N° 4.5.- Trazado de Cables en Viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 4.6.- Trazado de Cables en viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Clínica San Felipe

D. Instalación de Cables de Pretensar en las Vigas Potensadas

Se colocarán dentro de la viga empezando del anclaje fijo hacia el móvil. Se procede luego a agrupar y asegurarlos en forma simétrica, y que se cumplan los requerimientos de distancia de los Planos de Detalles.



Figura N° 4.7.- Instalación de Tendones en Viga Postensada
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 4.8.- Instalación de Vigas Postensadas
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Colegio de Ingenieros Trujillo

E. Colocación de Anclajes

Se colocarán los anclajes fijos a la altura correcta y con el agrupamiento indicado. Para los anclajes móviles se trazará su ubicación en el encofrado y cuyo centro de gravedad deberá coincidir con la altura especificada en los Planos del Proyecto. Se realizarán los huecos en la ubicación de los ejes de cada anclaje y se asegurarán los "pockets former" con los anclajes al encofrado. Estos deben cumplir con las distancias mínimas de requerimiento, así mismo se colocarán los refuerzos adicionales para la zona de anclajes que se indican en los Planos de Detalles.



Figura N° 4.9.- Colocación de Anclajes

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana

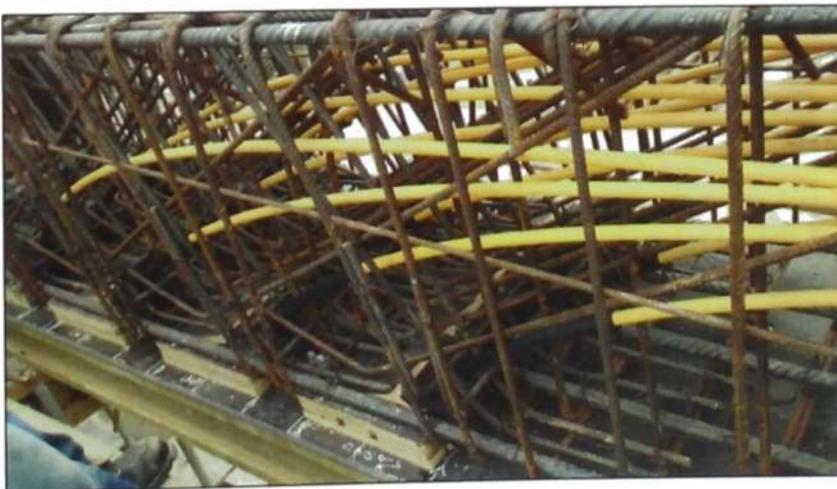


Figura N° 4.10.- Colocación de Anclajes en la parte inferior de la Viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Nueva Sede UTEC



Figura N° 4.11.- Colocación de Anclajes por la parte superior de la Viga Postensada
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Colegio de Ingenieros de Trujillo

Los refuerzos adicionales se pueden ver en el ACI-318. También podemos guiarnos de los refuerzos del Post-Tensioning Kit for Prestressing of Structures with Unbonded Monostrands for Concrete (ETA-03/0036), donde nos indica 2 barras de $\varnothing 3/8"$ por anclaje en ambas direcciones, para resistir las fuerzas de estallidos, descacaramiento y tracciones en el borde longitudinal.

F. Vaciado de Viga Postensada

En el momento del vaciado de concreto, deberá tenerse especial cuidado en el vibrado, especialmente en las zonas donde haya bastante concentración de fierro, y sobre todo en la zona de los anclajes, ya que si no es así podrían producirse cangrejeras en las que el anclaje podría correrse pudiendo incluso hasta romperse el torón.



Figura N° 4.12.- Vaciado de Concreto en Viga Postensada
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana



Figura N° 4.13.- Vaciado de Concreto en Viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Ampliación Clínica San Felipe

G. Tensado de Cables de Pretensar

La Operación y Control de Tensado se harán únicamente cuando se confirme que, la resistencia solicitada al momento de la transferencia de la fuerza de postensado, se haya alcanzado.

Antes de empezar el tensado se debe verificar que los anclajes de tensado estén limpios y con sus respectivas cuñas. También que los equipos (bomba y gato hidráulico) estén en perfecto estado de funcionamiento.

Se posiciona la trompa del gato con el anclaje, para luego con la bomba hidráulica producir la tensión, llegando a la presión indicada en los Planos del Proyecto y que será leída en el manómetro de la bomba.

Una vez llegada a la presión indicada, se procede con el acuñamiento, que puede ser de forma automática con la bomba hidráulica o se puede utilizar una bomba extra.

Finalmente se procede a retirar el gato hidráulico y se mide el estiramiento del cable. Se promedian los alargamientos de todos los torones de un mismo elemento, y se verifica que no exceda del $\pm 7\%$ del alargamiento teórico que fue hallado en el cálculo previo. Se toman registros de los resultados en los Protocolos de Tensado (Ver Anexo N°2)



Figura N° 4.14.- Tensado de Tendones

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Planta Lindley Pucusana

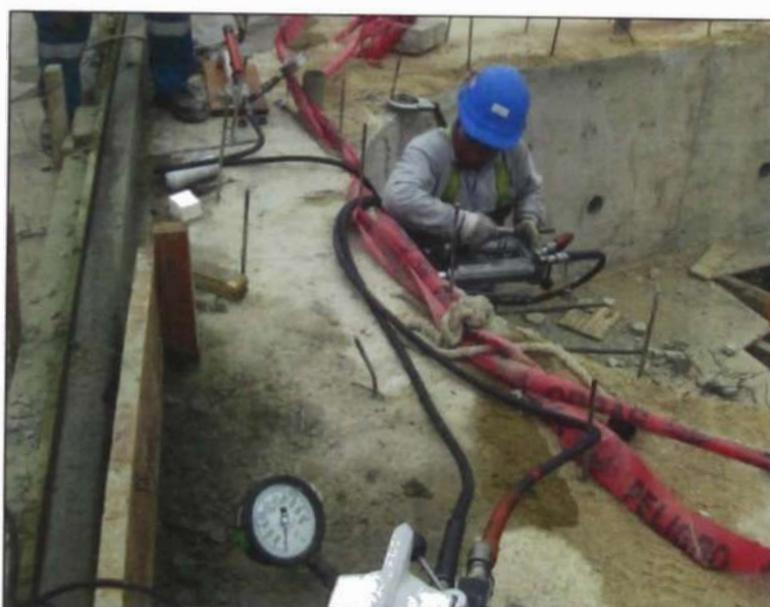


Figura N° 4.15.- Tensado de Tendones

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

H. Consideraciones para la Colocación del Postensado en Obra

Para la colocación del Sistema Postensado con el Sistema No Adherido, se tienen que cumplir ciertas distancias mínimas para su correcto funcionamiento, y a la vez para no afectar la estructura.

- Distancia Mínima de Anclajes a la cara de las Vigas y/o Losas. Esto varía de acuerdo a la posición en la que se encuentre el anclaje, y también a la resistencia del concreto (Ver Figura N° 4.16 y Cuadro 2.0).

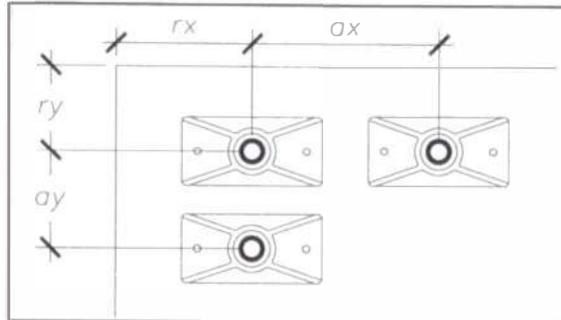


Figura N° 4.16.- Distancias mínimas entre anclajes y al borde

Cuadro 2.0.- Distancias mínimas entre anclajes monotorón y al borde

f'c del concreto en la transferencia		20 N/mm ²	28 N/mm ²	36 N/mm ²
Distancia mínima entre centros	ax	210	190	170
	ay	120	105	90
Distancia mínima entre centro y borde	rx	135	125	115
	ry	90	83	75

Fuente: Post-Tensioning Kit for Prestressing of Structures with Unbonded Monostrands for Concrete – ETA-03/0036

- Verificación de los puntos de inflexión, que a veces en la colocación del cable postensado hace un quiebre no adecuado y forzar el cable produciendo pérdidas adicionales que no han sido consideradas.

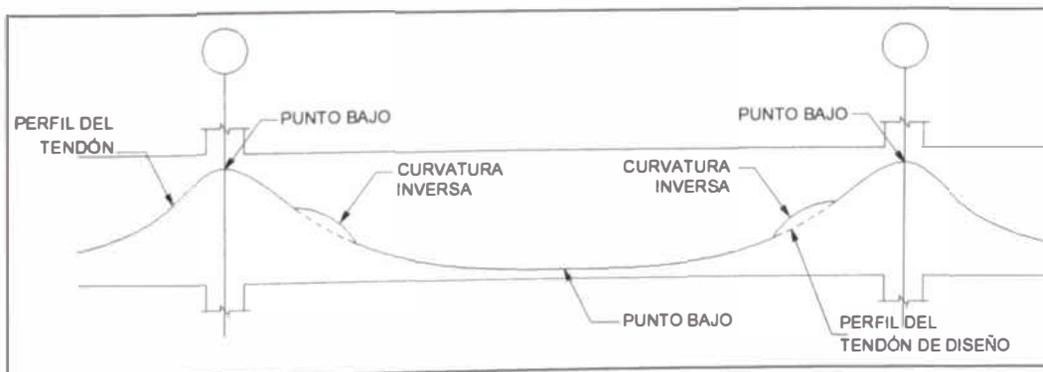


Figura N° 4.17.- Puntos de Inflexión en la parábola

4.1.2 Vigas Postensadas con el Sistema Adherido

A. Encofrado de Viga Postensada

El proceso del encofrado es el primer paso para la realización de vigas postensadas con el sistema No Adherido. En el caso de vigas prefabricadas de puentes se coloca primero un solado lo que le da uniformidad al fondo de la Viga Postensada, y ayuda a soportar de mejor forma todo el peso del concreto. Para las vigas postensadas in-situ, se tiene que hacer un diseño de falso puente capaz de soportar el peso todas las Vigas Postensadas.

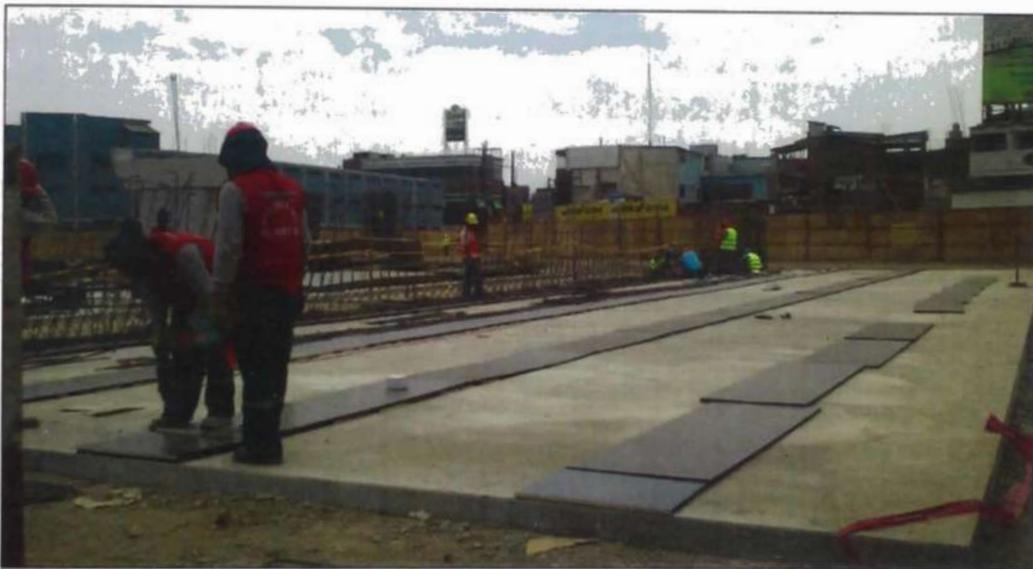


Figura N° 4.18.- Colocación del Fondo de Encofrado en Viga Postensada
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

B. Colocación de Acero de Refuerzo en Viga Postensada

La colocación del acero de refuerzo de una Viga Postensada debe hacerse de acuerdo a los Planos del Proyecto, pero también se debe revisar si hay algún cambio en los Planos del Postensado con respecto a la armadura inicial, ya que por tema de refuerzos adicionales o para el pase de los ductos, estos tienden a cambiar.



Figura N° 4.19.- Colocación de Acero de Refuerzo

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

C. Preparación de Anclajes Fijos

La preparación del anclaje fijo, que consiste en realizar un doblado de los cables tal y como indica en los planos del postensado, y fijarlos con varillas de $\varnothing 1/2"$. El anclaje fijo es el que va embebido completamente en el concreto y se ubica en uno de los extremos de la viga postensada.



Figura N° 4.20.- Preparación de Anclajes Fijos

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

D. Instalación de Ductos y Tendones

Se realizará el trazo en forma horizontal y luego en forma vertical del perfil del tendón.

Una vez realizado el trazo se procede a colocar los soportes de los ductos, los mismos que son fierros de refuerzo de preferencia con el mismo ancho del estribo.

Se empiezan a colocar los ductos con sus empalmes (que deben ser aseguradas con cinta adhesiva) a través de los fierros de refuerzo, formando la parábola indicada en el Plano del Postensado y luego asegurando los ductos con alambre.

Seguidamente se colocarán las salidas de inyección con su tubo de PVC, trompetas y los anclajes móviles a la altura correcta los cuales garantizan un recubrimiento adecuado. Este anclaje móvil se encaja en una tapa previamente diseñada y con las medidas que indica en los Planos del Postensado, que le dará el espacio para poder colocar el gato y poder realizar el tensado sin ninguna dificultad. Así mismo se colocarán los refuerzos adicionales para la zona de anclajes que se indican en los Planos de Detalles del Postensado.

Se empiezan a pasar los cables del postensado, dejando el anclaje fijo a la altura correcta y respetándose el recubrimiento con la cara del encofrado como indica en los Planos del Postensado (Ver Anexo N°3)



Figura N° 4.21.- Colocación de Ductos

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau



Figura N° 4.22.- Colocación de Cables

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

E. Vaciado de la Viga Postensada

Verificar que estén todos los anclajes móviles debidamente asegurados y adjuntos a todos los bordes del encofrado.

Deberá tenerse especial cuidado en el vibrado del concreto especialmente en las zonas donde haya bastante concentración de fierro, y sobre todo en la zona de los anclajes, ya que si no es así podrían producirse cangrejeras en las que el anclaje podría correrse pudiendo incluso hasta romperse el torón u ocasionar un accidente con la manipulación de los equipos.

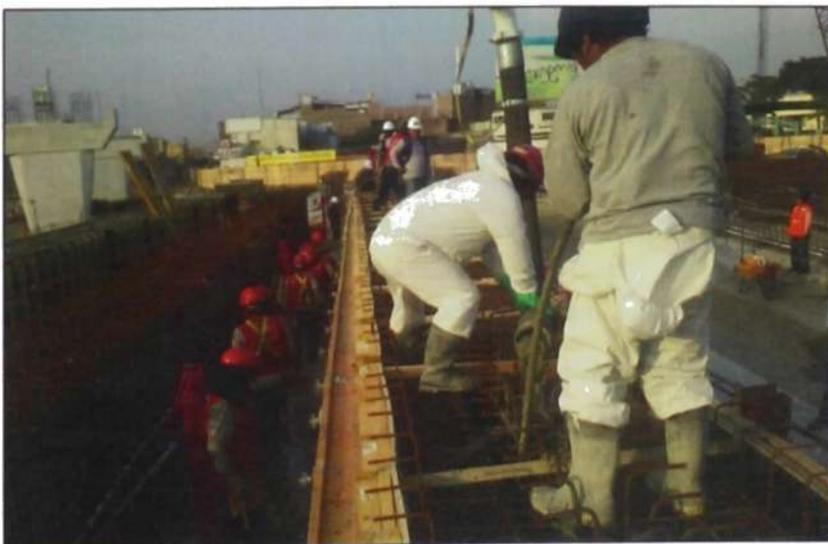


Figura N° 4.23.- Vaciado de Vigas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

F. Tensado de Vigas Postensadas

Una vez autorizado el tensado, éste se realizará según lo indicado en los Planos de Detalles del Postensado.

Se posiciona el gato en la cola de tensado del tendón y se empuja hacia delante hasta que la nariz esté en contacto con la cara del anclaje.

Luego se conecta la bomba y se inicia la tensión estirando el tendón a la presión correspondiente. Cada viga será tensada por etapas hasta completar el 100% de la fuerza indicada en los planos. En cada etapa se registrarán las presiones y alargamientos y se llevarán un registro de los mismos en los Protocolos de Control de Calidad (Ver Anexo N°2). Las presiones, alargamientos y secuencia de tensado para los tendones de cada viga se encuentran en los Planos de Detalles.

El criterio satisfactorio de Aceptación de Tensado se refleja en la obtención en obra de los alargamientos calculados teóricamente indicados en los planos, los cuales podrán variar según las Normas en $\pm 7\%$.



Figura N° 4.24.- Tensado de Vigas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

G. Inyección de Vigas Postensadas

Una vez concluido satisfactoriamente el tensado se procede al corte de sobrante de cables con disco de corte a una distancia aproximada de 2cm de las cuñas y se instala los encofrados metálicos con sus accesorios de inyección.

La inyección se realizará con medios mecánicos (bombas de inyección). La inyección deberá ser continua en cada ducto hasta que la mezcla expulse completamente el agua de la inyección previa, para lo cual se han dejado puntos de control de salida en el centro y extremos de cada viga los cuales serán obturados cuando la mezcla salga por el extremo opuesto con la misma consistencia con la que ingresó.

Al día siguiente se desencofrarán los extremos de inyección y se vaciarán las cajuelas de tensado con un concreto igual al de la estructura, para lo cual se picarán superficialmente las caras de dicha cajuela con el objeto de mejorar la adherencia del concreto nuevo con el antiguo.



Figura N° 4.25.- Inyección de Vigas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Intercambio Vial Óvalo Grau

H. Consideraciones para la Colocación del Postensado en Obra

Para la colocación de tendones a través de Vigas Postensadas, hay que tener en cuenta las siguientes distancias mínimas de anclajes y ductos.

En el Perú se trabaja con el Sistema Multitorón hasta 19 cables. Se muestra una tabla (Ver cuadro N°3.0) donde podemos ver los recubrimientos mínimos así como la distancia mínima de anclaje a anclaje, de acuerdo al número de torones $\varnothing 0.6''$.

Cuadro 3.0.- Distancias Mínimas de Anclajes Multitorón

# $\varnothing 0.6''$	Distancia de los Anclajes	
	Entre ejes (A)	Al borde (R)
5	230	135
7	270	155
9	305	175
12	355	200
15	395	220
19	445	245

Fuente: Sistema Dywidag de Postensado de Cable Adherente - DSI

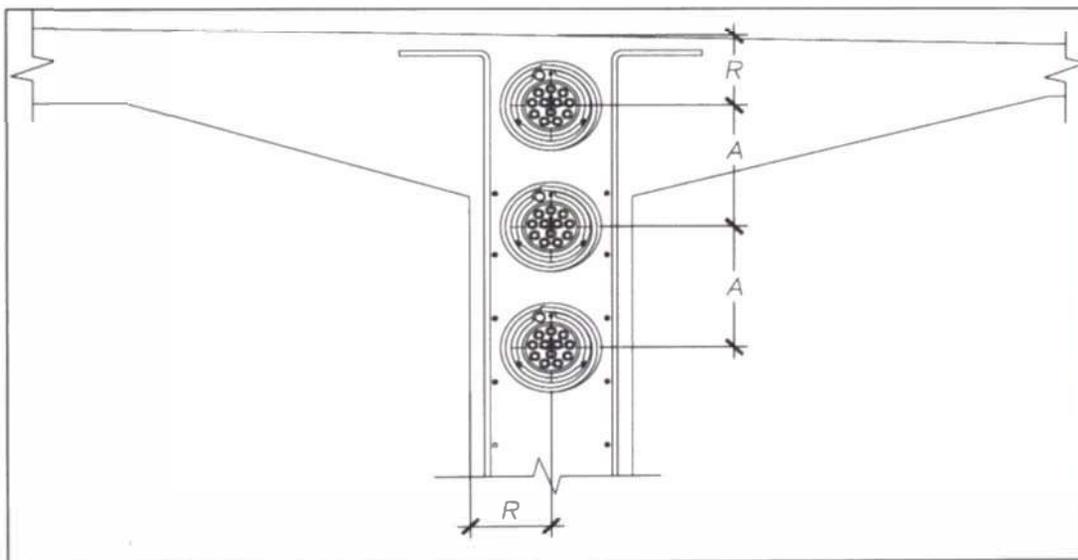


Figura N° 4.26.- Representación Gráfica de Anclajes y sus distancias mínimas

- Se debe cumplir que el 40% de la longitud de la sección de la viga donde se ubican los ductos, sea mayor o igual a la longitud total ocupada por estos mismos, según el ACI 318. En la Figura N° 4.27, tenemos una sección de 600mm, donde se ubican 3 ductos de 80mm, lo que nos lleva al siguiente cálculo:

$$40\%(600mm) \geq 3(80mm)$$

$$240mm \geq 240mm \quad \text{OK!!!}$$

Mano de Obra

Nº Vigas = 15
Nº de Operarios = 2
Dias/viga = 2.2

Nº Jornales = 66
Costo de Jornal = 50

3,300.00

Costo Directo (\$) = **11,669.33**

Costo Directo (S/.) = **38,508.79**

POSTENSADO NO ADHERIDO

Materiales	Und.	Cant.	Desp.	P.U. (\$)	Precio (\$)
Acero de Pretensar	kg	2,766.24	1.03	1.50	4,273.84
Anclajes Encapsulados	und	480.00	1.00	12.00	5,760.00
Mortero Epóxico	jgo	8.00	1.05	60.00	504.00
					10,537.84

Mano de Obra

Nº Vigas 15
Nº de Operarios 2
Dias/viga 2

Nº Jornales 60
Costo de Jornal 50

3,000.00

Costo Directo (\$) = **13,537.84**

Costo Directo (S/.) = **44,674.87**

4.2 LOSAS POSTENSADAS

4.2.1 Proceso Constructivo de Losa Postensada

A. Encofrado de la Losa Postensada

Se tiene que verificar que el encofrado de la losa Postensada esté nivelada correctamente de acuerdo a los Planos del Proyecto.



Figura N° 4.28.- Encofrado de Losa Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

B. Colocación de Acero de Refuerzo Inferior de la Losa

Para la colocación del Acero de Refuerzo inferior de la Losa, se deben tener en cuenta las cotas más bajas del perfil del cable, ya que en estos sectores la malla inferior debe colocarse primero el fierro paralelo al cable y luego el perpendicular, para que pueda cumplirse con la cota adecuadamente.



Figura N° 4.29.- Colocación de malla inferior de la Losa Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

C. Trazo y Colocación de Tendones en Viga Tipo Banda

Se trazará a lo largo de la losa la distribución de los cables Postensados, donde su cota vertical será determinada por las sillas de soportes, que se colocarán de acuerdo a los Planos de Detalles. Estos se colocarán en primer lugar, luego se colocarán los distribuidos y finalmente, si hubieran, los tendones de temperatura.



Figura N° 4.30.- Colocación de Cables en Viga Tipo Banda

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

D. Colocación de Cables Postensado Distribuido

Se coloca los cables de Tipo Distribuido, dándoles preferencia a los Cables de banda si hubiera algún tipo de cruce de los cables.



Figura N° 4.31.- Colocación de Cables Tipo Distribuido

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

E. Colocación de Anclajes Fijos y Móviles

Se colocarán los Anclajes Fijos de acuerdo a la distribución y altura que indica en los Planos de Detalles del Postensado. Los Anclajes Móviles se ajustarán con los pocket former al friso de la losa. Los refuerzos podemos verlo en el ACI-318.



Figura N° 4.32.- Colocación de Anclajes

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

F. Vaciado de Losa Postensada

Para el vaciado de la losa Postensada, hay que tener especial cuidado con el vibrado en zonas de bastante densidad de acero.



Figura N° 4.33.- Vaciado de Losa Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

G. Tensado de Losa Postensada

Al igual que las Vigas Postensadas antes de comenzar con el Proceso de Tensado, se debe verificar que los anclajes estén limpios y con sus respectivas cuñas. También que los equipos (bomba y gato hidráulico) estén en perfecto estado de funcionamiento.

Se posiciona la trompa del gato con el anclaje, para luego con la bomba hidráulica producir la tensión, llegando a la presión indicada en los Planos del Proyecto y que será leída en el manómetro de la bomba.

Una vez llegada a la presión indicada, se procede con el acuñamiento, que puede ser de forma automática con la bomba hidráulica o se puede utilizar una bomba extra.

Finalmente se procede a retirar el gato hidráulico y se mide el estiramiento del cable. Se promedian los alargamientos de todos los torones de un mismo elemento, y se verifica que no exceda del $\pm 7\%$ del alargamiento teórico que fue hallado en el cálculo previo.

La secuencia de tensado va en el siguiente orden:

- Vigas Postensadas y/o Bandas viga
- Cables Distribuidos
- Tendones de Temperatura



Figura N° 4.34.- Tensado de Losa Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Techo Almacén CGZ

H. Consideraciones para la Colocación del Postensado en Obra

Para la colocación del Postensado en Losas, hay que cumplir con los siguientes requerimientos de la Norma para que no haya mayor problema en la hora del tensado.

- En edificaciones suele ocurrir que en las zonas cercanas a los anclajes, se requiera pasar una tubería el cual genere un vacío a todo ese sector que será el que más esfuerzo reciba a la hora del tensado.

La zona de influencia está dado en 45° desde el anclaje hasta 18 pulgadas (50cm) desde el borde.

Si en algún caso los ductos no pueden cambiar de posición, se tiene que hacer un refuerzo como protección.

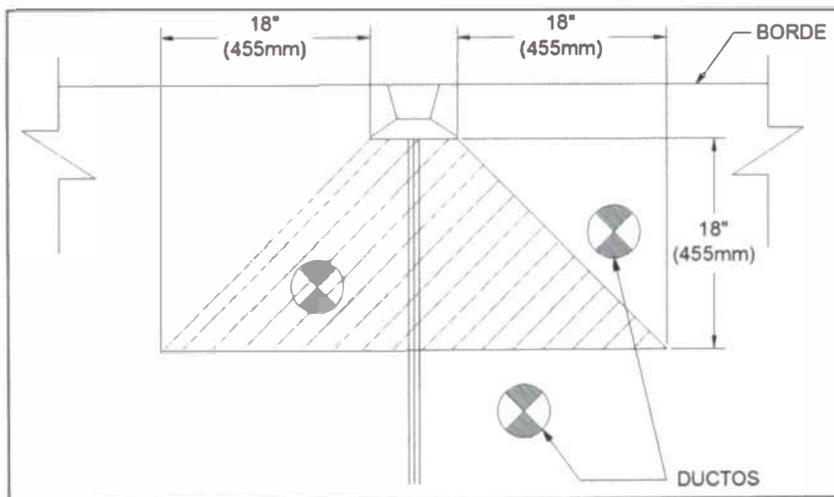


Figura Nº 4.35.- Zona de Influencia de la Fuerza de Postensado en zona de Anclajes

- Las Losas Postensadas al tener algunos ductos, se deben tener en cuenta algunos refuerzos adicionales tanto en la losa como en las curvaturas de los cables. También se deben considerar distancias mínimas para los cables y los aceros.

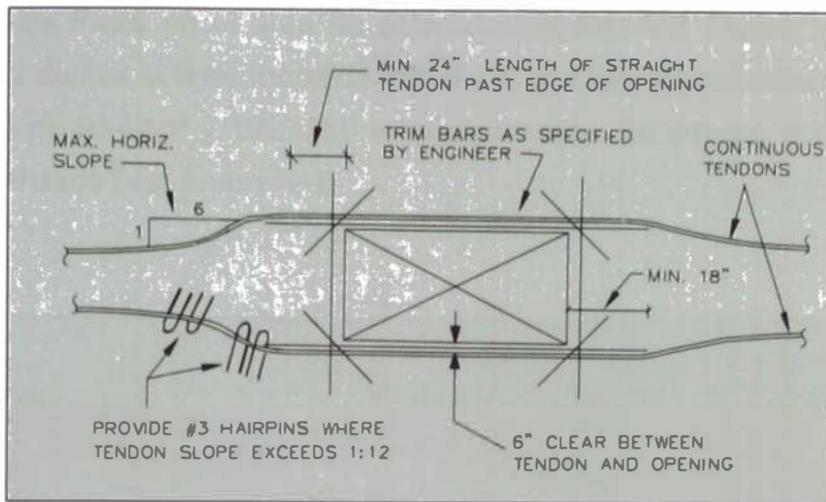


Figura N° 4.36.- Distancias mínimas y refuerzos adicionales en ductos de losas Postensadas

4.2.2 Reforzamiento y Reparación de Losa Postensada

Suele ocurrir que en Losas Postensadas con el Sistema No Adherido, se hagan perforaciones en estos elementos por alguna colocación adicional de tuberías, ductos, etc.

La coincidencia de las perforaciones con los cables de pretensar, han hecho que las losas pierdan fuerza en determinados paños, lo cual obliga a hacer una reparación y poder recuperar la fuerza tensora.

A la hora de la realización de nuevos ductos en losas postensadas, se necesitará la elaboración de un proceso constructivo detallado para no afectar la estructura en la pérdida parcial y temporal de la fuerza tensora.

A. Reforzamiento de Losas Postensadas

El Reforzamiento de Losas Postensadas se requiere cuando la estructura va a perder fuerza tensora en un determinado sector y se busca su reemplazo con otros elementos estructurales.

Para la realización de un ducto en una Losa Postensada ya sea de grandes o pequeñas dimensiones, se tiene que hacer un análisis previo para que esta losa no sufra daños al retirar momentáneamente la fuerza tensora.

En el Jockey Plaza en el área de estacionamientos (Ver Figura N° 4.37) se realizaron 2 ductos, una de forma de elipse y la otra con forma trapezoidal cuyas áreas eran de 96.48m^2 y 199.42m^2 respectivamente. Se adjunta el Plano de la Losa Postensada (Ver Anexo N°4)



Figura N° 4.37.- Vista Panorámica del Estacionamiento del Jockey Plaza

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

Se tuvo que apuntalar la Losa Postensada para proceder a la perforación y al posterior corte de cables tensados (Ver Figura N° 4.38).



Figura N° 4.38.- Apuntalamiento de la Losa Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

La losa tuvo un reforzamiento con Vigas Postensadas (Ver Figura N°4.39), ya que los volados que iban a quedar al borde del ducto eran de considerable longitud y se hubieran tenido deflexiones mayores a lo permitido en la norma. Estas vigas son anexadas a la losa y se debe esperar a la resistencia pedida por el proyectista para poder ser tensada.

La perforación de la losa se planificó de acuerdo al plano del proyecto de la losa. Se realizó una franja que abarcaba los tendones longitudinales y transversales, de acuerdo a la necesidad de cada ducto.

El corte de los cables se realizó con oxicorte (Ver Figura N°4.40), de tal forma que fue lo más uniforme posible y no haya algún desprendimiento de una de la hebras del torón. Lo que no se recomienda hacer es el corte con amoladora, ya que el cable puede saltar y provocar un accidente.

En el proceso de corte de cables, hay la posibilidad de que en los puntos altos y bajos de la parábola trazada, ocurra un desprendimiento del torón por la losa, no solo dañando la estructura sino también el cable. Para esto se coloca un peso que pueda contrarrestar la fuerza con la que el cable retorna (Ver Figura N°4.41).



Figura N° 4.39.- Reforzamiento de Losa Postensada con Vigas Postensadas

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza



Figura N° 4.40.- Corte de Cables Postensados con Oxicorte

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza



Figura N° 4.41.- Colocación de bolsas de arena en los puntos altos de la parábola

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

Una vez habiendo demolido toda la Losa Postensada y habiendo cortado todos los cables, se le da la forma al ducto (Ver Figura N°4.42 y Figura N°4.43), para colocar los nuevos anclajes móviles de los tendones de la losa. Luego se procedería al vaciado de los sectores a restaurar junto con los anclajes.

Una vez llegada a la resistencia del concreto que se solicitó en el Proyecto, se procede a tensar las Vigas Postensadas y la Losa Postensada (Ver Figura N°4.44).



Figura N° 4.42.- Colocación de anclajes móviles en la Losa Postensada (Ducto Elíptico)
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza



Figura N° 4.43.- Colocación de anclajes móviles en la Losa Postensada (Ducto Trapezoidal)
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza



Figura N° 4.44.- Tensado de la Losa Postensada y Viga Postensada

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

Finalmente se desapuntalan la Losa Postensada y las Vigas Postensadas, para dar el acabado a los ductos, quedando una estructura segura y eficiente para sus propósitos (Ver Figura N°4.45 y 4.46).



Figura N° 4.45.- Vista Panorámica del Ducto Elíptico

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza



Figura N° 4.46.- Vista Panorámica del Ducto Trapezoidal

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reforzamiento Estacionamiento Jockey Plaza

B. Reparación de Losa Postensada

La reparación de una Losa Postensada consiste en restituir la fuerza tensora a cables de pretensar que fueron dañados por un agente externo.

Generalmente se producen por perforaciones posteriores a la construcción de la Losa Postensada, al querer insertar pernos para tuberías externas, para algún pase de luz, para un pequeño ducto que no se había considerado, etc.

La forma de reconocer estos tipos de sucesos, es por el sonido que se produce a la hora de la ruptura del cable. También el cable suele salir por uno de los extremos de la losa o viga (Ver Figura N°4.47 y N°4.48).



**Figura N° 4.47.- Desprendimiento del concreto debido a la ruptura de un Cable Postensado.
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reparación Estacionamiento Jockey Plaza – Local
de Papachos**

En el Jockey Plaza, sobre sus Losas Postensadas que inicialmente servían para estacionamientos, posteriormente se ampliaron tiendas, por lo que había que hacer diferentes tipos de instalaciones exteriores y cubiertas por un cielo raso. La inexperiencia y desconocimiento sobre el postensado, hizo que las perforaciones se hicieran de forma al azar sin tener en cuenta la posición de los cables.



Figura N° 4.48.- Desprendimiento del concreto debido a la ruptura de un cable postensado.
Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reparación Estacionamiento Jockey Plaza – Local de Papachos

Para la reparación de la Losa Postensada se debe picar en la zona donde ha sido afectado el cable (Ver Figura N°4.49). Hay veces en que no se ha podido determinar el punto exacto del corte, para esto habría que remover el cable que da a su salida móvil y determinar la longitud, para poder determinar la zona donde se debe picar.



Figura N° 4.49.- Picado de zona donde el cable ha sido afectado.

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reparación Estacionamiento Jockey Plaza – Local de Papachos

Se reemplaza la parte del cable que da hacia el anclaje móvil por otro cable totalmente nuevo. Se desliza el cable a través del forro de plástico, hasta que llegue al otro tramo que no ha sido removido.

Estos cables se unen por medio de un acople especial, y también se le coloca un dispositivo que permite que a la hora del tensado el acople y los cables funcionen como uno solo, transmitiendo la fuerza a través de toda la longitud del cable y obteniendo los alargamientos deseados (Ver Figura N°4.50).



Figura N° 4.50.- Colocación del empalme entre los cables postensados.

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reparación Estacionamiento Jockey Plaza – Local de Papachos

Antes de realizar el vaciado de la zona que se picó, se debe hacer una prueba del tensado para ver si funciona adecuadamente el acople, en caso contrario hacer los ajustes necesarios para su correcta colocación y funcionamiento.

Una vez estando seguros de que el dispositivo funciona correctamente, se procede a vaciar la zona picada con concreto o grouting que llegue y/o supere la resistencia del concreto antiguo.

Obteniendo resultados positivos en los ensayos del concreto, se puede proceder a tensar los cables reparados. (Ver Figura N°4.51)



Figura N° 4.51.- Tensado de cables de pretensar reparados

Fuente: Samayca Ingenieros SAC – Obra Reparación Estacionamiento Jockey Plaza – Local de Papachos

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La utilización del postensado nos da una mayor visión con respecto a soluciones que se pueden optar para casos de grandes luces, menor peralte, menor acero, etc.
- La colocación del Postensado de vigas y losas en Edificaciones en el Sistema Adherido y No Adherido, es muy similar con respecto a la cantidad de jornales utilizados. Pero si se requiere mayor cantidad de mano de obra en el sistema Adherido por la Inyección que se puede realizar al final del proceso.
- En Elementos Estructurales con Postensado, este sistema viene a ser la parte más importante, por lo que si es necesario se moverán fierros o incluso se realizarán el corte de algunos de ellos para que el Postensado puede cumplir con los centros de gravedad pedidos. Estos cambios se tendrán que hacer con la autorización del Contratista y/o Supervisión.
- La colocación de cotas o alturas de los cables postensados debe ser lo más exacto posible, ya que se han visto casos en que la diferencia de 1cm, puede representar hasta el 10% de la Fuerza que solicita el proyecto.
- Los refuerzos indicados en los Planos de Detalles del Postensado, deben cumplirse en la cantidad y posición exacta, ya que a la hora del tensado se puede ver reflejado con fisuras en el concreto.
- Para el caso de Puentes en que las longitudes son importantes (>100m), el pase de cable se puede volver uno de los procesos más complicados e incluso llegar a tardar más de lo previsto. Manualmente se ha comprobado que no es factible realizarlo (tiempo y mano de obra), por lo que se ha tenido que recurrir a maquinaria y recién poder pasar el cable por el ducto.

- El Sistema Adherido debe utilizarse en Elementos No Sísmicos, mientras que el Sistema No Adherido está preparado para recibir las cargas de sismo. Por eso la tendencia en los edificios en construcción es tener en los sótanos vigas y losas con el Sistema Adherido y en los Pisos Superiores los elementos son No Adheridos.
- En el Análisis de Precios mostrado, aunque el Sistema Adherido muestra mayor cantidad de recursos e incluso teniendo un 10% más en mano de obra, el Sistema No Adherido resulta ser un poco más costoso. Esto es debido a que este sistema en los materiales utilizados son más costosos ya que llevan protección ante la corrosión.
- Otra diferencia entre los dos sistemas del Postensado, es que al hacer perforaciones al elemento estructural y llegar al cable de pretensar, con el Sistema Adherido no ocurriría nada ya que el cable está Adherido al concreto. Pero si la perforación fuera a un cable con el Sistema No Adherido, este al romperse pierde toda la fuerza y habría que hacer una reparación posterior.
- Los equipos de Tensado, son de gran importancia en este proceso, pero también pueden ser peligrosos. Cualquier tipo de falla en el sistema hidráulico o la existencia de alguna cangrejera en el elemento postensado podría hacer que el gato o el cable salgan disparados, con lo que habría un riesgo enorme si estamos cerca.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para el caso de edificaciones en el Sistema Adherido, la inyección se recomienda hacerla al final, así se optimiza la mano de obra con respecto a esta partida.
- Para los casos que haya cortar fierros, hay que agotar hasta la última posibilidad de poder moverlos. Puede que sea más demorado, pero se recomienda no bajar la cuantía de acero, y si hay que hacerlo que sea solo en casos de emergencia.

- Se recomienda siempre re chequear las alturas del cable o ducto postensado antes del vaciado. También los anclajes, que estén en su centro de gravedad, ya que pueden ser movidos a la hora de asegurar los frisos o bordes de vigas.
- Hay que respetar la cantidad y longitud de refuerzos en anclajes fijos y móviles. Esta colocación a veces puede ser complicada en vigas de gran peralte, pero a pesar de ellos no debe bajarse la longitud o recortar las “patas” de los refuerzos.
- Cuando se vaya a realizar el pase de cables a través del ducto, se necesita que los cables en las puntas estén boleadas, ya que un torón con un poco de punta puede rasgar el ducto y puede hacer que entre el concreto en el ducto y crear dificultades a la hora del tensado. Incluso se deben cubrir las puntas con cinta, pero estas de todas maneras deben estar boleadas.
- Para el caso de puentes muy largos, y que se realice el pase del cable con maquinaria, la unión de los torones con dicha maquinaria debe ser totalmente segura. Esta debe ser soldada a un diámetro menor del ducto, y también verificar que no tenga alguna punta que dañe el ducto.
- Cuando tengamos un sótano con losas No Adheridas, lo que se recomienda es dejar unas líneas indicando el pase del cable, así en caso de modificación o perforación, puedan ver estas líneas y tomar la precauciones debidas a la hora de realizar el picado.
- Para tener una buena calidad del trabajo del Postensado, se debe de respetar todas las recomendaciones dadas en el presente informe, así como los recubrimientos y refuerzos dados, ya que algún descuido en la instalación podría generar mayor o menor esfuerzo que genere alguna complicación en el servicio de la estructura, así como algún tipo de fisura por falta de refuerzo adicional.
- Para el caso de Losas Postensadas, se recomienda darle los recubrimientos mínimos que manda la norma, sobre todo en los puntos altos y bajos, ya que en reparaciones y reforzamientos estos podrían

reflejarse a la hora de que el cable es cortado, quedando inutilizable el cable.

- Siempre se debe trabajar con planos As-Built cuando se haga alguna modificación extra en Losas Postensadas. Esto podría ahorrarnos una reparación de la losa, si es que dañamos el cable de pretensar.
- Para la hora del tensado, se recomienda chequear las máquinas y asegurarse que estas hayan tenido el debido mantenimiento. También a la hora del mismo tensado, nunca uno debe estar atrás del gato, o en dirección en la que este está estirando el cable.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. "Capítulo 2: Conceptos Básicos de Diseño de Elementos de Concreto Presforzado y Prefabricado" <http://www.anippac.org.mx/capitulo02.pdf>. Fecha consultada 29/05/2014
- Orozco Zepeda Felipe de Jesús. *Temas Fundamentales del Concreto Presforzado*. Edición 1. México 2006.
- Villena Sotomayor Luis "Supervisión de Estructuras de Concreto Presforzado". Conferencia de Samayca Ingenieros SAC. Lima 2014.
- Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)
- Recomendaciones para Elementos con Concreto Presforzado con Tendones No Adheridos (ACI 423.3R)
- Post-Tensioning Kit for Prestressing of Structures with Unbonded Monostrands for Concrete (ETA-03/0036)
- DSI – Sistema Dywidag de Postensado de Cable Adherente