



## CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LA SUPERVISION DE LOSAS POSTESADAS

Jaramillo, Emilio  
Ingeniero Civil  
Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"  
jaramillo.emiliorodolfo@alumni.frgp.utn.edu.ar

### RESUMEN

El postesado en losas planas se viene utilizando en nuestro país hace varios años, no resulta extraño su aplicación en obras principalmente de oficinas y estacionamiento.

La mayoría de los estudios de ingeniería están, suficientemente, capacitados en su cálculo estructural, los proveedores de anclajes de postensado sirven de apoyo y en muchos casos son ellos quienes realizan la ingeniería de detalle.

En contraste, los supervisores de obra rara vez están adecuadamente capacitados y se apoyan demasiado en la experiencia de los contratistas. Esta realidad no es recomendable, puesto que limita su capacidad de control de toda obra.

Este trabajo busca dotar de elementos técnicos básicos, normativos y de experiencia a los supervisores de manera que, al enfrentarse a obras de este tipo sepan ¿Qué ver? ¿Qué exigir? y ¿Qué opciones tienen? para afrontar las situaciones más comunes en una obra de este tipo.

Se procurará transmitir la mayor cantidad de conocimientos y acompañar todas las recomendaciones con casos prácticos de obras realizadas.

### ABSTRACT

*Post-tensioned flat slabs have been used in our country for several years. Therefore, their employment, especially in the construction of offices and car parks, does not seem unfamiliar.*

*On the one hand, most engineering studies are adequately prepared as regards structural calculations. Prestressed anchor suppliers give their support, and in many cases, they are the ones who provide the detailed engineering. On the other hand, construction supervisors are rarely adequately trained. They rely too much on contractors' experience. This is not an advisable situation since it restricts the supervisors' ability to control the entire construction.*

*This paper aims to equip supervisors with basic technical elements, normative elements and experience so that when facing this type of construction they know what to consider, what to demand and what options are available to them in order to face the most common situations in this type of construction.*

*The greatest possible amount of knowledge will be transmitted and all recommendations will be followed by practical construction cases that have already been carried out.*



## **INTRODUCCION**

Como se dijo, si bien el postesado en losas en dos direcciones no es nuevo, es poco difundido. En este trabajo se abordarán los ítems básicos a tener en cuenta al momento de realizar la supervisión de una estructura de estas características.

Se enfocará principalmente a los requisitos dispuestos en el REGLAMENTO ARGENTINO DE STRUCTURAS DE HORMIGON (CIRSOC 201-2005). Este fue elaborado tomando como base el ACI 318.

Otra fuente muy importante será la experiencia en diversos proyectos realizados con esta tecnología.

Toda esta información dotara a los ingenieros de herramientas mínimas para la correcta supervisión de trabajos en losas postesadas en dos direcciones. Les permitirá finalmente establecer criterios para aprobar memorias de cálculos, planos de obra, y decidir cuándo una losa está correctamente ejecutada para considerar terminado el trabajo.

## **PROYECTO**

En la argentina no es habitual que se proyecten edificios con losas postesadas, lo que sucede es que las empresas representantes de los diferentes sistemas de postesado presentan alternativas en las cuales su sistema representa una economía respecto de la solución original de hormigón armado.

En este panorama son ellas las que se encargan de realizar la ingeniería de detalle de las losas que se decidan ejecutar con postesado.

En consecuencia, es posible que como supervisor deba asesorar al cliente respecto si conviene o no usar variante postesada para las losas de un proyecto en particular. Si el profesional no está familiarizado con este tipo de tecnología es posible que se termine confiando en la palabra del constructor, lo cual reduciría el valor de la figura del supervisor.

Todo proyecto de losas postesadas mantendrá parámetros similares a los de una losa de hormigón armado, esto es:

- Materiales
- Cargas
- Modelo de cálculo
- Esquema de cables
- Solicitaciones
- Deformaciones
- Verificación de Tensiones
- Verificación por punzonado
- Armadura pasiva



Si bien la mayoría de los ítems son comunes al cálculo de losas de hormigón armado todos se verán afectados debido a que se considera un estado de cargas adicional, el postesado.

Respecto a los materiales se deberá prestar atención a que este bien definido el tipo de hormigón y el tipo de cables a emplear en los cálculos.

Se esperará un resumen en el cual se encuentre la siguiente información mínima (CIRSOC 201, 2005):

- Hormigón  $f'_c \geq 30$  MPa
- Tipo de postesado: Adherente/No adherente
- Diámetro de los cordones: 0.5"/0.6"

El valor mínimo de la resistencia característica del hormigón está fijado en el código y se basa principalmente en recomendaciones de los fabricantes de los anclajes. Se espera que para resistencias iniciales al momento de tesado de 21 MPa se evita fallas por tensiones localizadas en las zonas muy próximas al anclaje.

El tipo de sistema, es importante porque definirá los parámetros de cálculo de las pérdidas de pretensado principalmente la de fricción. La experiencia permite esperar que losas con postesado no adherente tengan mayor cantidad de armadura pasiva, en comparación de una losa con sistema adherente.

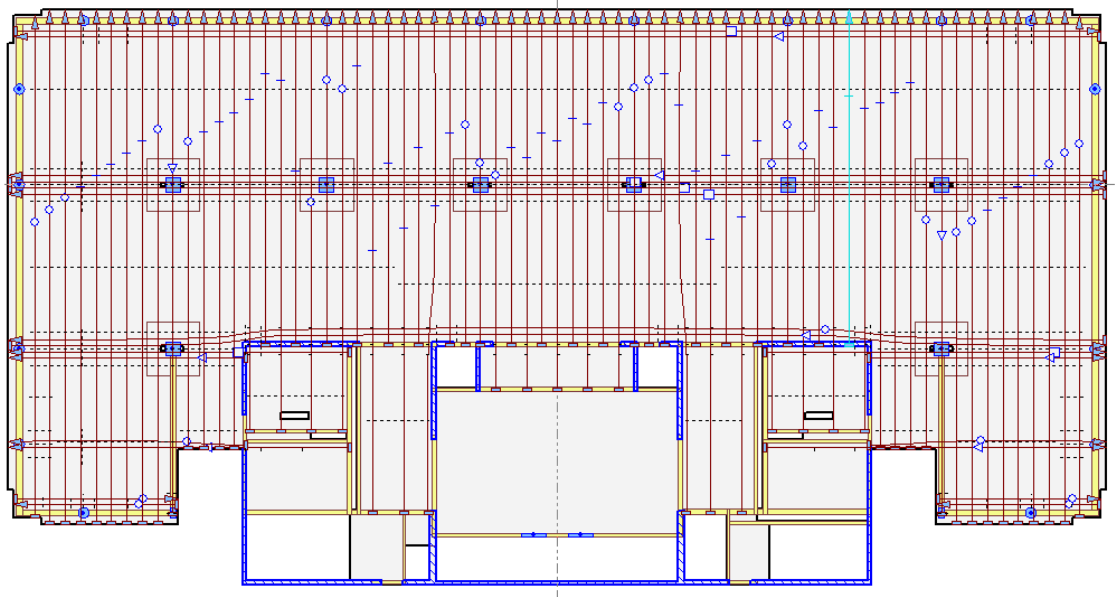
Finalmente, el diámetro del cordón definirá también el tipo de anclajes y cuña que deberán emplearse en la obra.

De las cargas y el modelo de cálculo no se dirá mucho, salvo que se notará una hipótesis de carga adicional generada automáticamente por el software que se use. Esto es lo que permite en gran medida que sea posible el cálculo de losas postesadas.

El esquema de cables, es la primera vista de cómo se pensó el cálculo de una losa. Para losas planas o losas planas con ábacos (erróneamente llamados capiteles) armadas en dos direcciones, es de esperar un esquema de tipo bandas/uniforme según la figura 1

Este tipo de esquema concentra las cantidades de los cables en una dirección y en la otra los distribuye de manera uniforme. Salvo raras excepciones este sería el esquema esperable, es habitual que en la dirección de mayor longitud se tengan los cables en bandas (concentrados), esto responde más a condiciones de ejecución ya que se puede verificar que a efectos de cálculo no existen diferencias importantes respecto de cual sea la dirección que se adopte para el proyecto.

Las solicitaciones que se esperan ver en todo proyecto son las habituales, principalmente diagramas de momentos y corte en x y en y. Si bien sirven como referencia de las secciones de análisis no son considerados en otras verificaciones.



*Figura 1 Esquema de cables*

Esta además decir que aquí se verán las solicitaciones para las diferentes hipótesis de carga y las combinaciones de carga. Esto quiere decir:

#### Verificación de Tensiones

T=0          Peso propio + Postesado

T=OO        Carga total + 0.9 Postesado

#### Verificación de deformaciones

Def t=oo    3DL+1LL+2.7PT

Def ENOE   2DL+1LL+1.8PT

(CIRSOC 201, 2005)

Como se sabe el efecto del postesado permite reducir el espesor de las losas comparadas con el hormigón armado. Esto sucede por dos razones, principalmente, primero porque el postesado es una condición de carga contraria a las cargas gravitatorias y segundo porque se considera que la sección transversal analizada no está fisurada.

Para considerar la sección no fisurada se deben verificar dos límites por un lado la compresión en toda la losa no debe ser menor a 0.9 MPa y las tensiones de servicio considerando el efecto del postesado no debe ser mayor a  $0.5 \cdot \sqrt{f_c}$  (CIRSOC 201, 2005)



Esta optimización del espesor de la losa requiere que se controle correctamente las deformaciones, ya que podemos variar la cantidad de los cables dentro de los márgenes hablados. Es muy frecuente que se corrija la cantidad de postesado por exigencias de deformación, aunque no sea necesario por tensiones.

Es normal encontrarse con curvaturas poco comunes y cantidades elevadas respecto de tramos adyacentes, sobre todo en voladizos en los cuales es de esperar deformaciones máximas.

Se deberá prestar especial atención al tipo de cerramiento que este proyectado y controlar que las deformaciones reportadas en la memoria de cálculo estén en el orden de aceptación. Aunque esto es igualmente necesario para una solución de hormigón armado.

La verificación de tenciones es el ítem de la memoria de cálculo al cual hay que prestarle mayor atención. Es aquí donde se define la cantidad de los cables necesarios para toda losa postesada.

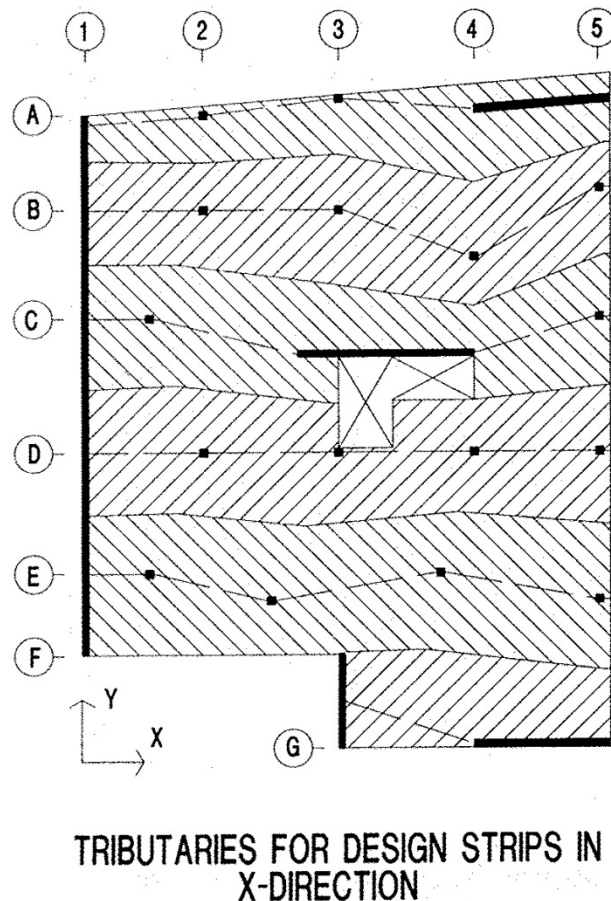


Figura 2 (AALAMI, *Diseño de Entrepisos de Hormigón Postensado*, 2001)

Una de las primeras cosas que se deberán ver son las secciones (anchos de tributaria) que dividen la totalidad de la superficie de la losa. Estas secciones por lo general



coinciden con las líneas de columnas y están agrupadas en dos familias, las secciones en X (Figura 2) y las secciones en Y (Figura 3).

El supervisor prestara atención al análisis realizado para cada una de estas secciones, identificando los valores máximos de tensiones ya sean en las fibras superiores e inferiores, sean de tracción y compresión y para los estados de carga de servicio o inicial.

Todo este análisis será presentado en una planilla en donde se encontrará, al menos, la siguiente información.

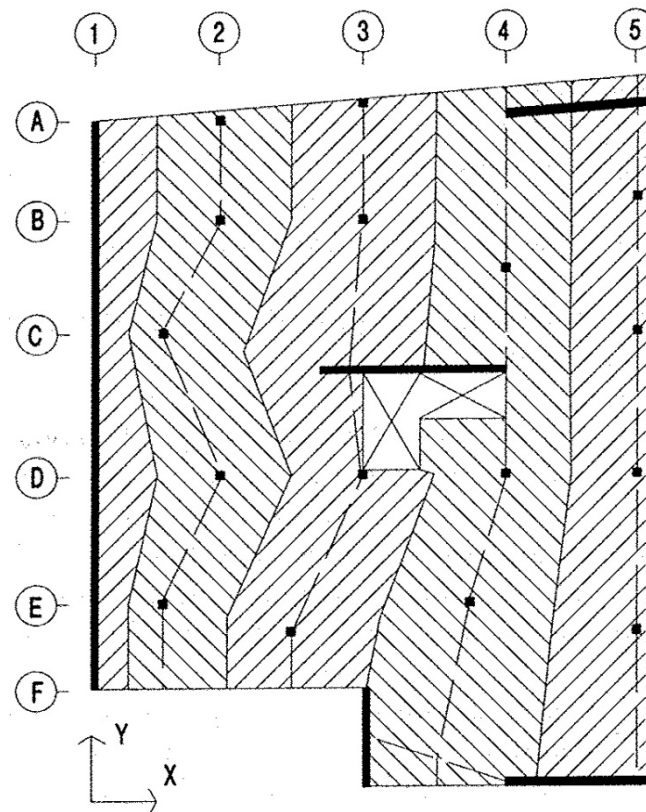
Sección transversal

Cantidad de cables y/o Fuerza de PT

Pre compresión

Esfuerzo de compresión/Tracción fibra superior

Esfuerzo de compresión/Tracción fibra inferior



TRIBUTARIES FOR DESIGN STRIPS  
IN Y-DIRECTION

Figura 3 (AALAMI, *Diseño de Entrepisos de Hormigón Postensado*, 2001)

En base a esta información el supervisor podrá verificar si se cumple:



- Pre compresión mínima: siempre deberá estar entre el valor mínimo de 0.9. Un valor menor al mínimo implicaría que la sección no podrá considerarse no fisurada y los efectos de contracción y temperatura no serán controlados del todo por el postesado.
- Pre compresión máxima: Un valor mayor a 3.5MPa implica que será necesario verificar las posibles solicitaciones laterales en columnas, a causa del postesado.

(AALAMI, Desing Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors, 2009)

Se deberá controlar que las tensiones de servicio no sean mayores que las indicadas en la norma. El reglamento argentino CIRSOC 201-2005 al igual que el ACI318 establece que la tensión de tracción, producida por la cargas de servicio más el postesado, no debe ser mayor a  $0.5 \cdot \sqrt{f_c}$ .

Por otro lado, si el proyecto contempla la utilización del sistema sin adherencia, cuando las tensiones por tracción en las zonas de momento positivo sean mayores a  $1/6 \cdot \sqrt{f_c}$  se deberá disponer una armadura mínima. Esto explica principalmente que la mayor armadura pasiva en losa con este sistema.

El estado inicial, deberá ser analizado de la misma manera que el estado de servicio, sin embargo, no es habitual que se encuentren objeciones. Habrá que prestar especial atención con los Voladizos, cambios de espesor y cargas localizadas, estos casos pueden requerir armadura mínima por solicitaciones iniciales.

Muchos proyectos en los cuales se tienen grandes exigencias por deformaciones o cargas inusuales pueden llegar a generar solicitaciones de compresión inicial mayores al límite. Si bien es una situación delicada muchas veces se soluciona planificando un tesado por etapas, si el supervisor detectara esto solicitará al proyectista una planificación acorde.

Punzonado, aunque es una verificación que debe realizarse sin importar si la losa es de hormigón armado o postesado, es necesario tener en cuenta posibles errores u omisiones.

La experiencia nos enseña que las columnas más exigidas son las que tienen menor perímetro crítico, es así que, las columnas de borde o esquina serán las primeras en revisar.

Las columnas interiores, en teoría tendrán más perímetro crítico sin embargo un problema recurrente son los pases para instalaciones que se ubican próximos a las columnas. Muchas veces estas situaciones generan solicitaciones al límite de lo admisibles e implican una coordinación especial con el proyectista y cliente.

El supervisor tendrá la tarea de procurar la ubicación, dimensión y cantidad de los pases necesarios lo antes posible y enviárselos al calculista para evitar desintelencias en obra.

Un error habitual consiste en considerar solo la reacción vertical para la verificación del punzonado. Es correcto si la losa es modelada sin considerar la rigidez de las columnas, pero la mayoría de los cálculos considera esa rigidez ya sea total o una



parte, el beneficio de esto es que se reducen los momentos en el tramo a costa de incrementarlos sobre las columnas.

La armadura pasiva de una losa postesada, está conformada por dos tipos, las armaduras pasivas que resultan de la verificación a la rotura y la armadura mínima.

Lo primero que llama la atención en los reportes de armadura pasiva del software es la casi inexistencia de armadura necesaria, es decir se ve muy poca armadura necesaria y en muchas zonas de la losa son cero. Esto no es un error, las losas postesadas tienen muy poca armadura, sin embargo, existen una serie de exigencias del reglamento que las complementan.

Un supervisor deberá ser muy cuidadoso en el análisis de la armadura pasiva, deberá constatar que en el plano correspondiente se detalle, además del estado último, los siguientes puntos:

Si en la verificación inicial de tensiones las solicitaciones de tracción superan el límite se deberá disponer una armadura capaz de absorber esa tracción considerando la sección sin fisurar

En el estado de servicio en las zonas de momento positivo donde las tensiones fueron mayores a  $1/6 \cdot \sqrt{f'c}$  se deberá disponer la siguiente armadura:

$$A_s = N_c / (0.5 \cdot f_y)$$

Dónde:

$N_c$ : es la resultante de los esfuerzos de tracción para cargas de servicio. (CIRSOC 201, 2005)

La armadura superior por momentos negativos será como mínimo  $0.00075 \cdot A_{cf}$ , donde  $A_{cf}$  es la mayor sección de las tributarias que se intercepten en la columna. Pero nunca se podrá disponer menos de 4 barras de 16mm de diámetro sobre cada columna.

Esta armadura se distribuirá en un ancho de 1.5 veces el espesor de la losa y su separación no será mayor a 300 mm. (CIRSOC 201, 2005)

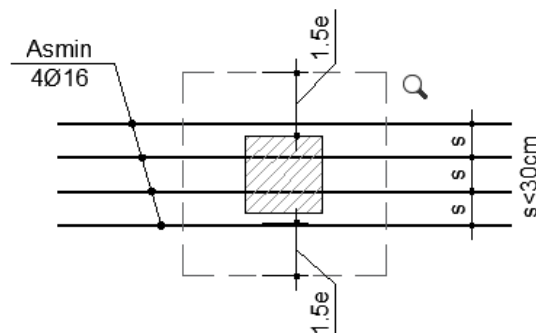


Figura 4

Armadura de introducción de pretensado, a diferencia de las vigas de puente el reglamento propone un armado, el cual funciona correctamente y puede ser utilizado

en los proyectos, se deberá prestar atención en los detalles tanto para cables uniformes como para las bandas. (CIRSOC 201, 2005)

En teoría, debida a la compresión mínima, no sería necesario disponer armadura por contracción y temperatura. Esto es así, sin embargo, en los extremos de los cables concentrados (bandas) es necesario disponer una armadura por contracción y temperatura, esto se debe a que la compresión no es uniforme en los extremos y recién se alcanza a una cierta distancia.

Es habitual ver armadura dispuesta entre bandas, en su dirección, según la figura 5, muchas veces esta armadura es mínima. Obviar esta armadura es poco recomendable puesto que se producirán fisuras, aunque no sean de tipo estructural su presencia es alarmante ante los ojos de los clientes.

Se dieron casos en los cuales, por diversas razones, se retrasa excesivamente el tesado y, por ende, aunque la losa se mantenga apuntalada, el fenómeno de retracción se manifiesta y al no poseer armadura la losa se fisura. En estos casos las fisuras se reducen o eliminan al momento de hacer el tesado.

Armadura de punzonado, si existiese.

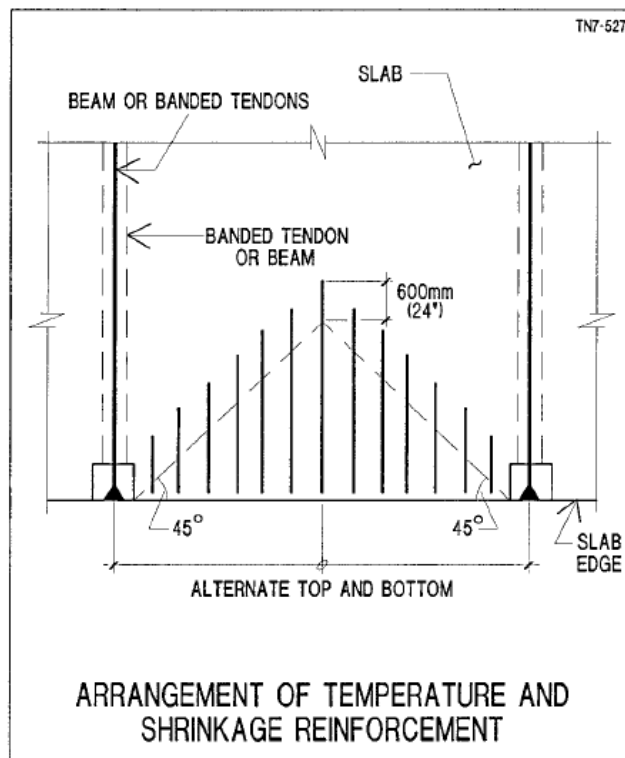


Figura 5

## DOCUMENTACION DE OBRA

La documentación mínima, con la cual se podrá llevar a cabo la correcta ejecución de



una obra consiste en:

- Plano de cables: es una representación gráfica en planta realizada sobre el plano de encofrado donde se dibujarán todos los cables de la losa los mismos deberán contar con un número de identificación, cantidad y tipo de anclaje inicial y final pasivo o activo. Todas las cotas y distancias necesarias para replantear correctamente en obra. El supervisor deberá constatar que sea coherente con el esquema de cables del modelo de cálculo de la memoria.
- Plano de Soportes: una vez replanteados los cables, será necesarios asignarles las curvaturas definidas en el modelo de cálculo. Estas alturas son materializadas en soportes cuya separación máxima recomendada sería de un metro.
- Plano de Armadura pasiva: ya se habló al respecto en páginas anteriores.
- Planillas de corte y tesado: el supervisor deberá exigir la entrega de este documento, su importancia radica en que brinda información acerca de la cantidad de cable y anclajes a utilizar por cada losa a postesar. Es la única herramienta que permite al supervisor constatar que se esté aplicando la fuerza de preesfuerzo proyectada en la memoria de cálculo.  
Deberá contar además con la información necesaria para realizar el correcto registro de las elongaciones de los cables tesados.

## **FINALIZACION**

Se entiende que la finalización de una losa de pretensado coincide con el tesado de los cables. Para poder dar inicio a las tareas de tesado el supervisor deberá exigir dos requisitos indispensables.

No se dará autorización de tesado de ningún cable mientras el hormigón no alcance el 70% de  $f'c$ , este requisito es muy importante tanto por el análisis inicial como por exigencia de los fabricantes de anclajes. Obviar esto podría generar serios retrasos en la obra. Las elevadas tensiones localizadas en zonas próximas a los anclajes podrían ocasionar fallas abruptas en esas zonas.

Si la resistencia real es menor que la resistencia inicial del hormigón considerada en el cálculo puede ocasionar que la armadura inicial (si hubiese) resulte insuficiente ocasionando posibles fisuras.

Suponiendo que el hormigón alcanza la resistencia necesaria para realizar el tesado, el supervisor exigirá al contratista el listado de equipos con su correspondiente calibración, la misma no podrá ser menor a los dos años.

Una de las formas más comunes de medir la fuerza de pretensado consiste en la lectura de presión en un manómetro. Si éste fuera el caso el supervisor exigirá al contratista un cálculo que demuestra en función al diámetro del pistón y al diámetro de cable la presión necesaria para realizar el tesado.

El supervisor acompañará el tesado de cada uno de los cables, registrando en la planilla de corte y tesado cada una de las elongaciones. Deberá corroborar que la diferencia entre la elongación teoría y registrada no sea mayor al 7%.



En la gran mayoría de los trabajos nunca se tuvieron problemas en cumplir las exigencias del 7%, en los casos en los que se notaron diferencias fueron por cables muy cortos en los cuales las elongaciones eran muy pequeñas lo que dificulta la lectura o en algunos casos porque la planilla no fue actualizada de acuerdo a modificaciones en los cables.

Si el supervisor detectara diferencias mayores al límite y no se encuentren en los casos comunes deberá investigar la cantidad de cables observados, la magnitud de las diferencias y en base a esto exigir al contratista un análisis minucioso que explique la diferencia y su implicancia en la seguridad de la estructura.

Si al hacer el control de las elongaciones se concluye que los cables no tienen observaciones se puede autorizar al contratista a cortar el excedente de cables y rellenar.

## CUADRO RESUMEN

En la figura 6, se puede ver un diagrama en el cual se resume las diferentes etapas por que pasarán antes de la conclusión de los trabajos del postesado de una losa.

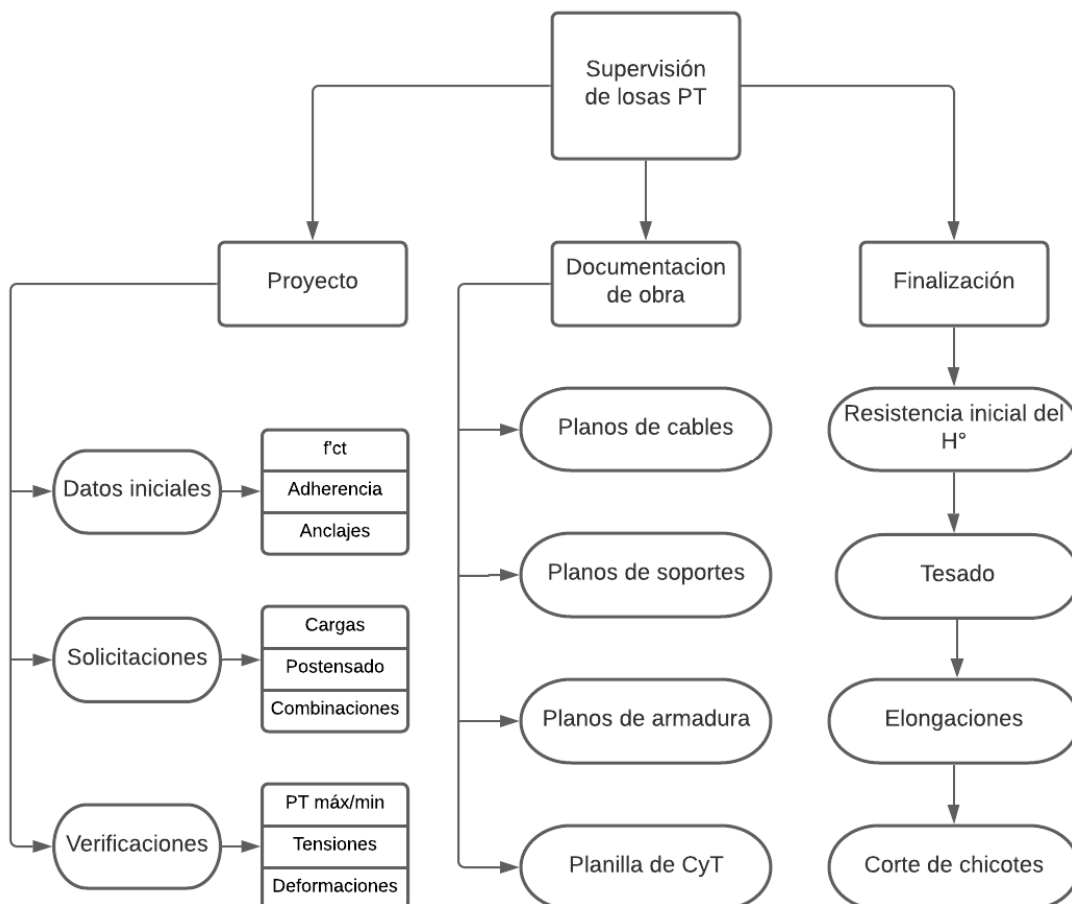


Figura 6



Bibliografía:

AALAMI, B. O. (2001). Diseño de Entrepisos de Hormigón Postensado. *AIE*, 10-26.

AALAMI, B. O. (2009). *Desing Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors*. ADAPT.

ACI318. (2005). *BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE*. American Concrete Institute.

CIRSOC 201. (2005). *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. Buenos Aires-Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Jaramillo, E. (2019). CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LA SUPERVICION DE LOSAS POSTENSADAS. *III Congreso Boliviano de Ingeniería Estructural*. Tarija, Bolivia.