# POSTENSADO

## Sistema Adherente vs Sistema No Adherente

En esta nota se define y establecen las ventajas y desventajas, tomando en consideración principalmente los aspectos económicos, mercado, casuística, resistencia a la corrosión, sostenibilidad, redundancia estructural y el aporte a la resistencia general de la estructura, considerando realidades geográficas de ambos sistemas de Postensado, el Adherente y el No Adherente.

El sistema de reforzamiento mediante postensado de Cables o tendones dentro de las estructuras de edificaciones se utiliza principalmente en Vigas y losas

Esta Nota Técnica se hace con el aporte Técnico de Nuestro Gerente General Luis Bozzo Msc.PhD y del Ingeniero Larry Krauser, vicepresidente de GTI y director del Comité de Certificación del Post Tensioning Institute.

**ANTECEDENTES:**

El Postensado surge de la búsqueda de soluciones para conseguir estructuras de concreto Armado de mayor calidad y eficiencia, principalmente lograr que con menores recursos materiales se consigan elementos estructurales más funcionales y livianos, consiguiéndose aumentar las luces entre columnas y disminuyendo el peralte de las vigas o losas de tal manera de reducir el peso total de la estructura y por ende sus cuantías.
Se considera que una de las mayores patologías de las estructuras de Concreto armado es la oxidación del refuerzo de acero, debido a que el agrietamiento del concreto vuelve susceptible al acero de someterse a oxidación, el sistema de Postensado disminuye considerablemente el agrietamiento, lográndose así sistemas menos vulnerables al deterioro del tiempo

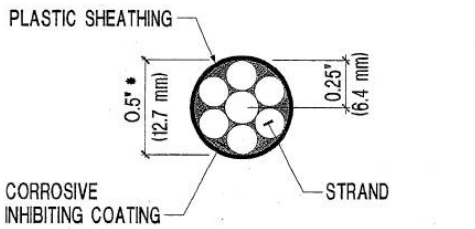
## 1. DEFINICIONES:

### A. Postensado NO Adherente:

**a.** Utilizado en los Estados Unidos desde los **años 50s,** en Europa se tienen registros desde los años 40s (Algunos detractores sostienen que es un sistema usado desde hace pocos años)
**b.** Consiste en que, por diseño, el tendón no forma una adherencia a lo largo de el concreto.
**c.** Generalmente están hechos con cables de alta resistencia, cubierto con una cubierta de polietileno de alta densidad que actúa como un inhibidor de corrosión. ( fig 1).

**d.** Los extremos del tendón son retenidos por unos anclajes donde se concentra la tensión a la que se someten los cables.
**e.** La integridad de los anclajes, por tanto resultan cruciales a lo largo de la vida del tendón.
**f.** Además, el tendón dispone de una capa de grasa que cubre el vacío entre el cable de acero y la cobertura de polietileno.

Fig 1




CROSS-SECTION AND DIMENSIONS OF
1/2" (12.7 mm) 7-WIRE UNBONDED TENDON

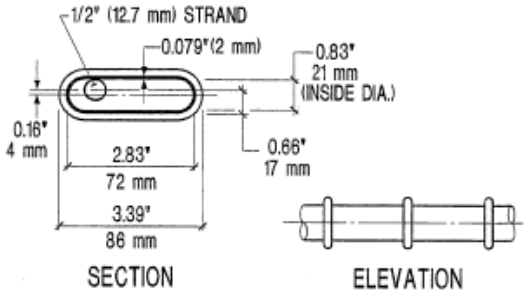
g. <u>La función de la cobertura de polietileno es</u>:
   i. Impedir la adherencia al concreto
   ii. Darle una protección adicional al cable ante la manipulación y almacenaje contra corrosion
   iii. Crear una barrera ante la posible introducción de químicos y humeda
h. <u>La cobertura de grasa, entre el polietileno y el cable de acero sirve para :</u>
   i. Reducir la fricción entre el cable y la cubierta de polietileno
   ii. Protección adicional contra la corrosión.
i. <u>Los tendones No adherentes se usan</u> :
   i. Individualmente, con un anclaje por cada tendón
   ii. La tensión es individual y por tanto cada tendón actúa independiente del otro.

B. **Postensado Adherente**:

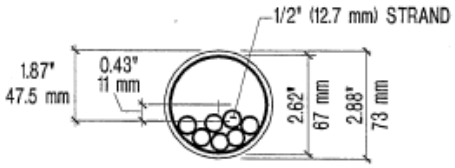
a. Consiste en que por diseño, los cables forman una continua adherencia a lo largo de la estructura.
b. La adherencia se forma por la lechada de Cemento que entra en contacto a lo largo de la superficie del cable.
c. La adherencia se transmite al ducto que esta a su vez embebido en el elemento estructural formando una adherencia con el concreto que rodea a dicho ducto.
d. Después que el cable que está dentro del ducto que esta adherido por el concreto de la viga o losa se tensa, se vierte una lechada de cemento en los vacíos que se formen en el interior del ducto para que este se adhiera al cable a lo largo de la estructura.
e. La lechada de cemento al fraguarse, impide que el cable que esta rodeado por la misma, pueda tener libertad de movimiento.

f. Por tanto, la fuerza de tensión ejercida por los cables son función de la deformación del concreto que rodea dicho cable.
g. Los ductos planos desde 1 a 5 cables son usados en elementos delgados desde hace pocos años.
h. Los ductos circulares , son multi cables y son comúnmente usados en elementos mas peraltados.
i. Los ductos pueden ser plásticos o metálicos, en EE.UU: son mas comunes los plásticos por su mayor resistencia a la corrosión.
j. <u>La Función de le Lechadas es:</u>
    i. Dar adherencia continua entre el cable y el ducto
    ii. Dar protección contra la corrosión al cable, actuando como barrera física.
k. <u>La función del Ducto es:</u>
    i. Mantener un espacio vacío para el paso del cable dentro del elemento de concreto durante la construcción.
    ii. Transferir la adherencia entre la lechada de cemento en el interior del ducto y el concreto en el exterior que rodea dicho ducto.
    iii. Actuar como protección contra la humedad y químicos

Fig 2




(a) 4-STRAND PLASTIC FLAT CORRUGATED DUCT




(b) STRAND POSITION AT HIGH POINT OF A 12 - 1/2" STRAND CIRCULAR METAL DUCT

A BONDED SYSTEM TENDON DETAIL FOR BEAMS AND SLABS

## 2. DURABILIDAD y CALIDAD

**a.** Ambos sistemas, Adherentes y No Adherentes han tenido detractores que han sostenido la poca seguridad y durabilidad de los sistemas, esto ha sido parcialmente cierto muchos años atrás.

**b.** Desde los años 80s el avance en la experimentación y tecnología ha sido notable, con el desarrollo de herramientas potentes de cálculo y experimentación, se han podido establecer los códigos PTI ( Post Tensioning Institute-USA)1993, ACI (American Concrete Insitute-USA)1992, ACI 1989, reforzado con el código PTI 1994. Los cuales han sido mejorados y ampliados en los sucesivos códigos hasta la fecha.

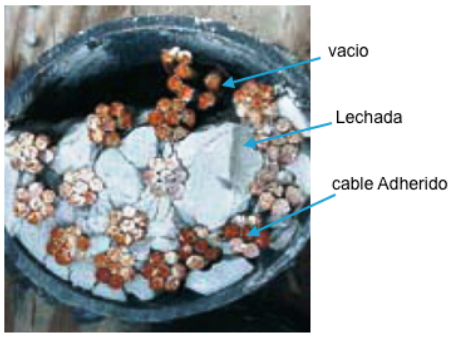
**c.** Los dos sistemas, Adherentes y No Adherentes, si están diseñados, detallados y construidos de acuerdo a la normativa vigente y buenas practicas constructivas, darán como resultado, estructuras fiables y especialmente duraderas.

**d.** En EE.UU se ha comprobado estadísticamente, a lo largo de los años que el sistema NO Adherido para losas ha tenido un buen comportamiento y durabilidad, sin embargo las ulteriores normativas permiten mejorar dicha estadística. Es el sistema que predomina, realizándose en el **95%** de las losas en los Estados Unidos.

**e.** Los Sistemas Adheridos también han tenido un buen comportamiento y durabilidad sin embargo la cantidad de losas realizadas con sistema Adherido ha sido muy pequeña como para tener una buena estadística.

**f.** No se puede afirmar de manera categórica que técnicamente un sistema sea mejor que el otro. (Bijan1994).

**g.** Lo que SI se puede afirmar es que hay un número significativo de puentes adheridos con patologías de durabilidad y que en caso de producirse no se pueden arreglar ni siquiera localizar las zonas afectadas. Su reparación no es posible, excepto que se añadan cables exteriores pues es claro los tendones NO se pueden re-emplazar como SI se puede realizar en el caso NO adherido.






3. **USOS DE POSTENSADO**:

   a. **Puentes y estructuras especiales**:

      i. Preferentemente se usan sistemas adheridos, debido a la mayor concentración de cables en cada elemento, y porque al ser elementos de dimensiones mayores permite la colocación de ductos mas grandes, los cuales son mas fáciles de llenar con lechada de cemento al que se adhieren los cables.
      ii. Son elementos que suelen soportar grandes magnitudes de carga, el sistema adherido es mas eficiente en este caso.
      iii. Así mismo suelen ser elementos de mayores longitudes y por tanto las curvas dentro del elemento son menos pronunciadas.

   b. **Vigas :**

      i. Si soportan sismo entonces, La norma ACI 318M-14 establece que el sistema debe ser **NO Adherido** y además las fuerzas soportadas por el postensado no pueden exceder del 25% de la fuerza positiva o negativa de flexión en la zona critica de la región donde se encuentra la rotula plástica.
      ii. Por tanto el ACI prohíbe de forma expresa el uso del sistema adherente en elementos principales que transfieran de alguna forma cargas sísmicas. Esta limitación no es una recomendación o sugerencia sino una prohibición clara por la nula ductilidad de cualquier sección a flexión que emplee cables adherentes frente a solicitaciones que excedan de alguna forma su carga de diseño (sea una carga accidental o una carga símica).
      iii. El sistema no-adherido NO está prohibido en ningún aspecto en la normativa del ACI y, es más, en el caso de cargas sísmicas se indica expresamente que los tendones deben ser NO-adheridos.

   c. **Losas**:

      i. Pueden usarse ambos sistemas, ambos tendrán ventajas y desventajas que se detallan mas adelante y se explican en las características constructivas de cada sistema.
      ii. Para una construcción típica y cargas uniformes, los tendones individuales o en grupo, deben estar espaciados uniformemente, y no mas allá de 8 veces el espesor de la losa ( ACI-18.12.4) o 1.5 mts, el menor de ambos.

## 4. CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

**a.** Para ambos sistemas la Norma ACI 2.2.6.1 y la PTI 2.2.6.1 indica:" Los anclajes que se vayan a utilizar en ambientes agresivos deberán ser protegidos contra la corrosión. El diseño debe considerarse impermeable a la acción del agua de la conexión del torón al anclaje, así como de las cavidades donde se alojan las cuñas y el final del cable, impermeabilizando, de tal manera de lograr una protección contra la corrosión de los anclajes, cuñas , los anclajes intermedios y el cable de acero en los extremos.

**b.** Los anclajes deben estar diseñados para estar encapsulados e impermeabilizados, lo cual debe ser comprobado y todas las partes deberán demostrar su capacidad de mantenerse impermeable de tal manera que si se le somete, de manera horizontal y a una presión uniforme de 1.25 psi, por 24 horas, permanezca sin humedad en el interior.¨

**c.** Se considera ambiente agresivo, entre otras consideraciones, cuando la obra esta ubicada geográficamente cerca de la línea costera. Lima esta en una zona costera y además tiene porcentajes de humedad muy elevados.

### d. Consideraciones Generales:

**i.** Para decidir usar un sistema o el otro tener en cuenta :

- **a.** Las capacidades que tenga el postensador, las disponibilidad de material y equipo, y a la economía de la región donde se hace la obra.
- **b.** La magnitud de las cargas a la que vaya a estar sometido el elemento.
- **c.** Las características y bondades de cada sistema.

## 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL POSTENSADO EN LOSAS

### a. Sistema Adherente:

**i. Desventajas:**

- **a.** Perdida por Fricción: Debido a la necesidad de una alta adherencia entre el cable y su entorno, la perdida por fricción es considerable y ha de tenerse en cuenta dicha perdida en el cálculo, lo cual sin duda origina mayores refuerzos.
- **b.** Deben usarse ductos y estos deben ser planos y mono torones de ser posible.
- **c.** Los ductos pueden tener el inconveniente de cerrarse o "aplastarse" en el momento de la instalación, dificultando el ingreso de los cables y posterior llenado con lechada.
- **d.** Los ductos planos difícilmente podrán doblarse en el plano horizontal.

**e.** En general es muy común que haya problemas de calidad con el vaciado de la lechada, baja calidad de la misma y ductos de acero con problemas de corrosión. Se requiere gran experiencia para aplicar esta lechada.

**f.** (Si esto se controla bien, el resultado puede ser excelente, ASBI 1994).

**g.** El espacio para verter la lechada es reducido, y el cable tiende a pegarse a las paredes superiores luego de estar tesado, lo que dificulta el poder recubrir el 100% del mismo, creando una mayor deficiencia en la adherencia.

**h.** Los ductos flexibles deben ser sujetados firmemente en muchos puntos para dibujar la curva que manda el diseño.

**i.** Mayor capacidad para soportar mayor magnitud de las cargas.

**j.** Efectos menores en la losa antes la acción de un incendio o explosión.

**k.** No se puede determinar el porcentaje real de adherencia y recubrimiento del cable.

**l.** No puede determinarse cual es la perdida mayor por fricción al romperse un cable.

**m.** En caso de rotura de cable , este no puede ser removido y cambiado.

**n.** En caso de rotura de uno o más cables no se producirá ruido o algún efecto que pueda determinar que dicho cable o cables se ha roto y tampoco se podrá determinar la extensión de la zona o zonas afectadas pues esta longitud dependerá de la calidad de la inyección la cual a su vez dependerá del trazado, calidad y estado del ducto, entre otros factores de difícil cuantificación real. En otras palabras, ningún postensador garantiza de forma contractual que el corte de uno o más cables solo tenga un efecto local y más bien es imposible saber el margen real de resistencia o seguridad posteriormente al corte involuntario de un cable.

**o.** El cable desnudo permanece vulnerable a oxidarse mientras se hace la construcción, ya sea en almacén o en el lugar d ecolocación.

**ii. Ventajas:**

**a.** La calidad del anclaje es de importancia menor; debido a que una vez realizado el vertido de la lechada y fraguado este, la fuerza de tensión se transmite por la adherencia del cable con la lechada y del ducto con el concreto. Esta ventaja es importante para anclajes multi-cables de por ejemplo 20 cables o más pues las solicitaciones en anclajes individuales son muy bajas.

**b.** La losa soporta modificaciones de manera mas fácil que el sistema No Adherido.

**c.** La perdida de resistencia por un corte casual del torón, se presume que tiene un efecto menor sobre la losa aunque en realidad no se puede garantizar su efecto.

**b. Sistema NO Adherente.**

**i. Desventajas**

**a.** La cobertura de polietileno, puede romperse con la manipulación, debe hacerse un estricto control de calidad luego de colocado el torón no adherente en la losa o viga y reparar los fallos.

**b.** Los torones deben estar en muy buen estado a todo lo largo del elemento, ya que un punto débil haría que todo el torón este debilitado.

**c.** Los anclajes deben ser de buena calidad, fundido homogéneo lo mismo que las cuñas, estos deben estar protegidos ante cualquier acción corrosiva, ya que la tensión del torón, y por lo tanto del elemento estructural se sostiene por los anclajes y cuñas.

**d.** Debido a la vulnerabilidad en el caso que se pueda cortar un cable de una losa, es recomendable considerar en el cálculo que un porcentaje determinado de cables puedan ser cortados sin afectar la función de la losa. Este es un procedimiento habitual y en particular para el diseño a corte NO se considera el aporte de sobre-resistencia del postensado por lo que se podrían romper todos los cables y NO es necesario reforzar a corte.

**ii. Ventajas:**

**a.** La excentricidad en la colocación de los tendones es máxima.

**b.** Gran flexibilidad para la definición del trazado

**c.** Las perdidas por fricción son mínimas´, lo cual permite paños de trabajo mas largos.

**d.** Colocación fácil y rápida.

**e.** Al no ejecutarse la inyección la programación de obra es más fácil dado que no se solapan actividades

**f.** Se puede marcar fácilmente en la losa el lugar donde se encuentra el torón, para evitar su daño posterior.

**g.** En caso de rotura de cable, este puede ser removido cambiado y arreglado.

**h.** Antes de la instalación, los torones están mas protegidos ante los agentes corrosivos. No hay posibilidad que este se oxide.

## 6. APLICACIÓN A NIVEL MUNDIAL

**a.** Es notorio que desde que se mejoraron las normativas para el Postensado en caso de ambientes agresivos, un creciente numero de diseñadores, proyectistas y propietarios están tendiendo a preferir el sistema NO Adherido para el reforzamiento de losas y otras estructuras

**b.** En Taiwan, donde el sistema adherido era la norma, el sistema No adherido ha ido ganando preferencia por su mejor resistencia a climas húmedos ( Sutter et al 1994).

**c.** En Singapur, en la construcción de tanques contenedores de gas ha ocurrido lo mismo (Aalami 1994).

**d.** En Alemania donde el uso del sistema adherido era tradicional, el aumento de la preferencia por el sistema adherido ha sido notable.

**e.** En Estados Unidos el 66% del acero activo es usado en Postensado.

**f.** En Europa solo el 1% del acero activo es usado en Postensado y este porcentaje tan bajo incluye obra civil y edificación.

**g.** En Estados Unidos en el 2014, se han construido millones de metros cuadrados de sistema NO adherido. Sistema preferido por los constructores en un 95%.

**h.** En Europa en losas de edificación se emplea tanto el sistema adherido como no adherido aunque el volumen de construcción con esta técnica es tan bajo que no hay estadísticas fiables en Europa sobre el empleo de una u otra técnica siendo en todo caso de uso marginal en comparación a Estados Unidos.

**i.** En México, los edificios mas emblemáticos, como Torre Cube II, Santa Fe I, Paradox de 63 plantas esta construido con sistema No adherido, siendo el sistema imperante en ese país.

**j.** En Perú, aunque incipiente, se han realizado múltiples edificaciones con ambos sistemas, la participación principal de empresas multinacionales que promueven el sistema Adherido ha marcado el mercado, no obstante con el sistema No adherido se tienen múltiples ejemplos

- **i.** Losas Sótanos Torre Wiese, No Adherido – Samayca
- **ii.** 8 Losas y Vigas Edificio estacionamientos C. Empresarial Camino Real, No Adherido-Samayca
- **iii.** Bandas Torre Pinar, No Adherido-Samayca
- **iv.** Volados del Min Edu, No Adherido
- **v.** Planta Inca Kola, Trujillo, Vigas No Adheridas-Samayca
- **vi.** Edificio Ancón, NO adheridos –Postensa
- **vii.** Nuevo Centro de Producción de América TV –Pachacamac, No adherido-Postensa
- **viii.** Edificio planta textil Vulcano, No Adherido – Postensa
- **ix.** Diseño de Losas de sótano edificio Interseguro, No Adherido-Postensa
- **x.** Losas del nuevo Puerto de Yurimaguas: No Adherido-Postensa
- xi. Edificio Oficinas Olguin 18 plantas-1500 mt2 por planta– Postensa
- xii. Edificios residenciales en San Isidro y Moraflores. – Postensa
- xiii. Hotel Casa Andina en Las Orquideas-15 plantas– Postensa.
- xiv. Edificio Sky Balta

## 7. FALLOS Y PROBLEMAS POST CONSTRUCCION en LOSAS y VIGAS

### a. Sistema Adherido:

i. Si se corta un cable en un sistema adherido, este no perderá su tensión a todo lo largo de el elemento. Sin embargo dado que la adherencia cable-vaina es de difícil cuantificación la longitud afectada NO se puede determinar ni menos garantizar.
ii. Por tanto, es imposible determinar la longitud real de dicho espacio donde se pierde la adherencia y tampoco se podrá saber si se corto o no uno o más cables.
iii. Por tanto, si se perfora la losa y se corta un cable, no se sabrá si el cable fue o no cortado salvo que se haga una inspección picando la losa para visualizar el cable en cada punto donde se sospeche se ha producido un corte.
iv. En caso que se determine que un torón adherido ha sido cortado, este no podrá repararse, debido a que esta adherido a lo largo del ducto.
v. Es posible hacer modificaciones a las losas, cortando los mono-torones adheridos, habrá que hacer el reforzamiento ulterior que arroje el cálculo.

### b. Sistema No Adherido

i. Si se corta un cable, este "saltará" y dejara de actuar la tensión a todo lo largo del mismo siendo evidente que se ha producido.
ii. Es decir, el corte de un cable No Adherido es muy ruidoso, y será muy difícil no saber que esto ocurrió
iii. Existen numerosas formas de reparar un cable cortado. Mediante empalmes, colocando un nuevo cable por el mismo espacio que ocupaba el torón anterior.
iv. El buen estado de los anclajes es fundamental, por lo que si ocurriera una corrosión importante en los anclajes, estos deben cambiarse.

(Ver documento Técnico: "Repairs, Modifications and Strengthening with Post tensioning by Larry Krauser" quien es asesor principal de Postensa sac, Vicepresidente de GTI y director del PTI - Post Tensioning Institute y del comité Certificador del mismo instituto.)

## 8. CONCLUSIONES

1. Los sistemas No Adheridos son más económicos al requerir menos procesos y menos material.
2. El No Adherido es el sistema preferido a nivel Mundial, siendo Estados Unidos largamente el país que mas postensado hace en edificaciones.
3. En losas en particular NO se puede comparar entre una técnica u otra pues a nivel mundial la superficie de estructuras con la técnica NO adherida es de millones de m2 mientras que en el caso de la solución adherida su superficie ejecutada es mínima.
4. Con las normativas actuales, la seguridad en los anclajes de las Losas No adheridas esta garantizada.
5. Al perforarse una losa y cortar un torón, este se detectara y existen varios métodos de arreglo.
6. El torón o cable roto No Adherido puede ser cambiado El Adherido NO.

7. Es posible marcar en la losa, mediante sistema de tintas o pintura, el lugar donde esta ubicado cada torón.
8. Es posible proporcionar un recubrimiento mínimo a los cables de, por ejemplo, 50mm para evitar taladros o perforaciones.
9. Se tiene cabal certeza del funcionamiento del tensado a lo largo de la losa.
10. Se puede tener la certeza de una buena instalación.
11. Se evitan complicados procesos de vaciado de lechada con la incertidumbre que eso crea. (son las mayores patologías de oxidación y resistencia en sistemas adheridos)
12. A un costo marginal se puede calcular agregar un porcentaje adicional de cables de tal manera que se rompiera un cable, con un análisis simple se determina si necesita o no renovarse.
13. En Perú no se fabrica ninguno de los materiales que se requieren para realizar un Postensado, para un sistema adherido hay que importar ductos y material adherente que encarece el proceso.

Los Objetivos principales que un Ingeniero Proyectista debe cumplir son: **Seguridad, Funcionalidad, Economía y Normatividad.** El sistema No adherido para losas cumple todas estas condiciones de excelente forma.



---

Gustavo Salinas
Gerente General