

“Diseño Sísmico de Edificios con Losas Postensadas”



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge

Capítulo Costa Rica



ACIES

ASOCIACION COSTARRICENSE DE
INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMICA

Conceptos de Diseño de Estructuras Sismorresistentes con Elementos Postensados en el Perú

Juan Antonio Blanco Blasco

Antonio Blanco Blasco Ingenieros EIRL

Febrero de 2016





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Esta presentación se enfoca en edificaciones con responsabilidad sismorresistente que tienen vigas y bandas postensadas



Uso de elementos postensados en el Perú



Disposiciones normativas para el diseño sismorresistente en el Perú



Ejemplos de diversas estructuras peruanas en zona sísmica con elementos postensados





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Primera Parte de la Conferencia



Uso de elementos postensados
en el Perú





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Desde la década de los 60, en el Perú, se comienzan a utilizar elementos postensados.

Inicialmente se utilizaban en estructuras especiales de grandes luces, y como elementos prefabricados en forma de viguetas.





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Muy posterior, en la década del 1990, se empezaron a utilizar losas y vigas postensadas, con la finalidad de reducir peraltes y lograr luces más grandes. Se hacen estacionamientos subterráneos con bandas postensadas.

A partir del 2000, se incrementa el uso del postensado, se permite mayores distancias entre columnas y menores alturas de entrepisos. Se hacen sótanos con menores alturas y edificios con menores alturas.





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Edificio Lima Central Tower

Losa postensada con bandas de hasta 12 m de luz libre y peralte de 47 cm





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Edificio Pardo y Aliaga

Losa aligerada con bandas de hasta 13 m de luz libre y peralte de 50 cm



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



En sótanos se utilizan losas postensadas, usualmente planas o con ábacos (ensanches por punzonamiento).

Se logran encofrados más fáciles, y se reducen las profundidades de excavación (hay menos muros anclados y movimiento de tierras).





Excavación de 10 sótanos, con profundidades de entrepiso de 2.60 m

Edificio Lima Central Tower



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



En pisos superiores la reducción de entrepisos permite “ganar” uno o dos pisos adicionales dentro del límite municipal de altura.

El uso de postensado permite tener losas en voladizo de hasta 5 m , permitiendo el desarrollo de arquitecturas más complejas.



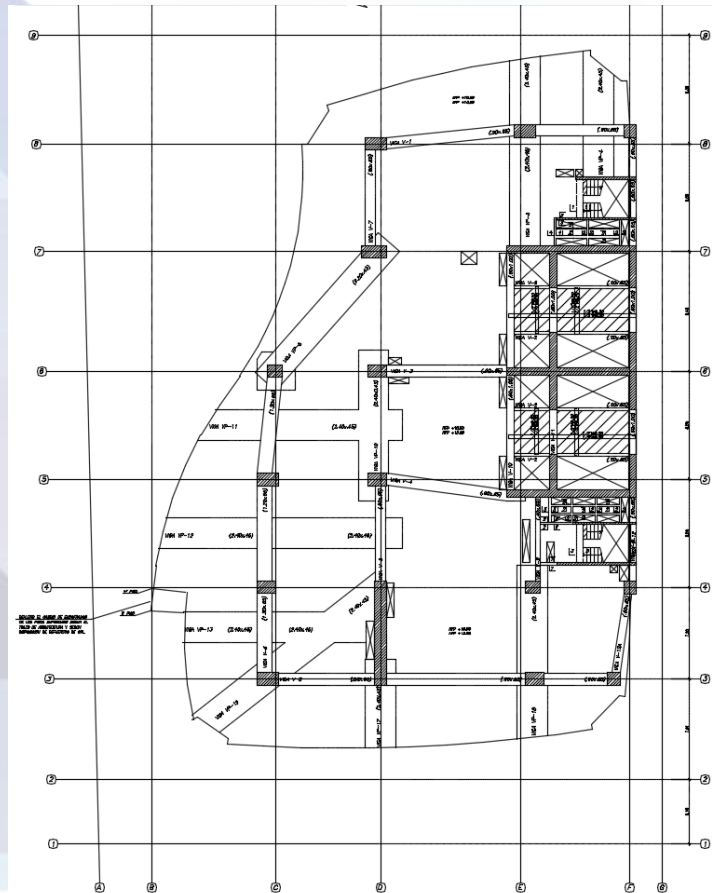
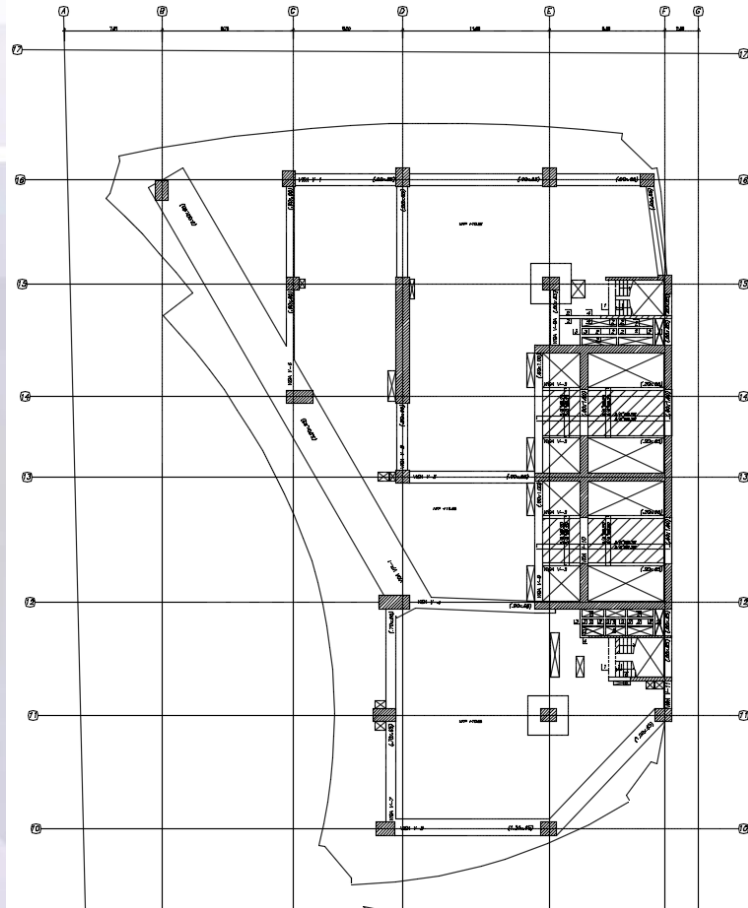
Torre de 25 pisos, con alturas de
entrepiso de 3.40 m

Edificio Empresarial More





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Los sótanos están confinados por el terreno, y no tienen deformaciones relativas entre un sótano y otro. Además, los muros de sótano actúan a manera de grandes placas que rigidizan a la estructura.

Los pisos superiores sí presentan desplazamientos relativos entre piso y piso, y es en donde se presentan las demandas sísmicas importantes durante un terremoto.





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Anteriormente la concepción estructural era tener edificios de placas y pórticos de concreto armado sismorresistentes, que podían o no tener losas postensadas.

Si existían vigas postensadas, estas se ubicaban en la estructura de manera que no tomaran fuerzas sísmicas durante un terremoto.

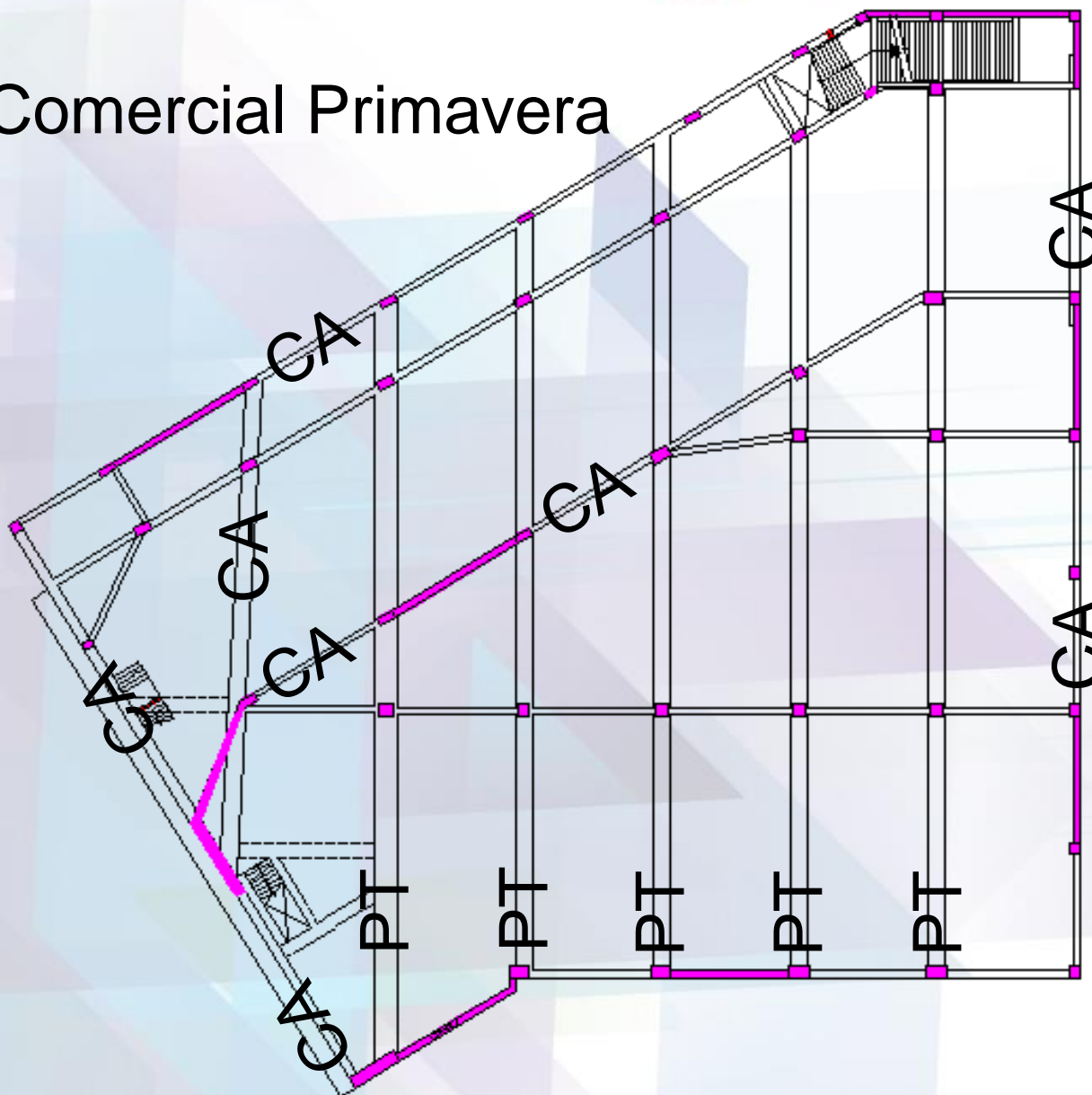




American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Centro Comercial Primavera (2009)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Con el reciente incremento de edificaciones con bandas y vigas postensadas, es cada vez más difícil lograr una estructuración en donde dichos elementos no tengan demanda sísmica.

En estos casos es necesario tener consideraciones especiales en el diseño, que permitan una ductilidad adecuada aún en elementos postensados.





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



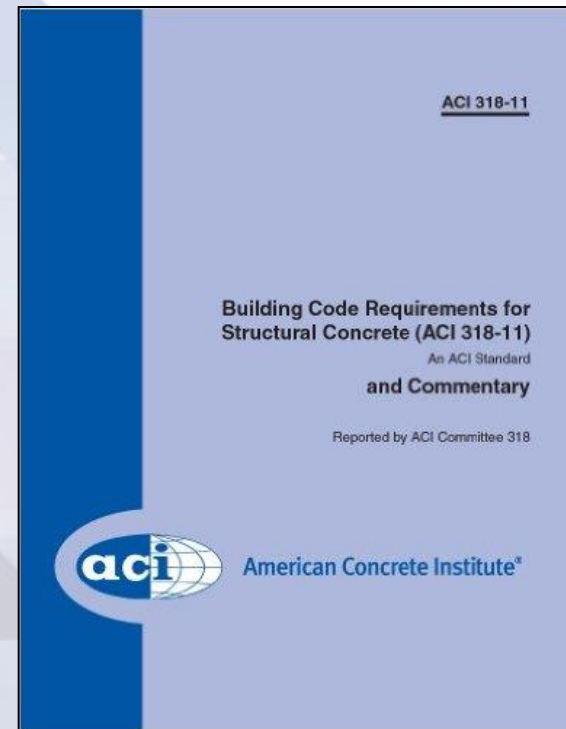
Segunda Parte de la Conferencia



Disposiciones normativas para el
diseño sismorresistente en el Perú



El diseño de concreto armado en el Perú se rige por las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones E.060 (2006)



Nuestra norma incluye el Capítulo 21, dedicado a diseño bajo solicitaciones sísmicas, inspirado en el Capítulo 21 del manual del ACI 318 (hasta el año 2011).

El código peruano clasifica a los edificios según su sistema estructural en:

Edificios de placas y duales tipo I

Edificios de pórticos y duales tipo II

El espíritu de la norma es tener mayores exigencias en las placas de edificios de placas y dual I, y en los pórticos de edificios de pórticos y dual II.

El ACI solo tiene la distinción de Muros y DUAL.



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Muros es cuando los muros toman 80% del cortante sísmico o más.

Dual I es cuando los muros toman 60% del cortante sísmico hasta 80%.

Dual II es cuando los muros toman menos del 60% del cortante sísmico.

Pórticos es cuando los pórticos toman por lo menos el 80% del cortante sísmico

Las limitaciones en deformaciones y resistencias que hay en vigas y columnas de edificios de pórticos son intencionalmente muy rigurosas.

Debido a ello, este tipo de sistema estructural generalmente no es viable en zonas de alta demanda sísmica como lo es la costa del Perú.

Es difícil respetar la filosofía de tener columnas fuertes y vigas débiles en estructuras con pocas placas, si se tienen elementos horizontales con capacidad nominal elevada.

Usualmente el uso de cables postensados permite tener vigas o bandas con resistencias altas, con una sección relativamente pequeña.

Esto causa que sea deseable tener una estructura con una densidad alta o moderada de placas que puedan tomar las fuerzas sísmicas.



REGLAMENTO
NACIONAL DE
EDIFICACIONES



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



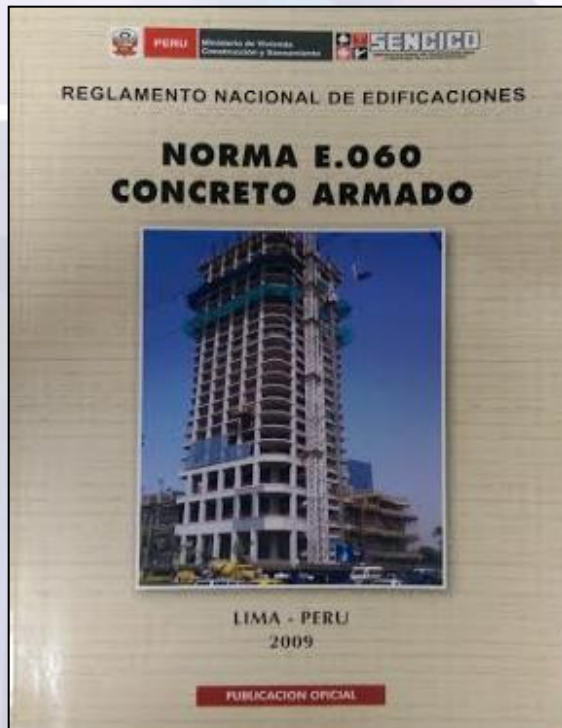
DISEÑO DE VIGAS Y BANDAS POSTENSADAS SOMETIDAS A SISMO HORIZONTAL



Los criterios de diseño sismorresistente que aplican para vigas convencionales, también aplican en vigas postensadas.

El reglamento peruano presenta exigencias en la cantidad de confinamiento en zonas de rótulas plásticas, y criterios de diseño por capacidad en el capítulo 21 de la norma E.060

Disposiciones para vigas de edificios de placas o dual tipo I (RNE E.060)

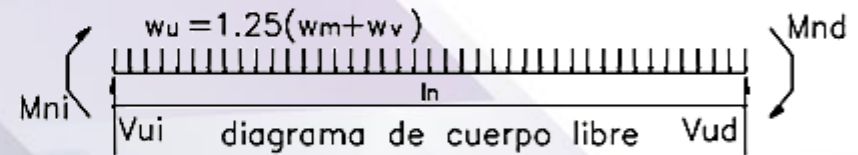
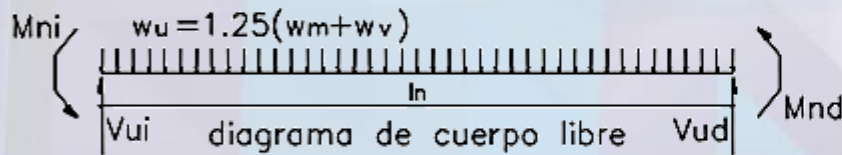
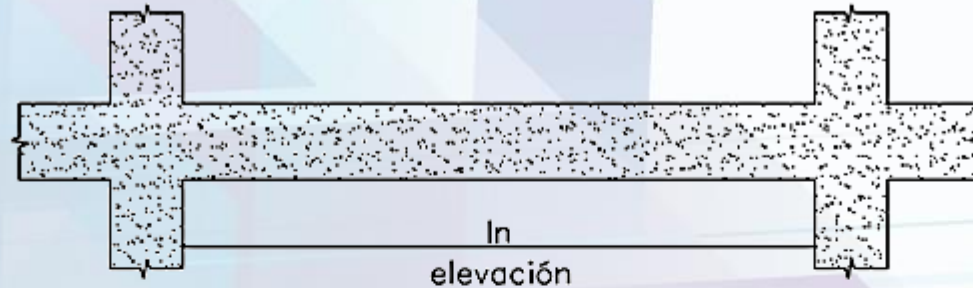


21.4.4.4

Deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en ambos extremos con un espaciamiento máximo de:

- (a) $d/4$ pero no menos de 15cm.
- (b) 10 db
- (c) 24 dbs
- (d) 30 cm

Disposiciones para vigas de edificios de placas o dual tipo I (RNE E.060) (continuación)



$V_{ui} = \frac{(M_{nd} + M_{ni})}{l_n} + w_u \frac{l_n}{2}$
diagrama de fuerzas cortantes

caso 1



$V_{ud} = \frac{(M_{nd} + M_{ni})}{l_n} + w_u \frac{l_n}{2}$
diagrama de fuerzas cortantes

caso 2

El ACI menciona exigencias especiales para elementos postensados con sollicitaciones sísmicas en el antiguo Capítulo 21, que ahora es el Capítulo 18.

Dichas exigencias no figuran en la norma E0.60 actual, ya que la práctica convencional de diseño hasta su publicación (2006) fue evitar tener elementos postensados con demandas sísmicas.

Disposiciones para vigas de pórticos especiales resistentes a momento (ACI 318)

18.6.3.5

- (a) *El esfuerzo de precompresión debe ser menor a 35kg/cm^2 y $10\%f'c$.*
- (b) *El cable debe ser no adherido en zona de rótula y su deformación unitaria no debe superar 1%.*
- (c) *El cable no debe contribuir en más de 25% de M_n .*
- (d) *Los anclajes deben soportar como mínimo 50 ciclos de carga.*

An ACI Standard

Building Code
Requirements for
Structural Concrete
and Commentary

Reported by ACI Committee 318

ACI 318-14

Las exigencias del ACI318 18.6.3.5 buscan garantizar la ductilidad del elemento postensado, limitando la cuantía de cable.

Se limita la cantidad de cable de preesfuerzo, limitando su aporte al 25% de M_n (c), y limitando la fuerza de precompresión máxima (a).

Estos límites se basan en lo observado en el comportamiento de edificaciones durante sismos.

Las exigencias del ACI318 18.6.3.5 también buscan evitar la posible ruptura del cable de preesfuerzo, o la falla frágil del anclaje.

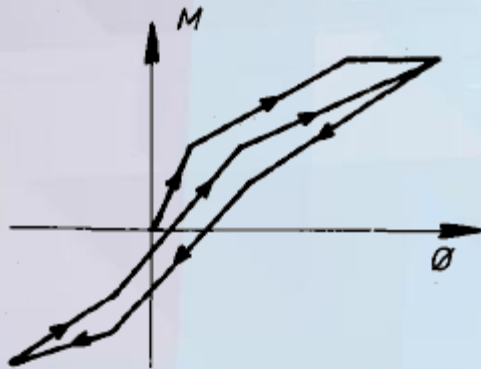
Para ello se exigen anclajes capaces de tomar 50 ciclos de carga (d), y se limita la deformación máxima del cable con sistema no adherido (b).

La ventaja de utilizar un sistema no adherido, es que la deformación no se concentra en las grietas del concreto, sino que se distribuye en toda su longitud.

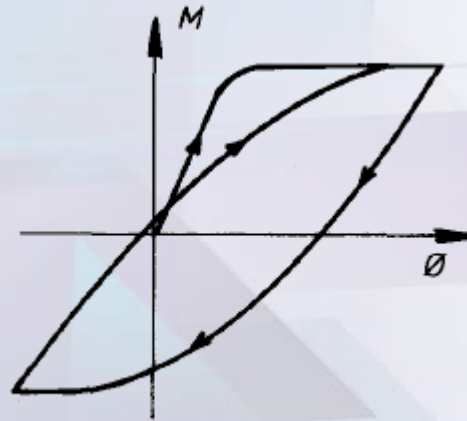
Si bien el uso de un sistema no adherido es completamente válido en un diseño sismorresistente, tiene dos desventajas.

- 1) La falla de los anclajes implica la pérdida de tensado a lo largo de todo el elemento.
- 2) El cable no adherido trabaja en el rango elástico, y no funciona como mecanismo de liberación de energía y amortiguamiento.

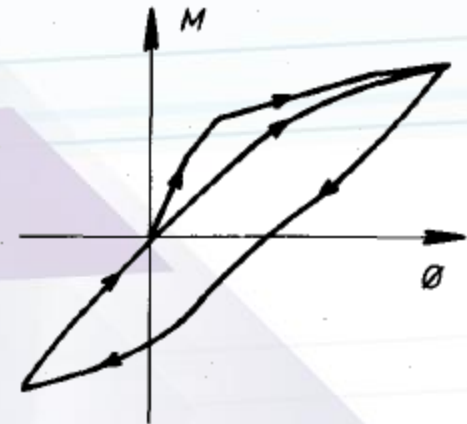
El uso de refuerzo de acero convencional en una viga postensada con sistema no adherido mejora el ciclo histerético. Por otro lado, un sistema adherido presenta igual o mejor comportamiento.



PT (no adherido)



RC



PT + RC

Fuente: Thompson y Park

La norma peruana desconoce el efecto que podría tener el uso de uno u otro sistema postensado sobre el factor de reducción R utilizado en el cálculo de la cortante basal sísmica.

$$V = \frac{ZUCS}{R}$$

Sin embargo, este cambio de comportamiento no debería ser marcado si se tiene una cantidad importante de refuerzo convencional en relación al cable.

El uso de sistema no adherido exigido por el ACI se basa en que este es el sistema comercialmente más difundido en los Estados Unidos, y sobre el cual el comité ACI 318 tiene la mayor cantidad de información.

En otros países, como por ejemplo Nueva Zelanda, el uso de sistema adherido es la norma y el sistema no adherido la excepción.

19.4.2.3

Los tendones postensados en pórticos resistentes a momentos deben ser llenados con grouting (sistema adherido), salvo se cumpla con 19.4.5.2.

19.4.5.2

*Vigas Parcialmente Preesforzadas:
Los tendones pueden ser no adheridos si el refuerzo convencional aporta por lo menos 80% de M_n , los tendones pasan por el tercio central de la sección, y se garantiza que no pueda existir la falla de los anclajes.*



NZS 3101-1 (Nueva Zelanda)

Disposiciones para vigas sometidas a acciones sísmicas (NZS 3101-1)



NZS 3101-1 (Nueva Zelanda)

19.4.3.3

...

(b) Zonas de ductilidad plástica limitada:

(i) La profundidad del eje neutro en el agotamiento no debe exceder 20% de h .

(ii) Se debe cumplir que $A_s'f_y$ (acero en compresión) sea mayor que 15% de la fuerza en la cabeza comprimida cuando no se tiene ala.

(iii) El espaciamiento entre estribos “s” no debe ser mayor a $6d_b$.

Disposiciones para vigas sometidas a acciones sísmicas (NZS 3101-1) CONTINUACION



NZS 3101-1 (Nueva Zelanda)

19.4.3.3

...

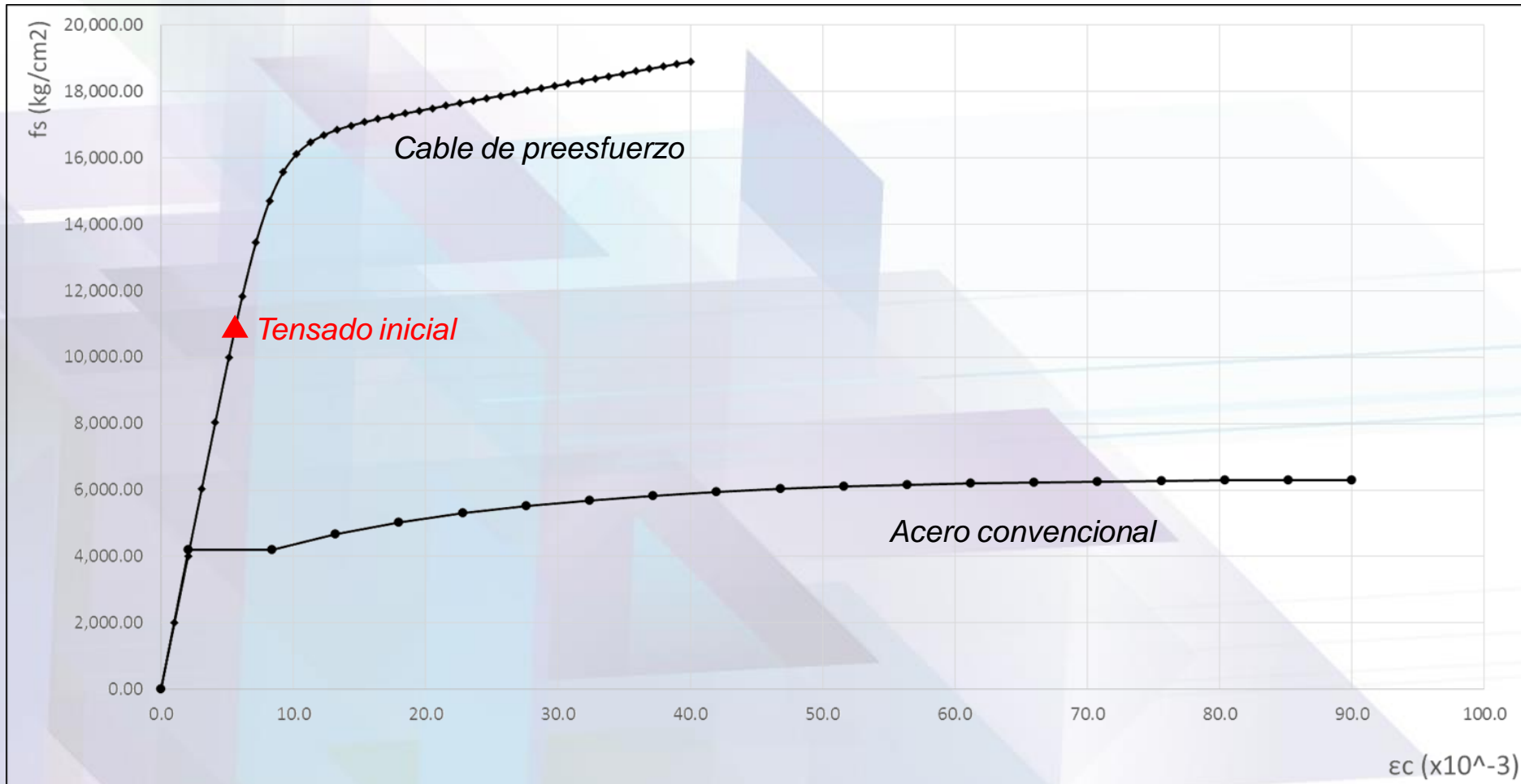
*(c) Zonas de ductilidad plástica:
Se debe realizar un análisis basado en principios de ingeniería que garantice que la ductilidad de curvatura de la viga postensada es similar a la que tendría una viga de concreto armado convencional de dimensiones similares.*

En el sistema postensado adherido la falla de un anclaje o la rotura accidental de un cable no implica la pérdida de fuerza en todo el elemento.

Sin embargo, en las zonas de rótulas plásticas los cables de preesfuerzo se pueden someter a deformaciones altas, pues están adheridos al concreto.

Mientras que un refuerzo de acero convencional puede tener deformaciones unitarias de rotura entre 9% y 12%, los cables de preesfuerzo alcanzan deformaciones unitarias de 3% a 5%.

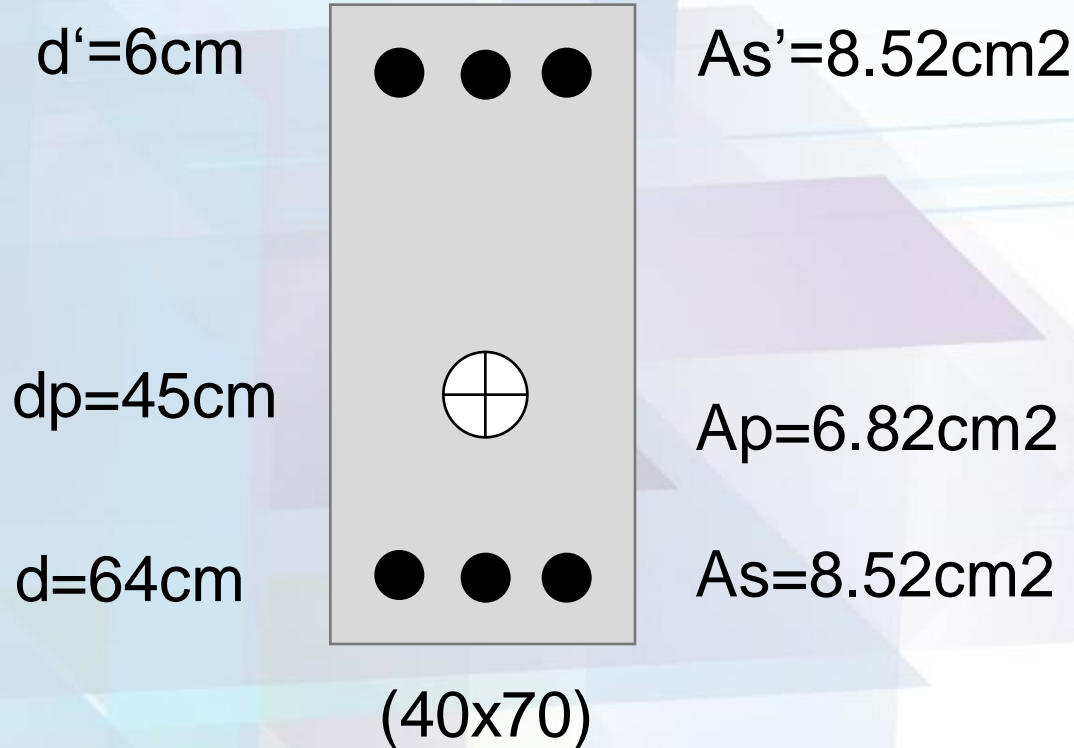
Adicionalmente, el cable de preesfuerzo ya tiene una deformación estable de aproximadamente 0.6% debido al tensado.



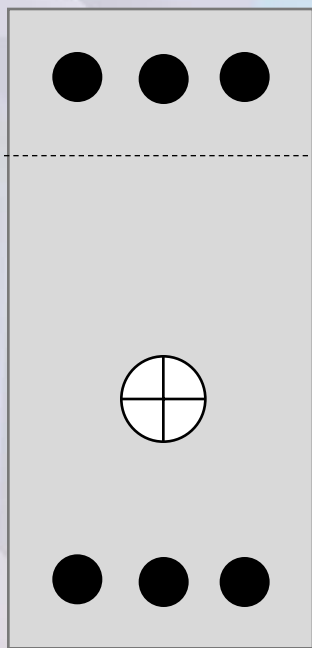
Para disminuir las demandas de deformación en los cables postensados, se puede disminuir el peralte efectivo del cable en las zonas de potencial rótula plástica.

Un criterio que puede adoptarse es limitar el trazo del cable al tercio central de la sección en las zonas de rótula plástica.

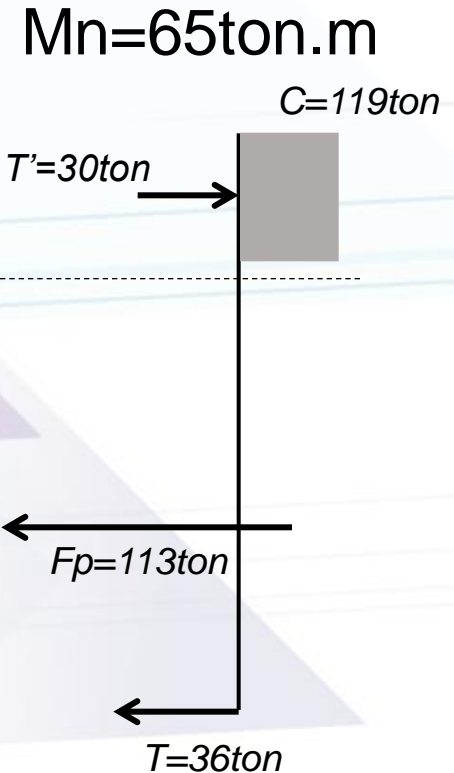
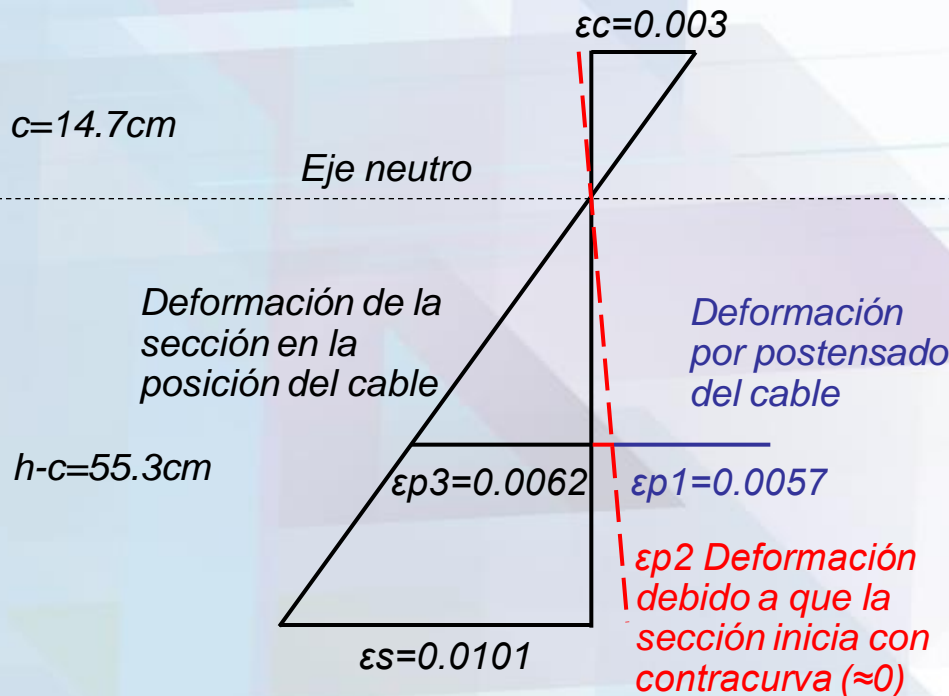
Analizamos el agotamiento de una viga postensada de 40x70 con 75ton de tensión y refuerzo superior e inferior de $3\Phi 3/4"$, con el cable ubicado en el tercio central.



Analizamos el agotamiento de una viga postensada de 40x70 con 75ton de tensión y refuerzo superior e inferior de $3\Phi 3/4"$, con el cable ubicado en el tercio central.



(40x70)



La sección analizada tiene una deformación en el refuerzo en tracción de 0.010, mientras que en la posición del cable la deformación es 40% menor (0.006).

La deformación total en el cable considerando el efecto del tensado inicial es de aproximadamente 0.012. La deformación por el tensado inicial representa cerca del 50% de la deformación total.

Analizamos una viga postensada con resistencia similar a la estudiada anteriormente ($M_n=65\text{ton.m}$), pero con menor cantidad de postensado y ubicando el cable fuera del tercio central.

$$d'=6\text{cm}$$

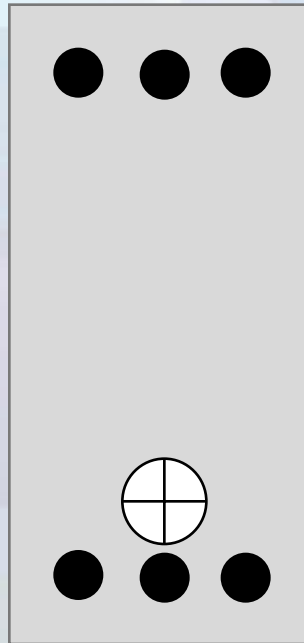
$$A_{s'}=8.52\text{cm}^2$$

$$d_p=60\text{cm}$$

$$A_p=4.60\text{cm}^2$$

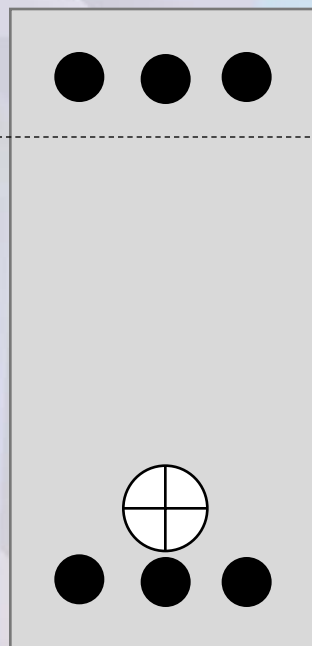
$$d=64\text{cm}$$

$$A_s=8.52\text{cm}^2$$

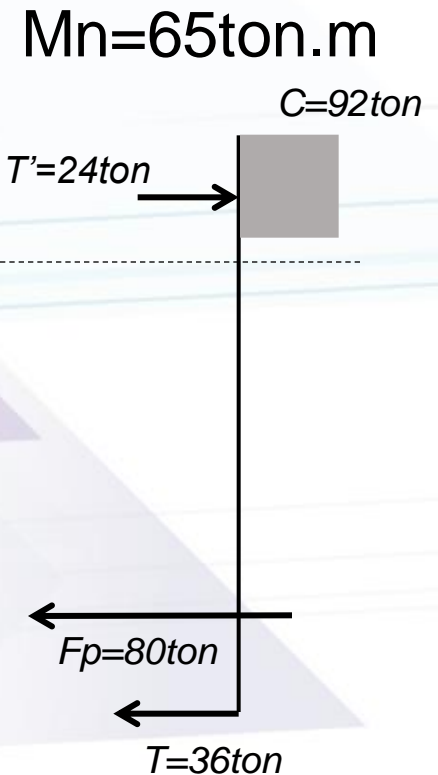
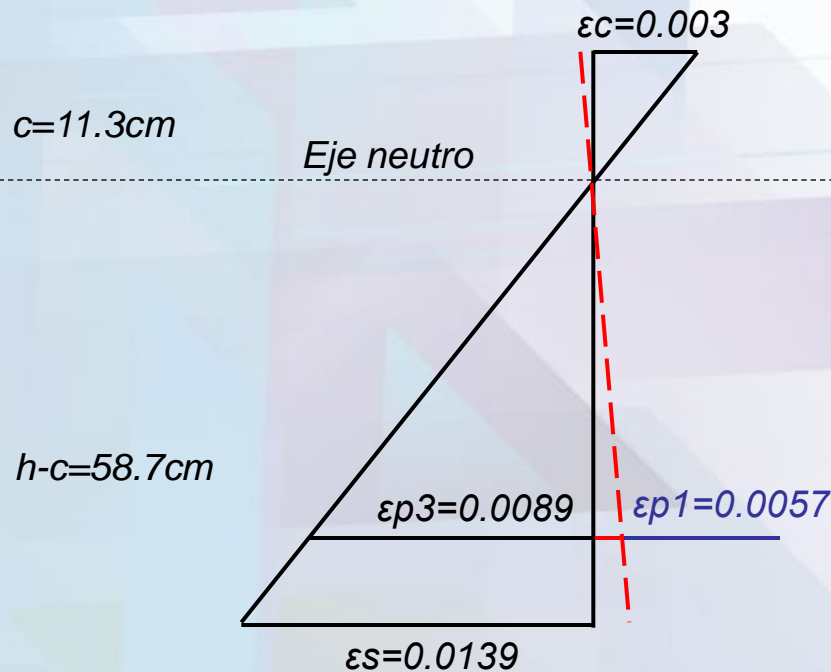


(40x70)

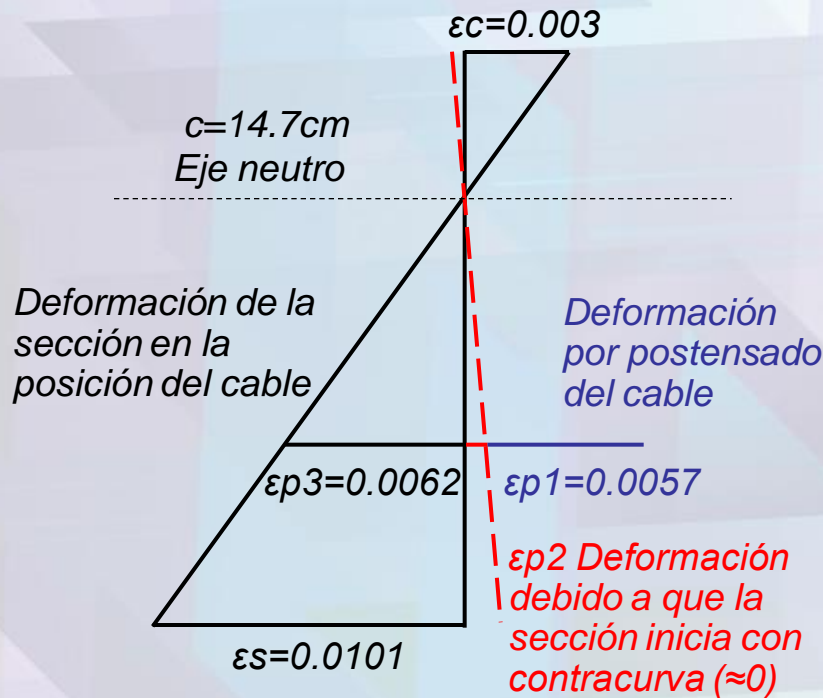
La deformación de la sección en la posición del cable es 44% mayor, mientras que la deformación total del cable incrementa en 21%.



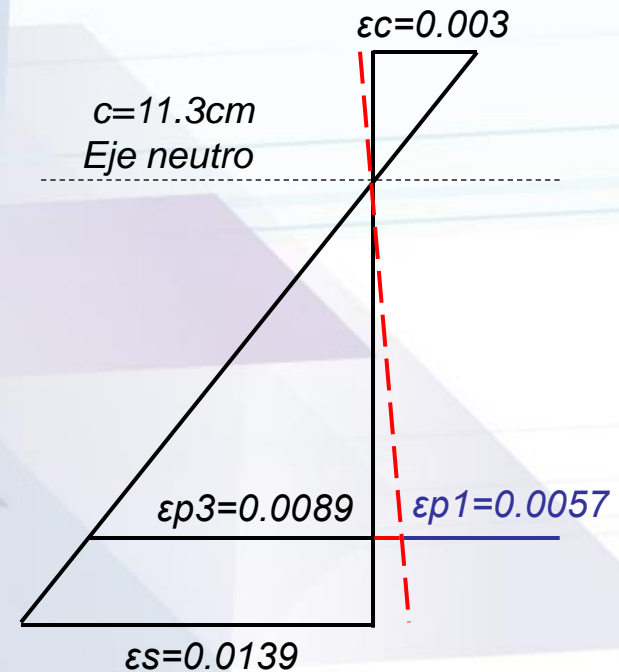
(40x70)



Cable dentro del tercio central



Cable fuera del tercio central



Comparando las dos secciones analizadas, podemos entender la importancia de la posición del cable en el control de sus deformaciones.

Los análisis realizados toman la deformación de agotamiento del concreto ($\epsilon_{cu}=0.003$) utilizada por la norma peruana y el ACI.

El efecto es aún más marcado si se considera que el concreto confinado puede tener una deformación última bastante mayor a la reglamentaria.



REGLAMENTO
NACIONAL DE
EDIFICACIONES



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



CONSIDERACIONES TOMADAS POR NUESTRA OFICINA EN EL DISEÑO DE EDIFICIOS CON POSTENSADO EN ZONA SÍSMICA



1) Evitar el uso de postensado en los elementos estructurales con mayor demanda sísmica. Entre otros, vigas que conectan placas, o que conforman el núcleo sísmico del edificio.

2) Tener una densidad de placas adecuada, de manera que los pórticos con vigas o bandas postensadas tengan baja demanda sísmica. Buscar una estructura de placas o dual I.

3) Si son necesarias vigas o bandas postensadas sísmicas, tomar las siguientes consideraciones adicionales:

- a) *Utilizar de preferencia sistema adherido.*
- b) *Utilizar cables con deformación de rotura mínima de 4.5% (la exigencia mínima del ASTM es 3%).*
- c) *Limitar el esfuerzo de compresión en el alma de la viga a 35kg/cm² o 10% f'_c .*
- d) *Diseñar el elemento de manera que por lo menos 75% de la capacidad en las rótulas provenga del refuerzo convencional.*
- e) *Ubicar el cable en el tercio alrededor del centroide de la sección en las zonas de rótulas plásticas.*



DISEÑO DE LOSAS PLANAS O CON ÁBACOS

En el Perú el uso de losas postensadas planas o con ábacos es visto principalmente en los sótanos de edificaciones con mucha profundidad de excavación.

Permiten hacer paños más grandes (usualmente 10m en lugar de 8m), donde caben 4 estacionamientos entre ejes. También permiten reducir la profundidad necesaria de sótanos y facilitan los encofrados.

El espesor de las losas o de los ábacos queda regido para casos comunes por el punzonamiento de las columnas a través de las losas planas.

En el caso de losas de sótano, no existen sollicitaciones sísmicas salvo las generadas por sismo vertical, que según la norma peruana E.030 corresponde a una fracción del peso de $2/3Z$.

El primer sótano no es postensado.

La combinación por gravedad es:
 $U = 1.4D + 1.7L \approx 1.5(D+L)$

Y la combinación de sismo es:
 $U = 1.25D + 1.25L + E$

Pero $E = 2/3Z(D+L)$, para la zona 3 (o zona de costa), por lo que la sollicitación sísmica será aproximadamente $2/3 \cdot 0.4(D+L)$:

$$U = 1.25D + 1.25L + 0.27(D+L) = 1.52(D+L)$$

Según la norma peruana, las demandas considerando sismo vertical no superan de manera importante las demandas por gravedad.

Sin embargo, existe la buena práctica de amplificar en 30% las demandas de gravedad en el cálculo de corte y punzonamiento de losas planas que no cuentan con refuerzo por corte.

En el Perú las losas planas no son muy comunes en pisos superiores, debido a que existen exigencias reglamentarias que limitan su uso.

Dichas exigencias surgen a raíz del sismo de México de 1985 en donde se vieron muchas fallas por punzonamiento de losas sin vigas.

Sismo de México (1985)



21.8.2

El empleo de este sistema estructural (losas planas) está limitado a:

- (a) Número máximo de pisos 5, sin exceder 18m*
- (b) Las placas deben tomar como mínimo el 80% del cortante sísmico de cada entrepiso*
- (c) La deriva máxima no debe exceder 0.005 (en lugar de 0.007)*
- (d) Deberán existir vigas peraltadas de borde en todo el perímetro del edificio conectando a las columnas*



El espíritu de la norma es evitar los edificios “tipo Miami”, en donde se tienen torres altas sin pórticos y con techos planos.



*Edificio 1111 Lincoln Road
(Florida)*

Se busca evitar la falla de las losas debido al giro que presentan las columnas sobre las que se apoyan durante un sismo.



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Tercera Parte de la Conferencia



Ejemplos de diversas estructuras peruanas en zona sísmica con elementos postensados





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica

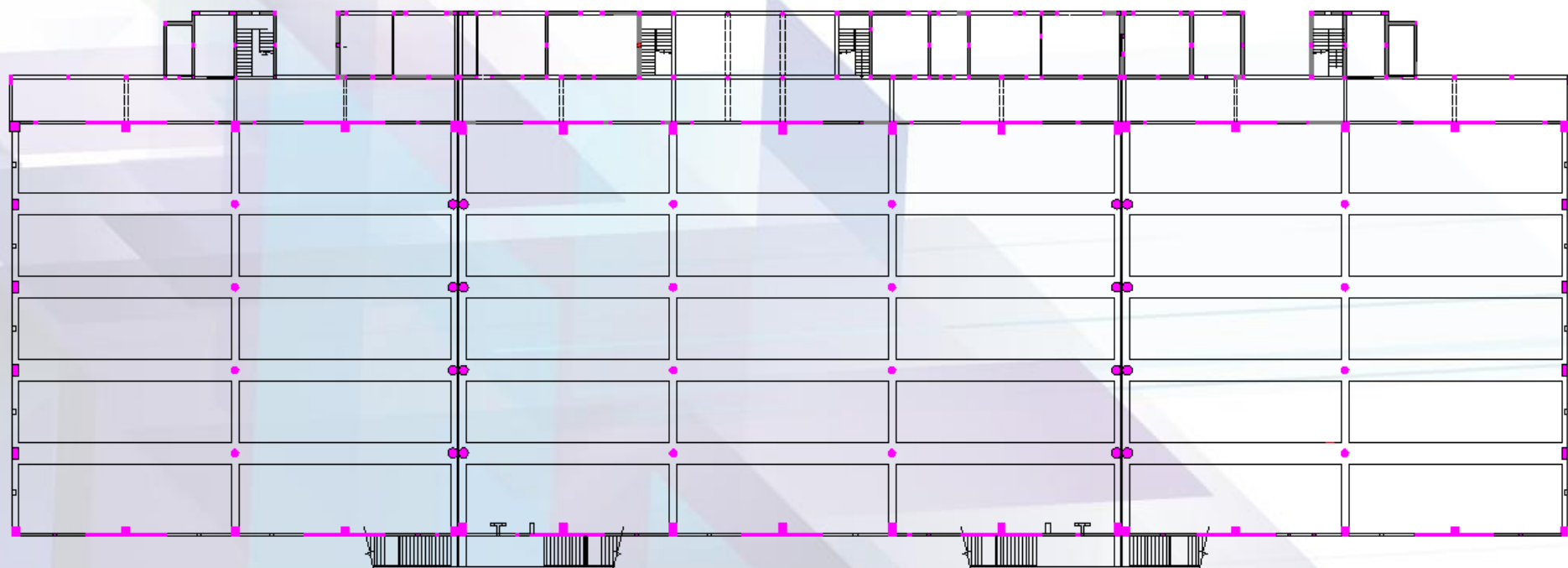


EDIFICIOS CON DENSIDAD DE PLACAS ALTA Y POCA SOLICITACIÓN SÍSMICA EN VIGAS POSTENSADAS





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Proyecto Videna – Polideportivo (2012)

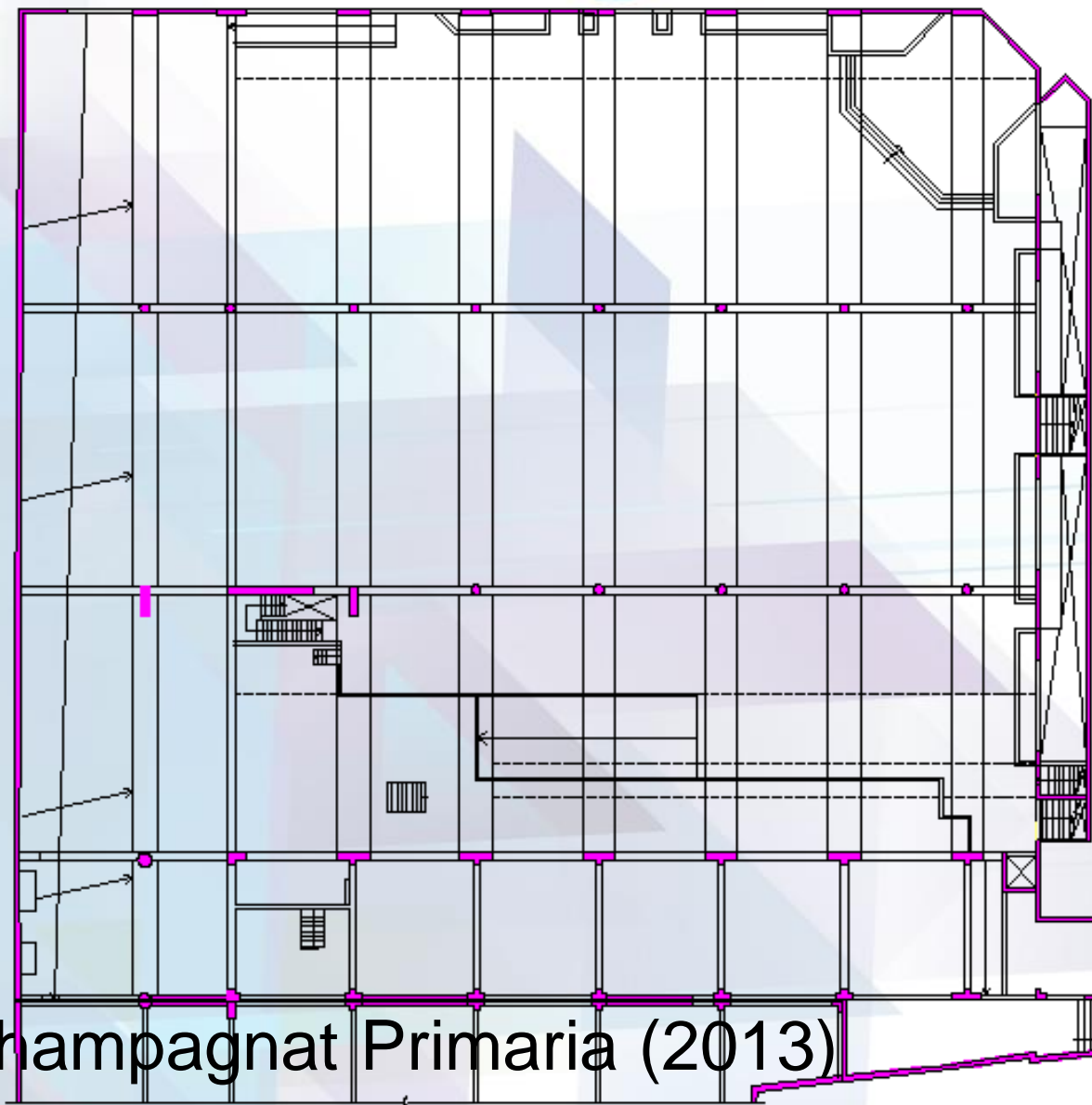




American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



ACIES
ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE
INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SÍSMICA



Colegio Champagnat Primaria (2013)



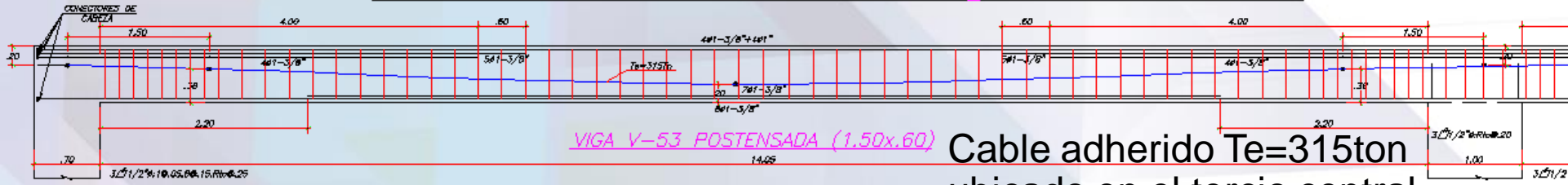
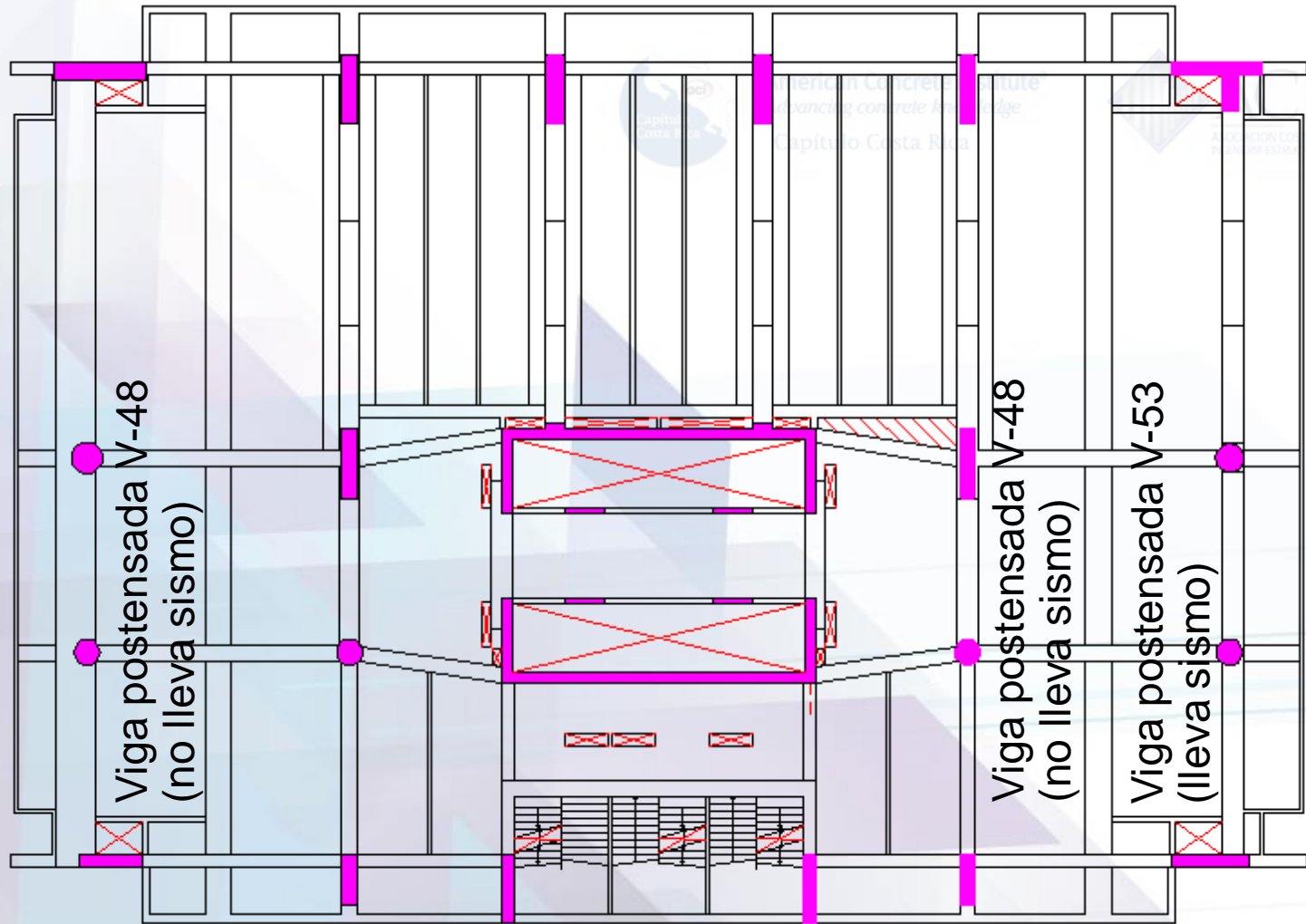


American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



EDIFICIOS CON VIGAS POSTENSADAS UBICADAS DE MANERA QUE NO TENGAN FUERZAS SÍSMICAS





VIGA V-53 POSTENSADA (1.50x.60) Cable adherido $T_e=315\text{ton}$ ubicado en el tercio central

Edificio Capital (República) (2015)

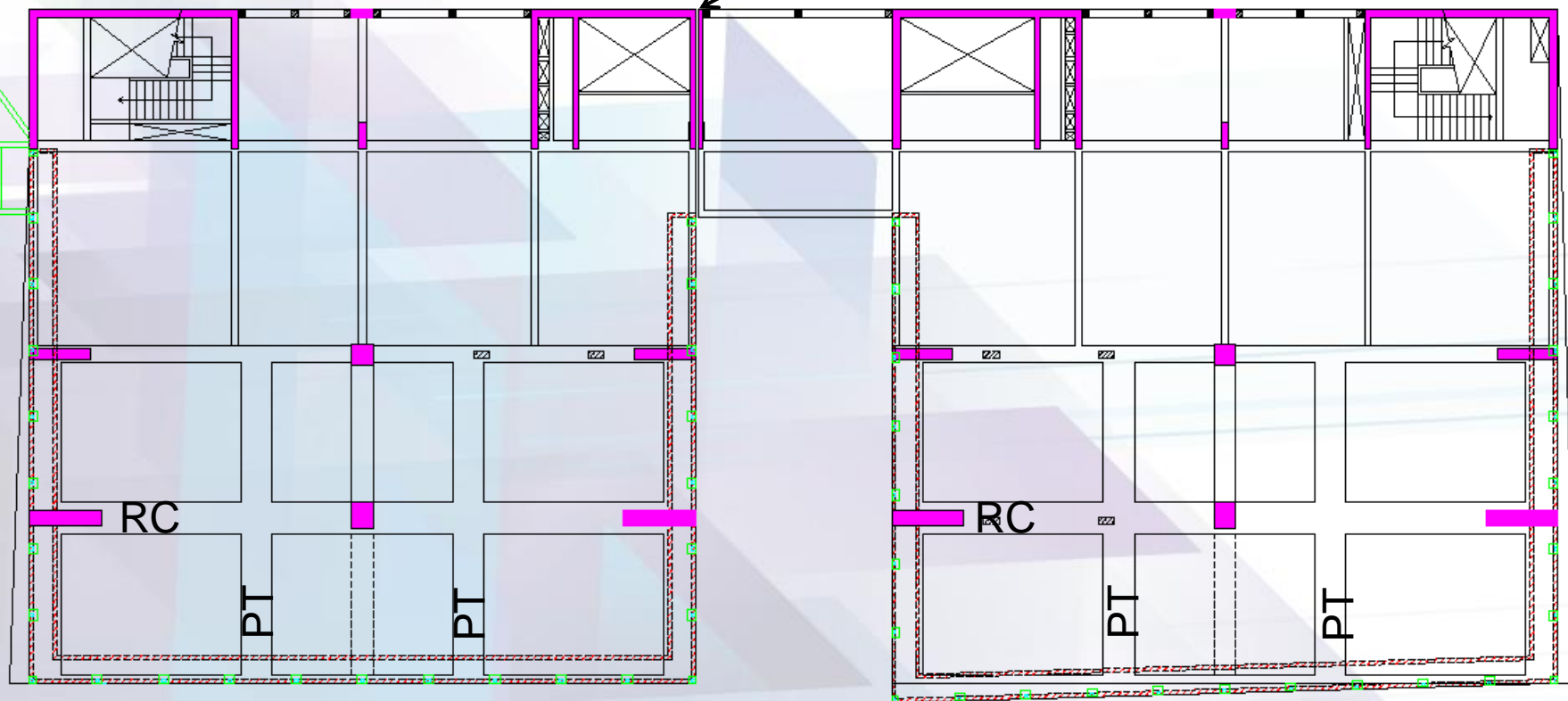




American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Junta sísmica



Clinica Internacional Surco (Polo) (2013)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



EDIFICIOS CON VIGAS POSTENSADAS SÍSMICAS PERO CON NÚCLEOS SÍSMICOS DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Junta sísmica

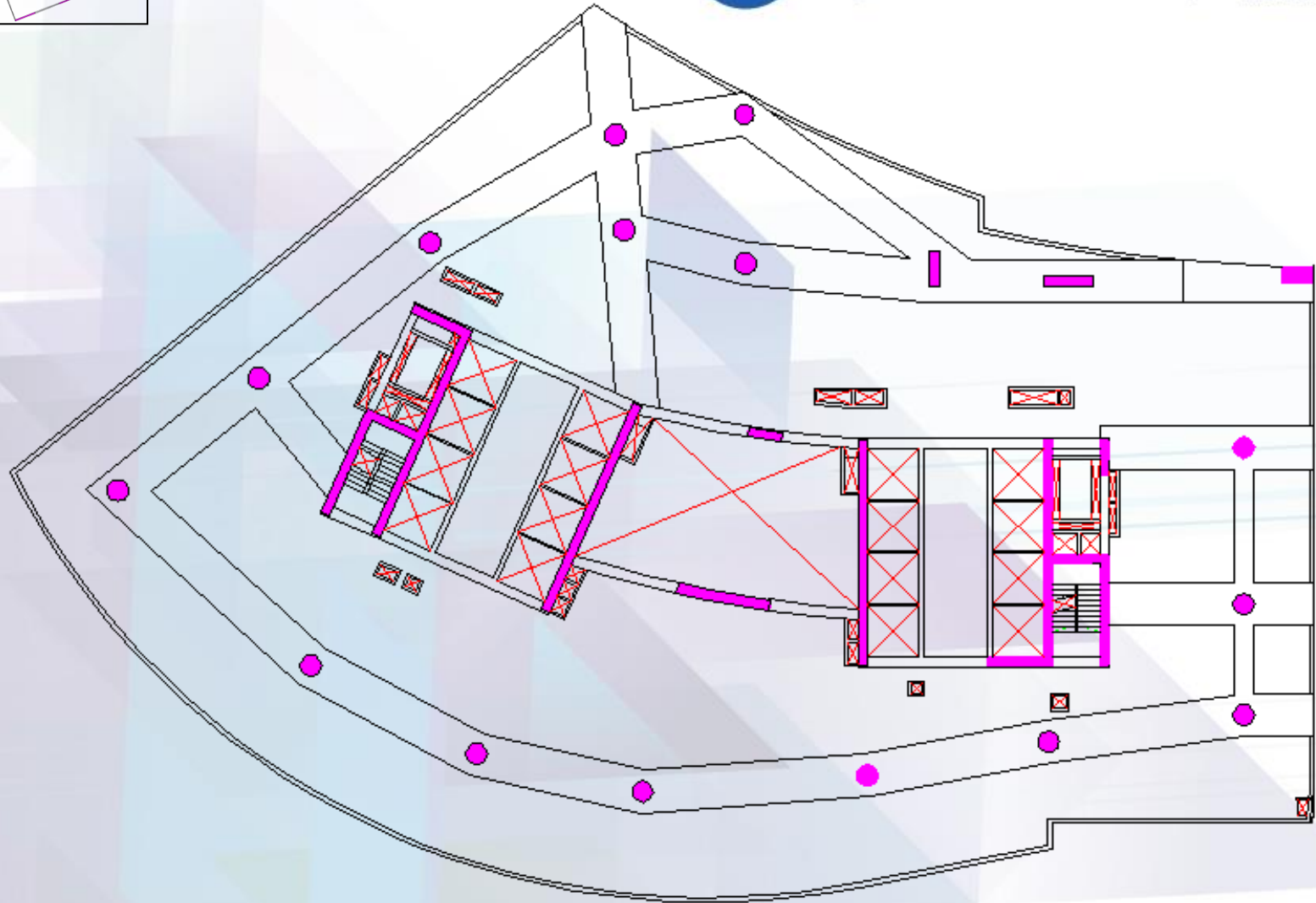


Hotel y Oficinas Talbot (2014)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica

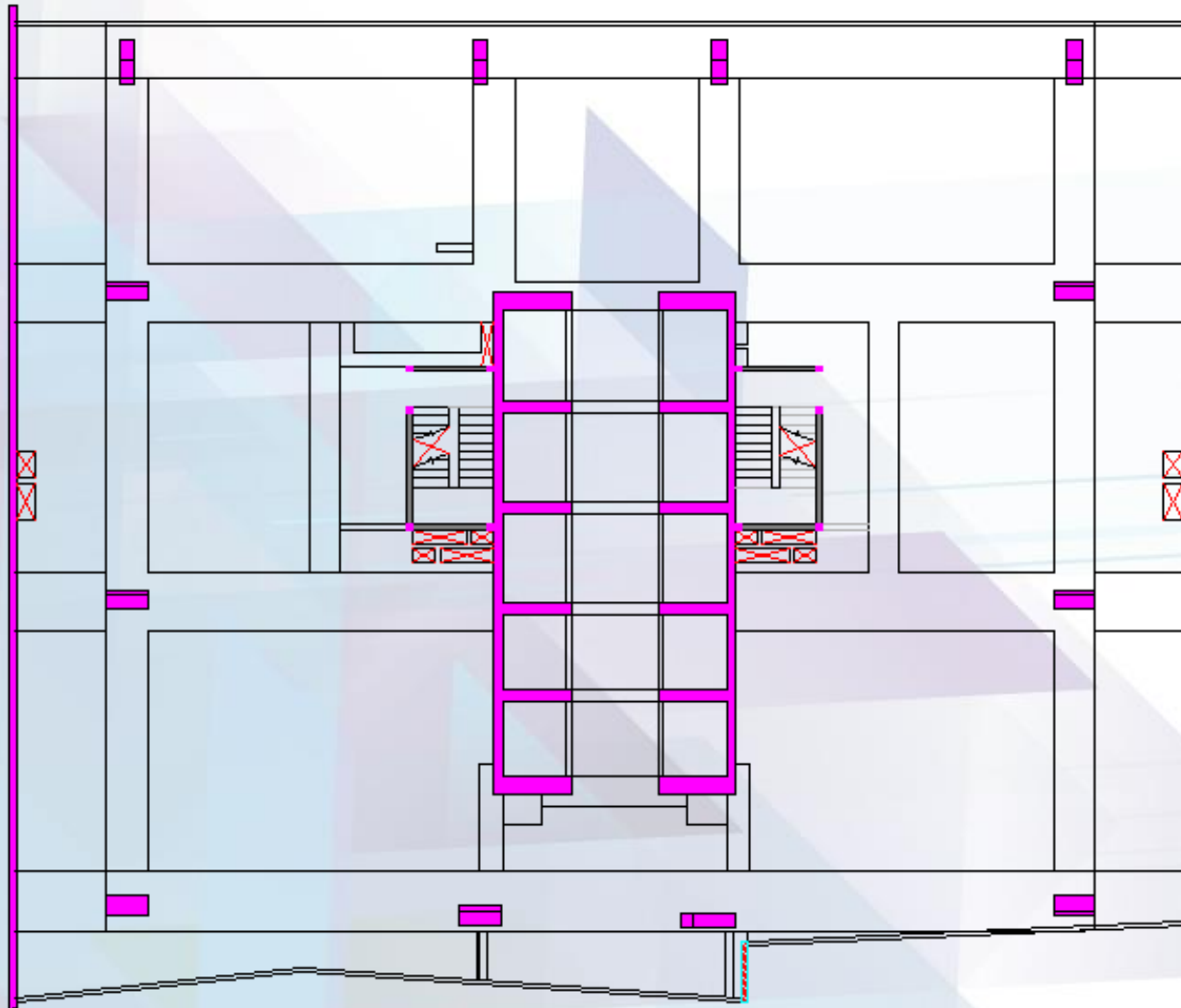


Lima Central Tower (2012)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Edificio Javier Prado (2013)

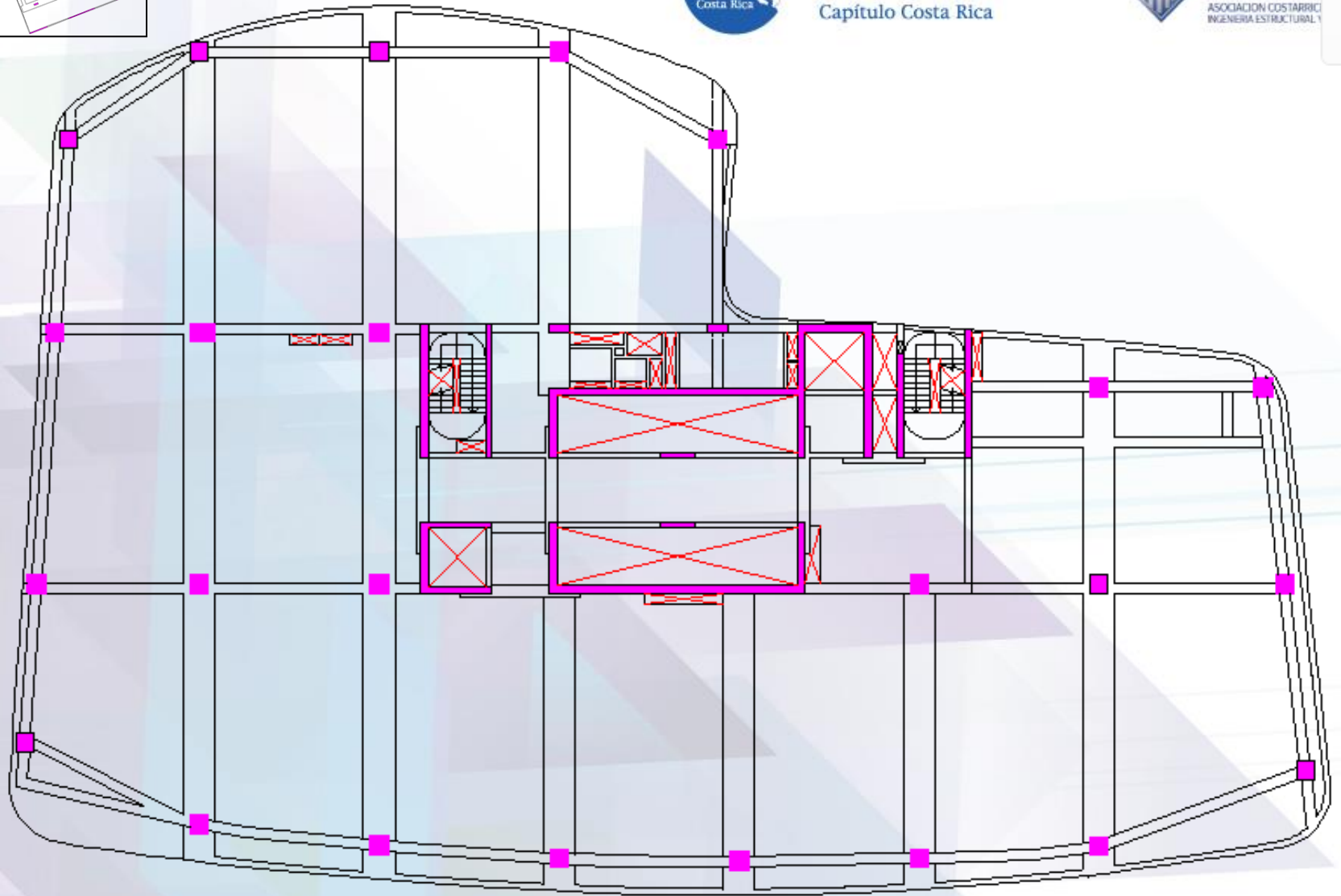




American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



ACIES
ASOCIACIÓN COSTARRICENSE
DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL

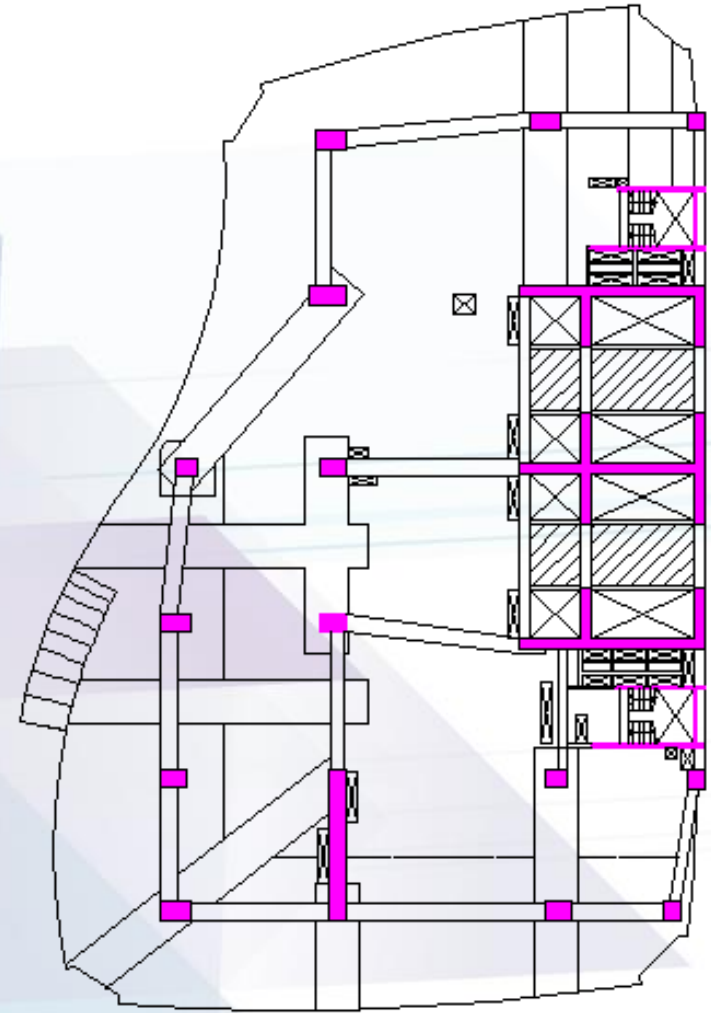
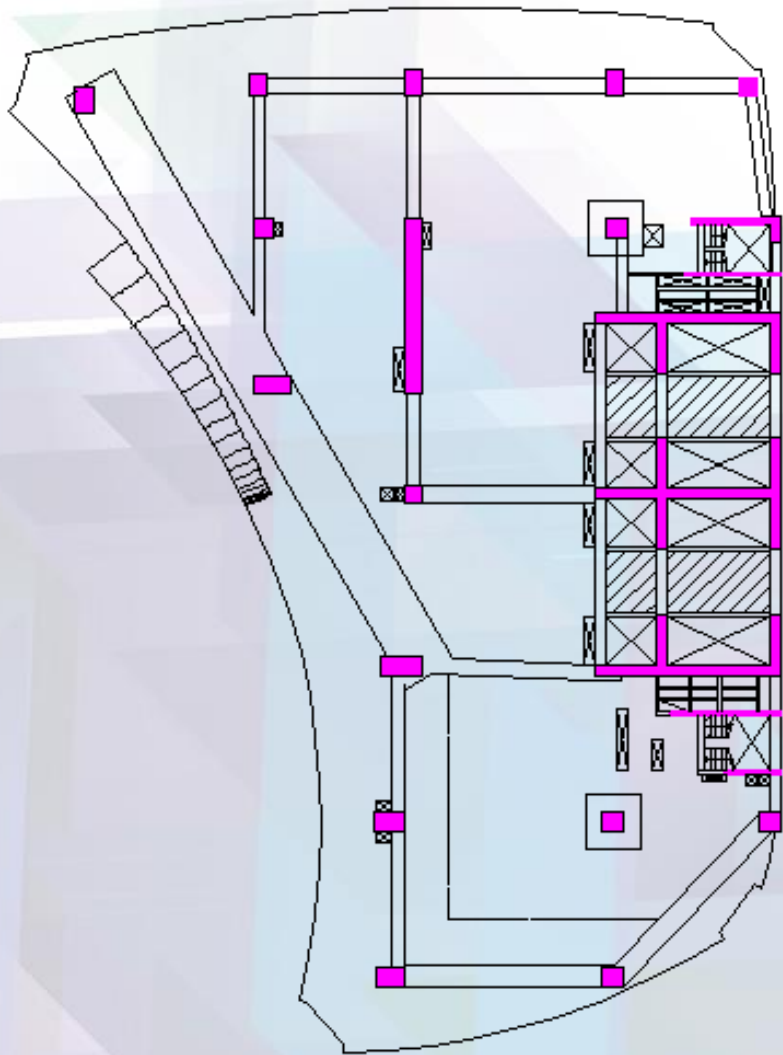


Edificio Pardo y Aliaga (2011)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



Edificios de Oficinas More (2014)





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



- GRACIAS
- ESTA CONFERENCIA HA SIDO PREPARADA POR EL ING. DANIEL CHANG.
- ESTA CONFERENCIA SE DIO EN EL CERTAMEN ORGANIZADO POR ACI COSTA RICA, EL 25 DE FEBRERO DE 2016.



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



ACIES
ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE
INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SÍSMICA

EXPOSITORES EN CENA SHOW



DRA. CAROL HAYEK



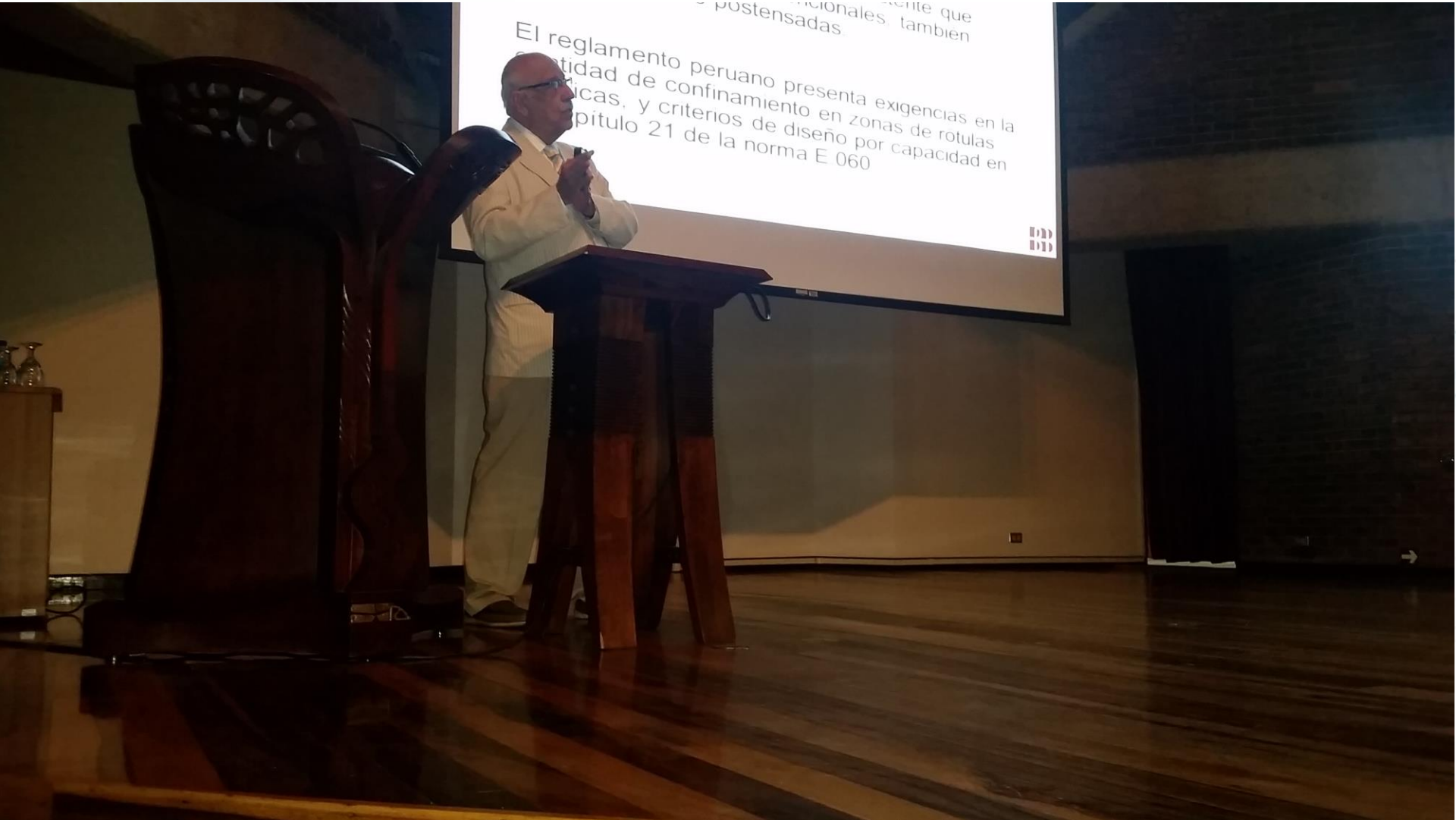
American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



ING. ANTONIO BLANCO



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



El reglamento peruano presenta exigencias en la cantidad de confinamiento en zonas de rotulas plásticas, y criterios de diseño por capacidad en el artículo 21 de la norma E 060

MESA REDONDA



American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica





American Concrete Institute®
Advancing concrete knowledge
Capítulo Costa Rica



ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE
INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN

