



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA DEFENSA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
DE LA FUERZA ARMADA NACIONAL BOLIVARIANA
"COMANDANTE SUPREMO DE LA REVOLUCIÓN BOLIVARIANA
HUGO RAFAEL CHÁVEZ FRÍAS"
DECANATO NÚCLEO COJEDES



DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DEL ACERO ACTIVO UTILIZANDO
TENDONES SECUNDARIOS PARA OPTIMIZAR LOS ESFUERZOS
DE LA VIGA PRETENSADA.

TUTOR:
ING. MASSIEL SILVA

AUTOR:
JESÚS A. FRANCO H.
C.I. V-20950895

TINAQUILLO, DICIEMBRE DE 2017



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA DEFENSA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
DE LA FUERZA ARMADA NACIONAL BOLIVARIANA
"COMANDANTE SUPREMO DE LA REVOLUCIÓN BOLIVARIANA
HUGO RAFAEL CHÁVEZ FRÍAS"
DECANATO NÚCLEO COJEDES



Tinaquillo, 12 de diciembre de 2017

APROBACIÓN DEL TRABAJO INGENIERÍA POR EL TUTOR

Yo, Massiel M. Silva A., titular de la Cedula de Identidad N° V-10.324567 en mi condición de Tutora, donde se enmarca el Trabajo de Ingeniería titulado: DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO ACTIVO UTILIZANDO TENDONES SECUNDARIOS PARA OPTIMIZAR LOS ESFUERZOS DE LA VIGA PRETENSADA, presentado por el ciudadano, Jesús Alberto Franco Henríquez, titular de la Cedula de Identidad N° V-20950895, ha sido leído y se considera que ha cumplido con los requisitos exigidos por esta Universidad y reúne los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Lugar y Fecha,

Tutor
Massiel M. Silva A
C. I.:10.324.567

Agradecimientos

Al creador por darme vida, salud y fortaleza.

A mi familia quienes han contribuido para continuar superándome especialmente a mi mama que siempre creyó en mí y me brindó su apoyo, a ella le debo mi disciplina, moral y perseverancia que me permitieron llegar a donde estoy.

Al profesor Carlos Sánchez, quien con su orientaciones logro forjar en muchos estudiantes siendo yo uno de estos a ser siempre mejores y no conformarnos con lo aprendido hasta ese momento, quien me ayudó a recobrar la fe en momentos difíciles, apoyándome con sus consejos en lo personal y logre un concepto equilibrado de mí mismo, muchas gracias por trascender a sus funciones y contribuir a mi crecimiento personal y profesional.

A la profesora Noelia Rodríguez por estar presente cuando más necesite consejo y que con sus palabras orientadoras logro encaminar mis metas, cuando había perdido el norte profesional, mil gracias por reactivar mi motivación al logro.

Índice

Introducción.....	vi
CAPITULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
Objetivos de la investigación	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
Justificación.....	7
Alcances y limitaciones	9
CAPITULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
Antecedentes de la investigación	10
Bases teóricas.....	14
Bases legales	27
Definición de términos básicos	23
CAPÍTULO III.....	34
MARCO METODOLÓGICO	34
Técnicas de recolección de datos	35
Procedimientos	37
CAPITULO IV	39
ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
De igual manera se realizó el cálculo del acero pasivo en la viga pretensada propuesta de la siguiente manera:.....	54

Tabla 1. Cuadro comparativo de los tipos de vigas pre comprimidas existentes y la viga pretensada propuesta	77
Conclusión.....	79
Tabla 2. Tabla de notaciones.....	86
Tabla 1. Tabla de notaciones (Continuación)	87
Lista de unidades	88
Anexos	89



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA DEFENSA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
DE LA FUERZA ARMADA NACIONAL
ÁREA ACADÉMICA
INGENIERÍA CIVIL
NÚCLEO COJEDES**



**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DEL ACERO ACTIVO UTILIZANDO
TENDONES SECUNDARIOS PARA OPTIMIZAR LOS ESFUERZOS
DE LA VIGA PRETENSADA.**

Autor: Jesús Franco.

Tutor Académico: Ing. Massiel Silva.

Diciembre, 2017

RESUMEN

La presente investigación tuvo como diseñar de una estructura del acero activo utilizando tendones secundarios para optimizar los esfuerzos de la viga pretensada, para ello fue necesario evaluar diferentes estructuras internas del acero activo en un nuevo modelo pretensado que se ajuste a la necesidad de aprovechar todas las ventajas de los elementos precomprimidos actuales y establecer ecuaciones para determinar valores aproximados de fuerza de tensión necesaria, ángulo de inclinación de los tendones secundarios y el número de tendones secundarios en el diseño pretensado Franco. La metodología que se utilizó fue de enfoque cuantitativo, enmarcada en la línea de investigación Venezuela país potencia en lo social, lo económico y lo político; de diseño no experimental tipo campo, nivel proyectivo y modalidad proyecto especial. Se logró modelar mediante métodos estructurales y usando un software de cálculo, estimar el comportamiento esperado que tendría la viga, observando cómo se distribuye la energía desde los tendones secundarios que ayudan a cargar el tendón principal con paquetes de energía potencial elástica para así valiéndonos a su vez de la geometría disminuir la potencia que requeriría la prensa para causar la tensión “T” requerida por el sistema para contrarrestar los esfuerzos en la fibra inferior de concreto utilizando otra forma diferente a las actualmente usada. Se recomienda construir un prototipo del diseño propuesto en el presente trabajo, inclinado al estudio más detallado de los diversos comportamientos que tendría la viga pretensada en físico.

Palabras claves: Pretensado, Acero Activo, Viga.

Introducción

A lo largo de la historia se ha diseñado diversos tipos de concreto precomprimido para cubrir grandes distancias entre apoyos de manera efectiva y económica, entre los cuales están (postensado, pretensado y pretensado con anclajes). Lograr desarrollar una viga pretensada de forma más económica y que cumpla las funciones de un elemento precomprimido actual de manera más eficiente es muy atractivo, un elemento estructural pretensado que sea más económico pero cuya construcción represente un costo inferior a otros elementos precomprimidos ampliaría las opciones para los ingenieros civiles en la construcción de estructuras con distancias entre apoyos considerablemente grandes.

El desarrollo de nuevas técnicas y diseños para construir elementos estructurales pretensados que puedan cumplir con la demanda actual de cubrir distancias considerablemente grandes puede disminuir la construcción de columnas necesarias para disminuir la distancia entre apoyos, este hecho está limitado por las diferentes resistencias de las vigas de precomprimido, genera un nuevo elemento estructural pretensado más eficiente tendría un gran impacto en la industria de la construcción cuando se presenta la necesidad de un elevador, esto se debe a que podría plantearse otros diseños que satisfagan la necesidad de transporte terrestre para los casos ya mencionados pues los espacios no estarían ocupados por columnas, las áreas que hubieran ocupado las columnas estarían disponibles para construir una obra vial más amplia.

Es necesario actualizar una nueva forma más eficiente de causar los efectos de tracción en los tendones que transferirán las cargas al concreto precomprimido de manera más eficiente, dividiendo la fuerza de tensado en cargas más pequeñas produciría una disminución en la fuerza que requiere la prensa para generar la energía en un elemento estructural pretensado para soportar las cargas a las que estará sometida puesta en servicio, de

esta manera habría un impacto económico dado que el concreto precomprimido requiere de una inversión inicial en las prensas necesarias para generar la fuerza potencial elástica en el tendón que esta embutido en el concreto.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial la tecnología ha sido de gran importancia para el desarrollo de la vida humana, en el campo de la Ingeniería Civil se han generado muchos cambios para lograr objetivos de la manera más eficiente posible, el concreto precomprimido es un buen ejemplo de este hecho, para cubrir luces cada vez más largas; En este sentido, Roger Lacroix y Albert Fuentes en el prólogo del libro hormigón pretensado (1978), señalan como el uso de los elementos precomprimidos actuales pueden evitar problemas como la fisuración en la viga y cubrir distancias que el concreto armado normal no podría cubrir de manera económica (p.).

En la actualidad el uso de los elementos estructurales precomprimidos en la industria de la construcción es muy común, pues los elementos estructurales con acero activo representan una solución eficaz en la construcción de puentes con luces considerablemente grandes gracias a los tendones que contrarrestan los esfuerzos de tracción en la viga, aunque se desprecian las fortalezas que tiene el pretensado con respecto al postensado y viceversa, las ventajas y desventajas más significativas que tiene un tipo de elemento precomprimido con respecto a otro podemos mencionar la adherencia y la forma que tiene el acero tensado dentro de la viga.

Entre las ventajas y desventajas que tienen cada tipo de elemento estructural precomprimido se mencionan que el pretensado, debido a que su construcción se basa en la utilización de un tendón previamente tensado para almacenar energía potencial elástica antes del fraguado del concreto asegura una buena adherencia entre el concreto y el acero activo; adicionalmente, debido a que el tendón es tensado antes del vaciado del concreto este adquiere una forma recta que aunque ayude a comprimir al elemento pretensado gracias a la energía potencial elástica que acumula el

tendón, la excentricidad y la adherencia, no adquiere la forma más recomendable para cumplir con su propósito, la elaboración de miembros estructurales pretensados suele ser en laboratorios especiales donde se controla la temperatura, el impacto climático y otros factores externos que intervengan en la resistencia del concreto.

El postensado a diferencia del pretensado el acero activo adopta una forma de catenaria que ayuda a que la distribución de las fuerzas dentro de la viga precomprimida sean más eficientes, debido a que varía la excentricidad a medida que se acerca o aleja de los momentos máximos del elemento estructural, el postensado puede ser tensado en el sitio dependiendo de la obra; sin embargo, para darle esta forma es necesario sacrificar la adherencia que adquiere el concreto con el tendón, una forma de solucionar la falta de adherencia es el uso de lechada que ayuda a crear un empotramiento entre el concreto y el torón de preesfuerzo, además de utilizar fuertes anclajes en los extremos del elemento estructural para mantener en su lugar al mismo.

A pesar de tener tales debilidades como la falta de adherencia entre el tendón y el concreto o una forma menos óptima del tendón antes mencionada, no se ha encontrado formas de mejorar el rendimiento fusionando ambos elementos precomprimidos.

En Venezuela se utilizan ambos elementos estructurales en la industria de la construcción, el mantenimiento es un factor muy importante puesto que se conoce que el acero activo (torones) dentro de los elementos estructurales pretensados, después de un tiempo prolongado bajan la energía potencial elástica contenida en estos y aunque también es tomado en cuenta a la hora de su construcción no son eternos y deben estar en mantenimiento para el óptimo funcionamiento, o dependiendo del nivel de desgaste del acero activo en un elemento precomprimido puede llegar a ser completamente remplazado, es necesario otro tipo de elemento estructural que capture mejor la energía del pretensado y cuyo mantenimiento sea más esporádico si

existe la falta de atención en el mantenimiento de estos elementos del campo de la construcción civil.

Los equipos necesarios para generar la energía potencial elástica para el óptimo comportamiento del concreto precomprimido varían el costo dependiendo del esfuerzo que requiera el acero activo dentro del concreto, como el costo y el esfuerzo generado por el equipo de tensado son directamente proporcionales como expresa Paul Maschinenfabrik GmbH & Co.KG en los catálogos de sus productos de la maquinaria para generar los esfuerzos en elementos pretensados la inversión inicial para cubrir largas distancias es elevada, los elementos estructurales postensados representan una inversión inicial diferente a los pretensados, el primer paso para construir un elemento postensado es construir la viga sin el acero activo, posterior a la construcción de la viga sin el tendón se introduce el tendón por una vaina que esta empotrada dentro del concreto para posteriormente tensarlo, debido a que el uso de la maquinaria para el tensado del postensado no dependen del fraguado del concreto se pueden construir más rápido varios elementos postensados que elementos pretensados.

Otro tipo de elemento estructural es el mixto que trata de solucionar las diferencias entre el pretensado y el postensado utilizando anclajes en el tendón para poder simular la forma característica de la catenaria que forma el postensado y con la adherencia que tiene el pretensado, la forma del acero activo del precomprimido mixto simula una curva formada por rectas, los anclajes solo funcionan para darle una forma de cuña y no son medios de transmisión de fuerza.

Cada día se requieren de luces cada vez más largas en la industria de la construcción y se requieren de nueva tecnologías para cumplir con la creciente demanda sin olvidarse del costo, ya que una luz mientras más larga requiere una energía potencial elástica proporcionada por el torón cada vez mayor, puesto que el peso de servicio y peso propio de la construcción aumentará.

Tanto como el concreto pretensado, el concreto postensado, e incluso el concreto mixto requieren mejoras durante el proceso de la construcción, estas mejoras se deben a que cada uno de los elementos precomprimidos presenta mucha diferencia entre ventajas y desventajas de uno con respecto a otro.

Ante toda esta problemática planteada se debe formular la siguiente pregunta, ¿cuál será el diseño de un modelo pretensado que mejore el comportamiento de los elementos estructurales pre-comprimido, que sea de bajo costo para que permita a las empresas tener acceso a producir elementos de este tipo sin recurrir a equipos de mayor fuerza de tensado?

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Diseñar de una estructura del acero activo utilizando tendones secundarios para optimizar los esfuerzos de la viga pretensada

Objetivos específicos

- 1- Evaluar diferentes estructuras internas del acero activo en un nuevo modelo pretensado que se ajuste a la necesidad de aprovechar todas las ventajas de los elementos precomprimidos actuales
- 2- Establecer ecuaciones para determinar valores aproximados de fuerza de tensión necesaria, ángulo de inclinación de los tendones secundarios y el número de tendones secundarios en el diseño pretensado Franco.

- 3- Comparar los comportamientos a flexión de los concretos pre-comprimidos actuales con el modelo pretensado propuesto en el proyecto mediante simulaciones usando la herramienta software sap2000 v.14.
- 4- Adecuar una distribución del acero pasivo utilizando los diagramas de interacción que plantea la norma ACI 318

Justificación

Es importante mencionar la prioridad de innovar diversos tipos de tecnologías que se adecuen a la necesidad creciente de la población en cuanto a las diversas necesidades, una de ellas el ámbito civil ha tenido diversas actualizaciones dado el caso de los elementos pre-esforzados en este siglo desde la investigación realizada por el francés Eugene Freyssinet entre los años de 1908 – 1910, surgió la idea presente la necesidad y desde este punto se ha actualizado mejorando su estructura interna de diversas maneras y funcione de manera más eficiente sin causar un problema muy grande a nivel de inversión inicial.

Una manera eficiente de generar menor cantidad de inversión inicial es disminuyendo el costo de las maquinas necesarias para generar la fuerza del tensado en los tendones que están embutidos dentro del concreto, si se aprovechara el hecho de que el tipo de energía utilizada para un elemento precomprimido es potencial acumulativa se podrá disminuir la fuerza de la máquina de tensado dividiéndose en paquetes más pequeños utilizando tendones secundarios.

El presente proyecto se enfoca en disminuir este costo dividiendo la fuerza de tensado necesaria para el esfuerzo entre una cantidad de tendones que no son longitudinales a la viga llamados en el presente trabajo tendones secundarios y que ellos se encarguen de transmitir la energía a través del tendón longitudinal o también llamado en este trabajo como tendón principal,

además de esto se vale de una característica geométrica que también disminuye en buena proporción la fuerza de las maquinas que generan el tensado.

Además de estos beneficios, también se puede mencionar otra características importante como la forma geométrica del tendón principal, que se asemeja a la catenaria que forma el postensado pero sin las pérdidas producidas por este debido a que tiene una adherencia directa entre el tendón principal y el concreto no es necesaria la lechada.

En cuestión de adherencia el pretensado Franco que se desea encontrar tiene la característica de tener una forma más adecuada que el pretensado normal, junto con la utilización de los tendones secundarios se añade otra nueva característica en este nuevo elemento estructural pretensado que no está presente en ningún modelo precomprimido de la actualidad y es que teniendo un ángulo de inclinación inferior a los 45 grados sexagesimales el comportamiento es más eficiente pues la compresión a medida que se acerca a donde se encuentra el momento máximo.

La forma del acero activo no solo aumentara la excentricidad para aumentar progresivamente el valor del momento que se le opone a la flexión del elemento estructural producto de las cargas, sino que además dependiendo de la posición de los tendones secundarios la fuerza del tensado aumenta progresivamente al acercarse al punto donde se encontraría el momento máximo.

Tomando en consideración cada parámetro como la catenaria formada por rectas, la forma en que se transfiere la energía potencial elástica y los tendones secundarios de la viga pretensada Franco se podrá estimar la proporción en que disminuirá la fuerza de la prensa para generar el esfuerzo en el acero activo, pudiendo conseguir la cantidad de energía en que se disminuyó y como varia el costo en función del esfuerzo que pueda generar una máquina de tensado, además, disminuyendo el costo se podrá facilitar a empresas que generen elementos precomprimidos.

Alcances y limitaciones

En cuanto a los alcances esperados en el presente trabajo está, el establecimiento de ecuaciones para determinar valores aproximados de fuerza de tensión necesaria, ángulo de inclinación de los tendones secundarios y el número de tendones secundarios en el diseño pretensado Franco propuestos por el autor, quien comparará los resultados a través del uso de simulación con el software sap2000 v.14; de igual manera utilizará modelos matemáticos existentes relacionados con el diseño pretensado.

En cuanto a las limitaciones, hubo dificultad en cuanto al computador utilizado debido a que las características tecnológicas del equipo, no permitían el buen funcionamiento del software simulador, así como los otros programas de diseño empleados para desarrollar la presente investigación

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación

Cuando Eugene Freyssinet comenzó su investigación ardua entre los años de 1908-1910 estudiando las deformaciones de los elementos estructurales debido a la flexión formo las bases para que en el año de 1928 tuviera una base teórica sólida para implementar la utilización de este tipo de elemento estructural, pese a que tenía razón y estaba bien estructurada la idea de la implementación de tensados como toda idea nueva en un campo que lleva mucho tiempo de estudio.

Se hace notar que hubo mucha resistencia para la elaboración de este tipo de elemento estructural por parte de otros ingenieros, no estaba nada más lejos de la realidad pues para este presente año 2017 se utilizan este tipo de elementos de construcción y en ese año se construyó el puente de luzancy abriendo un nuevo mundo de posibilidades para los ingenieros, en España Eduardo Torroja en el año de 1927 de forma intuitiva trata de evitar las fisuras en el concreto debido a la tracción producida por las cargas de peso propio y servicio para que su funcionamiento fuera más eficiente en el acueducto de tempul.

Pese a estas construcciones dando pruebas prácticas de la teoría para la funcionalidad éxito para ese tiempo cierta incredibilidad puesto que era algo nuevo es lógico pensar de esta manera, hoy en día no existe esta duda y es una forma muy efectiva para cubrir grandes luces, la buena intuición de Eduardo Torroja dio pie a la implementación de estos métodos de construcción pese a que Eugene Freyssinet fue quien la desarrolló y dio con

la teoría de manera eficaz y correcta quien la empleo por primera vez fue Eduardo Torroja.

En 1939 en España escasea en la cantidad de materiales necesarios para la construcción, dado esto Torroja se vio en la necesidad de generar un cambio ajustándose a la necesidad, otra prueba de que la necesidad es la clave de la invención utilizo cables trenzados hechos con acero pues era el material que estaba disponible en ese momento.

Desde ese entonces hasta 1943 en el que construyó unas vigas que sostenían un puente con elementos pretensos prefabricados en un taller, dio mucha credibilidad a el uso de este material desde ahí hasta hoy en día ha tenido una carrera ascendente variando desde los años 60 y posteriormente las épocas venideras se le dio mucha credibilidad a este material aunque solo se utilizaba en casos muy puntuales así fue durante las 3 próximas décadas, es fácil de entender la preocupación de los ingenieros civiles usar un tipo de elemento estructural nuevo pues la base de todo es el sustento de que se ha ensayado y puesto algo muchas veces a prueba conociendo así gran parte de su comportamiento.

Además, para esa época en varios países del mundo se estaban haciendo diversos cambios en cuestión de definiciones y comportamiento, para ese tiempo estaba en apogeo la utilización de este concreto no fue el mejor momento, debido a que el concreto armado utilizado en las diversas construcciones civiles estaba siendo sometido a cambios.

Dentro de estos cambios geométricos, el más importantes fue la incorporación de una excentricidad ya que el objetivo era someter todo el elemento a compresión ubicar el tendón justo en $h/2$ parecía a primera vista una buena idea como la figura 1 lo indica.

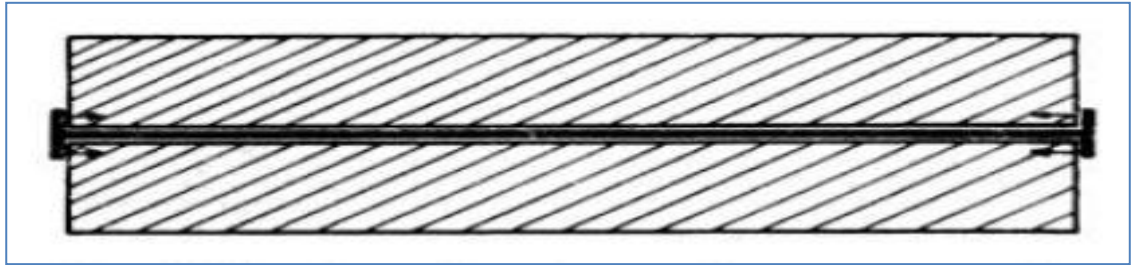


Figura 1. Tirante pretensado

Fuente:

Sin embargo el comportamiento en ese momento no era necesariamente para los casos normales de carga en una viga por la gravedad se concentraron en hacer la tracción en la fibra inferior con los diagramas de sección transversal para el esfuerzo a tracción fueran igual a cero para evitar las fisuras visto en la figura siguiente 2.

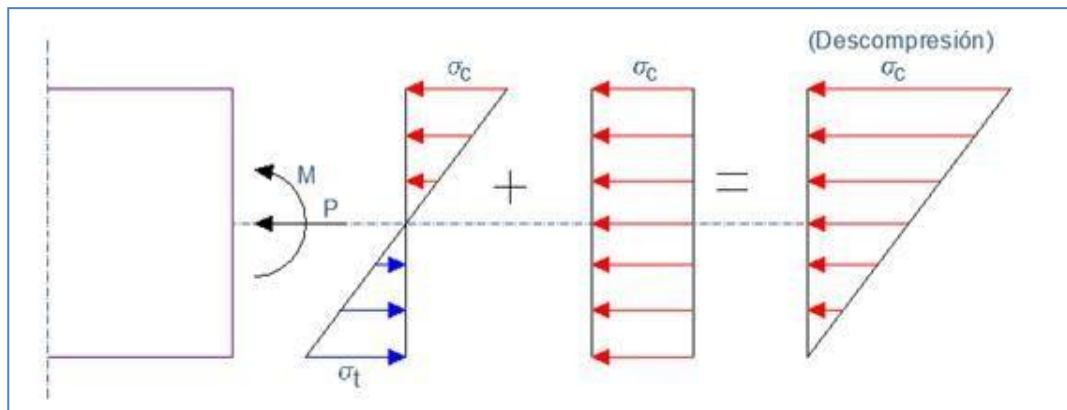


Figura 2. La descompresión del hormigón pretensado, 2017

Fuente: <https://www.e-zigurat.com/noticias/la-descompresion-en-hormigon-pretensado/>

Pero podía optimizarse colocando el tendón en el eje neutro de la figura pues aunque se eliminaba la tracción colocándolo en $h/2$ generaban mucha

compresión en la fibra superior como se puede distinguir en los diagramas pertenecientes a la figura 2.

Al implementar la excentricidad varió el comportamiento a favor del comportamiento de la viga pues ahora pese a que se generaba parte de tracción en la fibra superior era contrarrestado una vez puesto en servicio y la compresión en la parte superior era mas baja como se muestra acontinuacion en la figura 3.

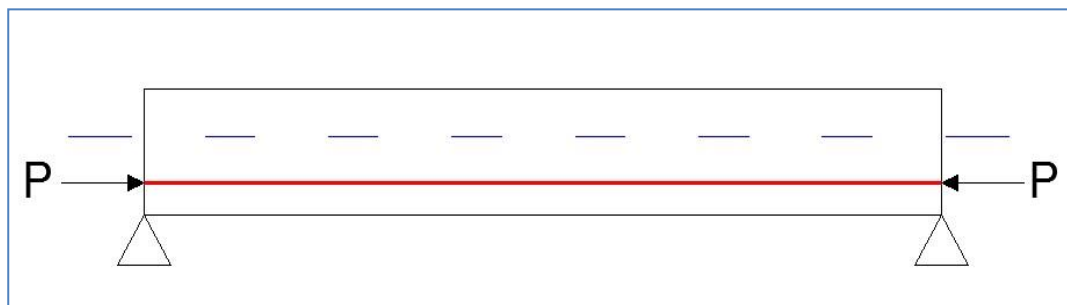


Figura 3. Contraflecha debido al pretensado, 2017

Fuente:<http://estructurando.net/2017/06/26/contraflecha-debida-al-pretensado/>

Las fórmulas para el cálculo de la excentricidad varían dependiendo del tipo de pretensado que se esté implementando, la utilización de cuñas y anclajes para mejorar el comportamiento eran puestos a prueba, con ensayo se llegaron a fórmulas que plantean una excentricidad óptima para su comportamiento.

Bases teóricas

Las fuerzas ejercidas dentro de un modelo precomprimido producto del acero activo, se deben a la energía potencial elástica impresas en él, sin tomar en cuenta las perdidas diferidas e inmediatas de ese tipo de elemento estructural, por lo tanto se puede valer de esta característica y de de este tipo de energía, y así dividirla en partes más pequeñas como se aprecia en la figura 4

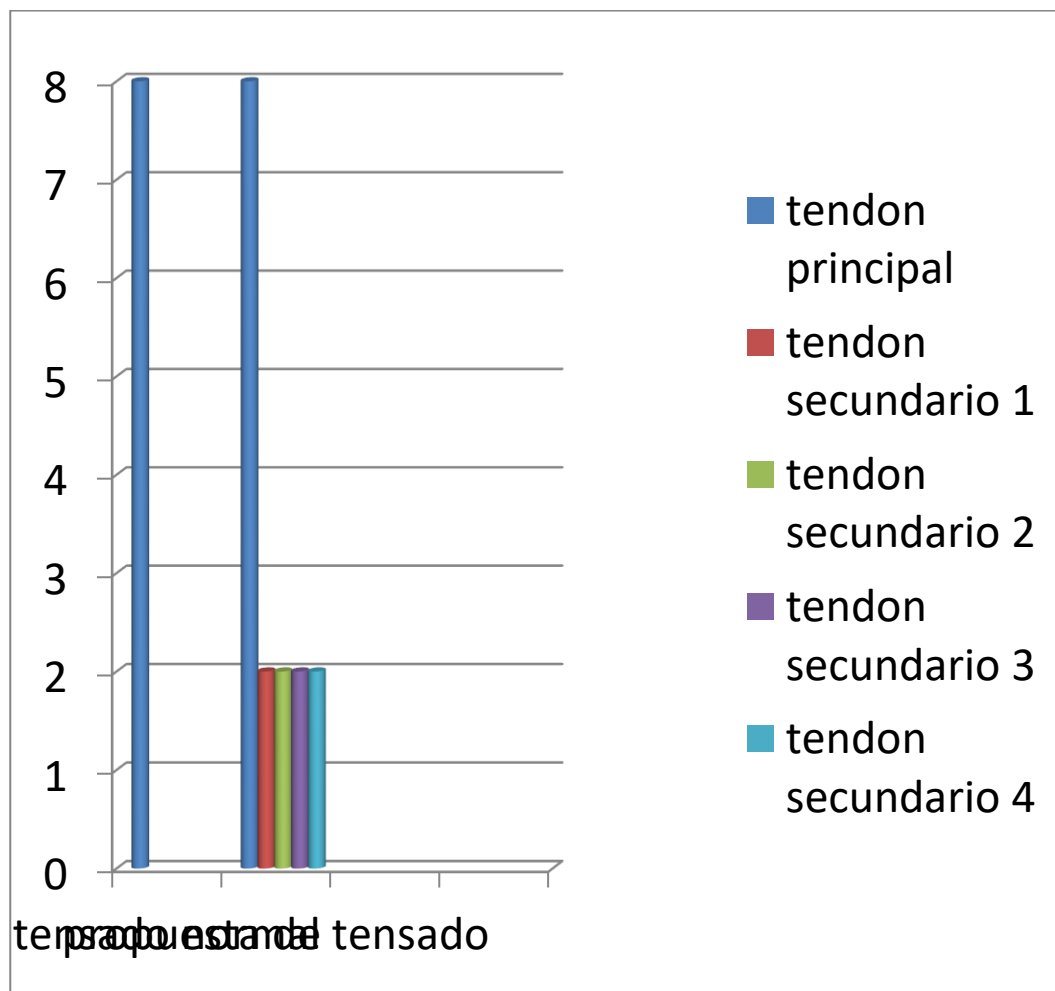


Figura 4. Fuerza de tensado requerida

Fuente: Jesús Franco (2017)

Entonces se puede utilizar esta característica propia del tipo de energía, para obtener un resultado más eficiente en cuanto a la proporción de la energía requerida por el sistema para cumplir con el propósito de mejorar las características físicas y de resistencia. Como las fuerzas propuestas debido a la distribución de energía no es uniforme, registrará una deformación más importante a medida que se acerque a la **distancia longitudinal media de la viga entre vano y vano** ($L/2$), ininterrumpida como se tiene diseñado, para resolver este problema el tendón secundario estará atado en pares aumentando el área de la sección transversal y evitando deformaciones considerables debido a la fuerza que produce la tensión del tendón.

La forma **de qué** es una característica importante para que funcione eficientemente el pos tensado en este caso es una limitante para el pretensado dado que a menos que se utilicen anclajes siempre tendrá una forma recta debido a que la fuerza de tensado se le aplica al tendón previo al vaciado y fraguado del concreto sin embargo las pérdidas producidas son inferiores en este caso dado que se tiene una mejor adherencia el tendón al concreto parece una forma ideal.

Por otra parte el pos tensado asimila la forma contraria a la deformación producida por la carga variable y permanente en la estructura disminuyendo o aumentando los momentos que contrarrestan **la viga?** deformada por el uso del elemento estructural pese a esto la falta de adherencia requiere el uso de materiales como la lechada para producir en algunos casos una transmisión de esfuerzos entre el acero activo y el concreto.

El objetivo de utilizar elementos estructurales precomprimidos en obras, es reducir las deformaciones y fisuras en la viga de concreto según el Ing. **Rodríguez D en el manual básico para el diseño de elementos prefabricados** tópicos de concreto pre forzado 1 “El concreto pres forzado consiste en crear deliberadamente esfuerzos permanentes en un elemento estructural para mejorar su comportamiento de servicio y aumentar su resistencia.”(p. 4) Dicho esto, es claro notar la necesidad de encontrar la mejor combinación

para ambos casos, tanto el pre tensado como el pos tensado y uniendo sus características tal como se considera en este trabajo de grado; así mismo, Rodríguez D (Ob. Cit.) hace énfasis en lo antes mencionado:

Gracias a la combinación del concreto y el acero de presfuerzo es posible producir en un elemento estructural, esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en un elemento, lográndose así diseños más eficientes. (p.4)

La forma que tiene el acero activo a medida que la longitud (L) del elemento estructural precomprimido **es mayor**, tiene un gran impacto en cómo se contrarrestan las deformaciones. Por lo tanto dependiendo de la obra puede escogerse el más indicado, haciendo énfasis en que el propósito siempre ha sido contrarrestar las deformaciones **a las que está sometida la viga, por lo que** el ingeniero en campo **ha de seleccionar la** más favorable, **considerando como variable de interés** el presupuesto, **ya** que es el objetivo más importante en la construcción de una obra civil, **el cual ha de ser una inversión de bajo costo pero con un producto de calidad denominado obra** Rodríguez D (Ob. Cit.) presenta los tópicos de concreto preforzado una tabla donde se aprecian el comportamiento de los diferentes tipos de elementos pre comprimidos sometidos a cargas (p. 5)

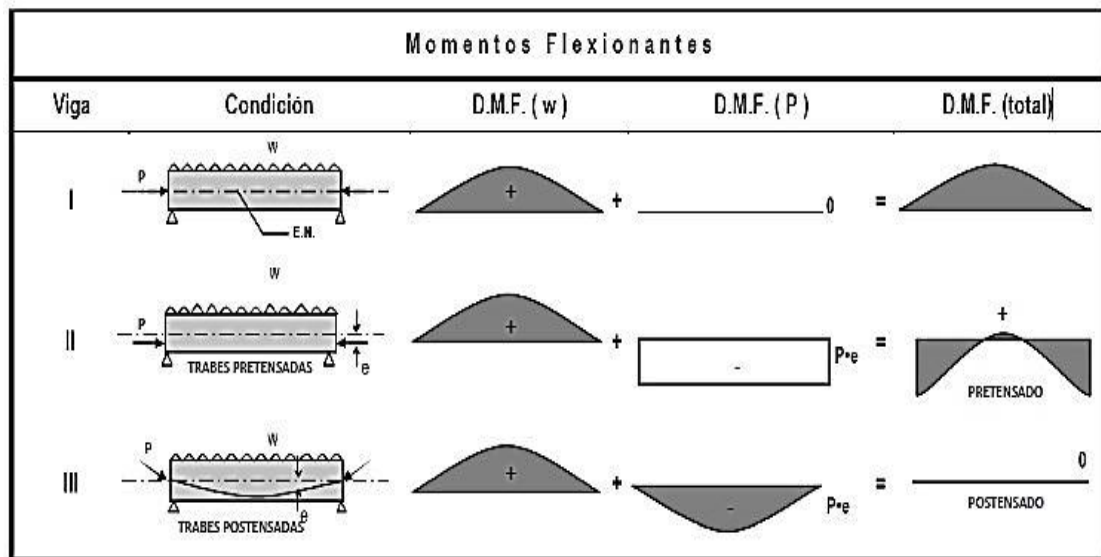


Figura 5. Momentos Flexionantes

Fuente: Manual básico para el diseño de elementos prefabricados (Año)

Se puede apreciar en la figura 5, de manera más clara lo antes expresado el comportamiento fluctúa en función de la forma que tenga el tendón dentro del elemento precomprimido, se observa que en la imagen I plantea un caso donde no existe una fuerza aplicada en el tendón por lo tanto se muestra que el diagrama de momento producto de las cargas (D.M.F.w) es igual al diagrama final (D.M.F.total) pues no hay interferencia de otro tipo; en la imagen II plantea una fuerza sobre el tendón que comprime el elemento pero como se muestra la excentricidad no varía a lo largo de la viga el momento producto del cable activo (D.M.F.p) que es igual a la fuerza axial por la excentricidad no varía y se mantiene constante como expresa el diagrama, y en la imagen III se presenta un pos tensado cuya excentricidad varia acorde se acerca a la mitad de la viga ($L/2$) por lo tanto se puede aumentar o disminuir la distancia para producir un momento más grande o más pequeño en función del comportamiento **del momento**, producto de la carga **aplicada** como se muestra en el último diagrama, esta es una limitante **ya que** solo depende de la variación de la catenaria y debe tener un control a la hora de situar la vaina por donde se introducirá el tendón.

La propuesta del presente proyecto de grado abre otra forma de modificar los momentos no solo controlando la variación de la excentricidad sino también de la fuerza axial del tendón, abriendo una ventana de oportunidades al modificar ambas variables a conveniencia del comportamiento esperado.

La Asociación Nacional de Industrias del Esfuerzo y la Prefabricación en la guía de las empresas más relevantes en la industria mexicana que realizan prefabricados pretensado y pos tensado expresa:

es importante que en la actualidad, es importante que las escuelas impartan y enfatizen puntos básicos requeridos como son la industrialización, estandarización y la modulación en el diseño, que son elementos de vital importancia para que funcione correctamente la prefabricación. Esto ayuda a recuperar con prontitud la inversión y realizar un proyecto con rapidez. En nuestro país y en el mundo entero cada día la prefabricación se está usando más, no solo en la construcción industrial o urbana sino en todo tipo de arquitectura actualizar las posibilidades para cumplir un propósito es importante actualizar las técnicas y diseños de manera económica, tiene un gran impacto no solo en el ámbito de construcción de los elementos prefabricados sino también en la industria de la vialidad que indirectamente impacta en el aspecto económico de una región. (p.52)

El diseño del acero pasivo se hará de acuerdo en lo establecido en el capítulo 18.4.4 de la norma COVENIN de concreto 1753- 2006 y el capítulo 18.4.5 planteando de esta manera la cantidad de acero a corte y acero longitudinal necesario en el pretensado tomando en cuenta los requisitos propios del capítulo 18.4.2.

“Se diseñarán según el presente Artículo los miembros solicitados por una fuerza axial mayorada que sea menor que $0,75 A$ y, además, satisfagan las siguientes condiciones geométricas:

- a. La menor dimensión transversal, medida a lo largo de una recta que pase por su centro geométrico, no sea menor que 30 cm.
- b. La relación entre la menor dimensión de la sección transversal y la correspondiente en una dirección perpendicular, no sea inferior a 0,4

- c. Para prevenir la falla por adherencia en concretos con agregado de peso normal, se deberá cumplir la relación h/d_b según la fórmula (18-2), donde d_b , es el diámetro de la barra longitudinal de mayor diámetro de la viga, cuando esta se extiende a través del nodo viga-columna.

$$h/d_b = \alpha \cdot f_y / \sqrt{f'_c}$$

Donde α tomará un valor entre 0,08 y 0,10 de acuerdo a las consideraciones expuestas en el Anexo H. Los valores de la fórmula 18.2 se incrementarán en un 30% cuando se trate de concretos con agregado liviano.

- d. Los efectos de esbeltez no exceden los límites establecidos en el Artículo 10.6.”

Además se debe tomar en cuenta que la distancia entre los estribos pues no debe ser menor al diámetro los tendones secundarios, de la misma forma el acero longitudinal pasivo que irá empotrado dentro de la viga debe ser en la parte inferior propuesta en números pares y que el espaciamiento entre cabilla y cabilla de la parte central de la distribución debe ser menor al diámetro de los tendones secundarios esto se debe a que no debe existir interferencia entre estos dos tipos de acero pues podría comprometer el comportamiento a la hora del tensado podría generar otra distribución y que el comportamiento no sea el esperado.

El tendón que es el acero activo que transmite las fuerzas está formado por torones que arropan el alma del tendón, expuesto esto se sabe que los elementos pre comprimidos a lo largo de la viga mantienen un área constante esto se debe a que la fuerza con que se comprime es casi constante contando las pérdidas producidas, puesto que el modelo pre comprimido propuesto en este proyecto de grado presenta una compresión variable requiere que el área de la sección transversal aumente a medida que se acerque al momento máximo en $h/2$ para ello se toma la forma común

para el trenzado de los tendones expuesto por el centro nacional minero de Boyacá.

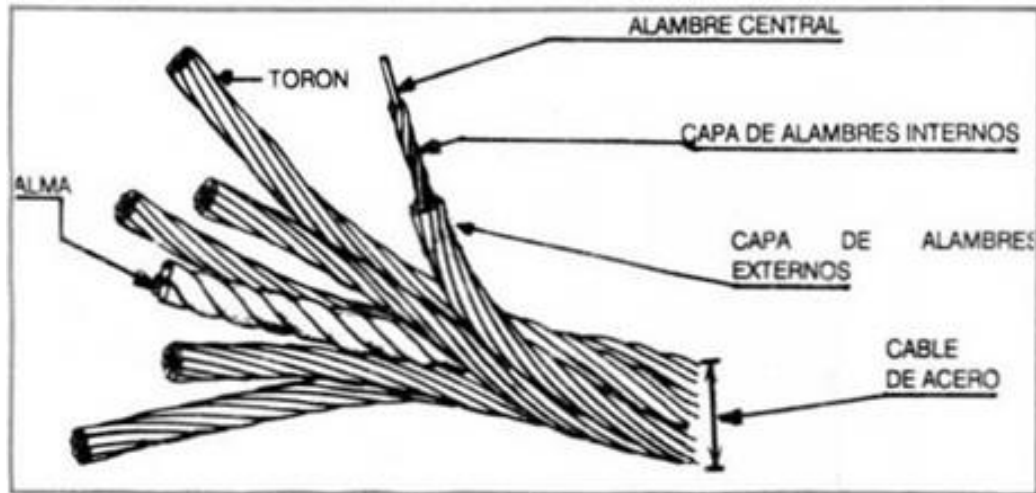


Figura 6. Trenzado de los tendones

Fuente: Manual del centro nacional minero de Boyacá

Como presenta la imagen 5 descrita en el mencionado en el manual del centro nacional minero de Boyacá podemos plantear que para la construcción del tendón para el nuevo modelo pretensado los torones secundarios compartan guiándose por la simetría comparta los mismos torones y sobre estos se coloquen los siguientes tendones secundarios de esta manera a medida a que se aproxime a $h/2$ el área aumente como se necesita para evitar unas deformaciones variadas y se pueda mantener un control sobre ellas.

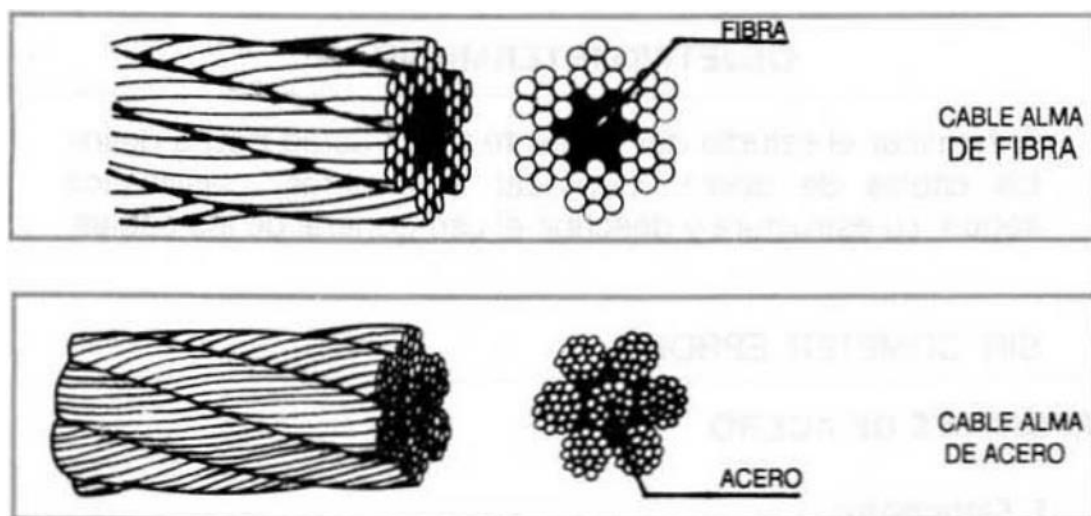


Figura 6. Trenzado de los tendones

Fuente: Manual del centro nacional minero de Boyacá

La figura 6 presenta el área de dos secciones transversales también presentes en el manual del centro nacional minero de Boyacá con diferentes almas pero se puede apreciar que el área depende de los torones que envuelven el alma por lo tanto montar toron sobre toron aumenta esta área recalcando lo antes mencionado y que su comportamiento sea de lo más eficiente posible.

Es importante resaltar que el tensado se produce en los tendones activos y la fuerza necesaria para generar la tensión en el tendón principal debido a la forma geométrica y al número de tendones secundarios, el área de la sección transversal necesaria para los tendones secundarios es en gran medida inferior a la que presenta el tendón principal que es quien distribuye la fuerza de tensión a lo largo del pretensado, la prensa debe de ser móvil y articulada para adquirir el ángulo y posición necesario para el tendón secundario, posteriormente fijar el tendón secundario para luego trasladar la presa y tensar el siguiente tendón.

Los elementos estructurales pre comprimido están limitados por la prensa hidráulica que utilice la empresa, dado que la transferencia de energía es solo transmitida por el tendón principal no se puede aprovechar la energía potencial elástica más eficientemente cada prensa está limitada a un máximo de tensado como menciona MIBA una empresa creadora de concretos precomprimidos, es una empresa líder en el sector, especializada en maquinaria y accesorios para la industria del hormigón pretensado. Con más de 40 años de experiencia está en grado de suministrar un producto altamente seguro y con una calidad invariable, gracias a los controles de calidad de los materiales empleados y a una constante investigación en temas de seguridad.

Descripción de la gama de producción:

1. Tensadores hidráulicos de 6 a 25 Ton. Para cables desde diámetros de 3 mm. a 0,6" de pulgada.
2. Centrales hidráulicas de destensado, cilindros para pistas de pretensado y moldes para grandes prefabricados.
3. Cilindros hidráulicos de 25 hasta 800 ton.
4. Terminales de anclaje (abiertos, cerrados y de empalme) para cables de pretensado y postensado desde diámetro de 3mm. A 0,6" de pulgada.
5. Productos varios para el mantenimiento y limpieza de los terminales".

Podemos apreciar que en la descripción de los productos la máquina y equipo para generar el tensado es limitado por lo tanto una empresa que realice una inversión para una máquina que genere 100 ton de esfuerzo **estará** limitada y perderá clientes que requieran cubrir una demanda que en

el cálculo arroje una fuerza de tensado superior por lo tanto estará limitado en cuanto a la construcción arriesgando la factibilidad económica de la empresa y también afectará el presupuesto de obra.

Si una obra requiere cubrir una luz y las empresas cercanas no pueden cubrir la demanda necesaria recurrirán a una empresa que lo cumpla que dependiendo de la demanda tenga una ubicación más alejada del lugar de la obra aumentando el presupuesto de la misma retrasando la obra y por el transporte del elemento estructural (flete) el proyecto plantea una solución para las empresas que ya tengan una prensa hidráulica aumentado sus posibilidades de construcción de elementos que antes no podían construir, por consiguiente el modelo presentado en este proyecto presenta un impacto en las economía de una nación bajando el coste de construcción de los elementos pre comprimidos beneficiando la vialidad y construcción de edificaciones que requieran cubrir una luz de gran dimensión.

La utilización de esta técnica para construir la viga de pretensado planteado como propuesta de este proyecto plantea que bajo un pequeño coste de inversión en las empresas que generan elementos pre comprimidos pueden optar por cubrir la luz necesaria para una obra civil solo limitado por la resistencia del acero activo del toron principal que también depende del diámetro del tendón que para el caso de la referida propuesta no presenta limitaciones como los modelos actuales limitados por la sujeción entre el tendón principal y la máquina que genera el esfuerzo de tensado.

Definición de términos básicos

- **Vigas pretensada:** Diego Arroyo en su libro hormigón pretensado define los elementos estructurales pretensados "Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado.", este tipo de elemento estructural evita la rotura y que el

concreto del que está formado evite el comportamiento a tracción debido a el acero interno (tendón) que previamente fue tensado y embutido dentro de este elemento estructural presentando una buena adherencia entre el acero tensado y el concreto.

- **Vigas postensadas:** Los elementos estructurales postensados se diferencian del pretensado porque la fuerza de tensión fue aplicada posteriormente al fraguado del concreto, utilizando una vaina embutida dentro del concreto por donde posteriormente se introducirá el tendón para posteriormente realizar el tensado del mismo, el Ing. David F. Rodríguez Díaz en el manual básico para el diseño de elementos prefabricados menciona las características

1. Se tensan los torones una vez que se ha Anclaje Viga Gato realizado el colado.
2. Se realiza en obra principalmente.
3. Se requiere dejar ductos ahogados y ubicados según las trayectorias de cálculo.
4. Una vez colocados y tensados los torones se requiere inyectar los ductos con mortero para proteger los torones.
5. La acción del postensado se ejerce Viga Viga Diafragmas Bloque extremo Solido Gato externamente por medio de anclajes especiales.

- **Elementos precomprimidos:** Los elementos precomprimidos se caracterizan por ser previamente a su puesta en servicio sometidos a una carga del tipo tensional (compresión), esto con el propósito de que la fuerza de tensión utilizada contrarreste los efectos de la deformada causada por la carga a la que estará sometido el elemento estructural en cuestión, existen dos tipos de elementos precomprimidos el pretensado y el postensado.

- **Torones:** Los torones son una serie de alambres enrollados de una manera helicoidal alrededor de un alambre, estos pueden tener varias capas y diámetros dependiendo del alambre y la necesidad que vaya a cumplir.

- **Tendones:** Están formados por torones y estos son los responsables de transmitir la carga axial a compresión directamente a la viga precomprimida.

- 1) **Tendón principal:** Este término se creó para diferenciar el comportamiento de los diferentes tendones, se le llama tendón principal al tendón longitudinal que forma una catenaria con rectas.

- 2) **Tendón secundario:** Los tendones secundarios son los responsables de transmitir las cargas al tendón principal, esos se sujetan por la parte inferior del elemento estructural y son los responsables de darle esa forma característica al tendón principal funcionando como anclajes de transmisión de energía.

- **Lechada:** Este material es utilizado comúnmente en las vigas precomprimidas postensadas debido a que no presentan una adherencia característica de los elementos pretensados, ayuda a crear adherencia entre el elemento estructural y el tendón además de proteger al tendón de oxidarse.

- **Catenaria:** Carlos Ivorra define la catenaria es la curva cuya forma es la que adopta una cuerda de densidad uniforme sujeta por sus dos extremos y sometida únicamente a la fuerza de la gravedad, expandiendo esta definición a los elementos postensados podemos decir que son las curvas que forman las vainas por donde se introduce el tendón que transmitirá la fuerza.

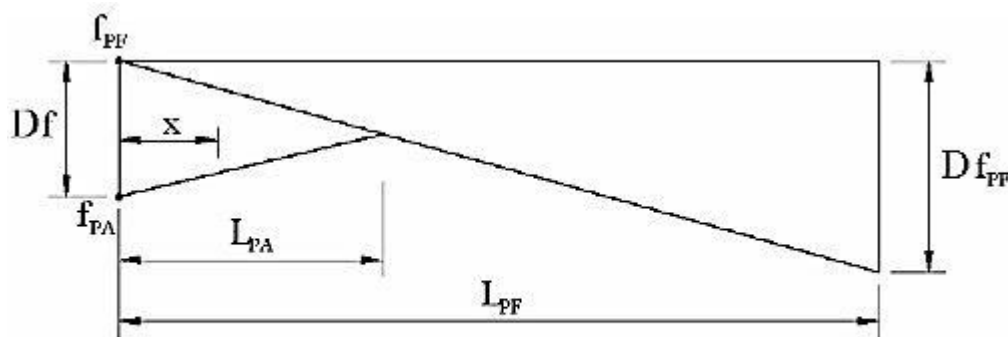
- **Excentricidad:** Diferencia de distancia entre el eje neutro y la fuerza aplicada del tendón en un punto dado, esta varía en los elementos postensados y se mantiene constante para los elementos estructurales tipo pretensado.

- **Acero pasivo:** Es el acero que va de extremo a extremo del elemento estructural de manera longitudinal o transversal, se le denomina de este

modo en el presente proyecto pues no ejerce una carga de compresión sobre el precompimido.

- **Diagrama de esfuerzo transversal:** Muestra de manera grafica y por medio de ecuaciones el comportamiento de cada fibra en una sección transversal, mostrando cada una de las fuerzas que interfieren en el elemento estructural.

- **Perdida de energía en el sistema a corto plazo:** Las pérdidas producidas a corto plazo se pueden apreciar en dos tipos de elementos precomprimidos el postensado y el pretensado con anclajes, esto es debido sobre a todo a la perdida por fricción que presenta el sistema y al soltar el anclaje de la prensa.



Modelo de pérdidas de pretensado a partir del anclaje

- **Energía potencial elástica:** Es un tipo de energía que almacena un sistema al ser deformado con un esfuerzo que no supere su rango elástico (que no entre en plasticidad) de esta manera si se le retira acción que deforme el objeto en principio tendera a volver a su forma original, esta acción de volver a su estado original se define como energía potencial elástica, este tipo de energía es mencionada en este libro pues es gracias a ella que existen los elementos tipos precomprimidos, se menciona en el presente proyecto de investigación haciendo hincapié en que es energía potencial, por lo tanto al igual que en una presa puede ser acumulada mediante procedimientos que serán explicados en los posteriores capítulos.

- **Criterios de falla:** Para los cálculos de acero pasivo se utiliza el diagrama de interacción para determinar la posición y diámetro del acero que no ejerce fuerza activa sobre la viga pretensada, esto tomando en cuenta diversos criterios como se mencionara más adelante.
- **Luz:** Se le denomina luz a la distancia que existe entre los apoyos, usualmente para elementos precomprimidos esta distancia es relativamente grande.
- **Carga permanente:** Se le denomina carga permanente a las cargas que se presentan en un elemento o sistema estructural que no varía por un tiempo prolongado.
- **Carga variable:** Este tipo de carga depende del uso que se le a la construcción civil.
- **Fibra:** Capa infinitamente pequeña que con un número igualmente infinito de ellas que sirve para analizar el comportamiento de diversos puntos en un elemento estructural, en el caso de los elementos precomprimidos ayuda a distinguir el cambio o el comportamiento a compresión y tracción en diversos puntos de la viga precomprimida.

Bases legales

En diversos artículos de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), diversas leyes orgánicas y decretos se mencionan la importancia de la inventiva y del desarrollo tecnológico en una nación, pese a que es una propuesta este proyecto de investigación entra dentro de las características descritas en las leyes de la constitución, orgánicas o decretos.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) expresa en su artículo 109:

El Estado reconocerá la autonomía universitaria como principio y jerarquía que permite a los profesores, profesoras, estudiantes, egresados y egresadas de su comunidad dedicarse a la búsqueda del conocimiento a través de la investigación científica, humanística

y tecnológica, para beneficio espiritual y material de la Nación. Las universidades autónomas se darán sus normas de gobierno, funcionamiento y la administración eficiente de su patrimonio bajo el control y vigilancia que a tales efectos establezca la ley. Se consagra la autonomía universitaria para planificar, organizar, elaborar y actualizar los programas de investigación, docencia y extensión. Se establece la inviolabilidad del recinto universitario. Las universidades nacionales experimentales alcanzarán su autonomía de conformidad con la ley. (p. 39)

En el presente artículo hacer referencia al impacto que tiene el desarrollo tecnológico dentro de una nación y como la universidad tiene total autonomía para controlar la gestión en el desarrollo en la ciencia que permita a la nación surgir en un aspecto humanista, tecnológica, incluso que conlleve un desarrollo espiritual o material. Todo esto con el fin que la nación crezca en cualquiera de los aspectos antes mencionados,

A su vez el artículo 110 de Constitución de la República Bolivariana de Venezuela menciona el apoyo a la inventiva tecnológica considerando al sistema nacional de ciencia y tecnología como el ente que se encarga del financiamiento a los proyectos que tengan el fin del desarrollo económico, social o político del país:

El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes y creará el sistema nacional de ciencia y tecnología de acuerdo con la ley. El sector privado deberá aportar recursos para las mismas. El Estado garantizará el cumplimiento de los principios éticos y legales que deben regir las actividades de investigación científica, humanística y tecnológica. La ley determinará los modos y medios para dar cumplimiento a esta garantía. (p. 39)

El financiamiento presenta dos etapas una para la elaboración de un prototipo que demuestre lo expuesto por los proyectos de investigación, la segunda para la elaboración del producto en cuestión.

Pese a lo antes mencionado en el artículo 110 de Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, recordemos lo presente en el artículo 109 donde las universidades asumen el rol de guía para la elaboración de la inventiva tecnológica presentada, en el artículo 3 la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación vincula a todos los órganos que son parte de este sistema:

Forman parte del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, las instituciones públicas o privadas que generen y desarrollen conocimientos científicos y tecnológicos, como procesos de innovación, y las personas que se dediquen a la planificación, administración, ejecución y aplicación de actividades que posibiliten la vinculación efectiva entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. A tal efecto, los sujetos que forman parte del Sistema son:

1. El Ministerio de Ciencia y Tecnología, sus organismos adscritos y las entidades tuteladas por éstos, o aquéllas en las que tengan participación.
2. Las instituciones de educación superior y de formación técnica, academias nacionales, colegios profesionales, sociedades científicas, laboratorios y centros de investigación y desarrollo, tanto público como privado.
3. Los organismos del sector privado, empresas, proveedores de servicios, insumos y bienes de capital, redes de información y asistencia que sean incorporados al Sistema.
4. Las unidades de investigación y desarrollo, así como las unidades de tecnologías de información y comunicación de todos los organismos públicos.
5. Las personas públicas o privadas que realicen actividades de ciencia, tecnología, innovación y sus aplicaciones. (p.3)

Dado que es un sistema bastante amplio, la comunicación para el bienestar del desarrollo tecnológico entre cada una de sus partes es de carácter sustancial, haciendo alusión a la comunicación entre la universidad

y la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación de carácter más específico menciona en su artículo 15 que la inversión para los proyectos que cumplan con el plan expuesto en la mencionada ley es responsabilidad del sistema nacional de ciencia y tecnología, artículo 5:

Los órganos del Estado que forman parte del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, deberán seguir los lineamientos generales establecidos en el Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, adaptando sus propios planes a dichos lineamientos. De igual forma, las instituciones de educación superior y organizaciones del sector privado miembros del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, de mutuo acuerdo y acogidos a tales lineamientos, podrán participar de los recursos de que disponga el Ministerio de Ciencia y Tecnología, para el financiamiento de programas y proyectos de investigación y desarrollo, a los fines de la consecución coordinada de los objetivos previstos en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, sin perjuicio de los demás aportes y obligaciones que esta Ley y otras leyes les impongan. (p. 6)

En Septiembre - Diciembre 2001 para entonces el presidente Hugo Rafael Chávez Frías crea un decreto presidencial en ejercicio de la atribución que le confiere el numeral 8 del artículo 236 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, donde hace hincapié en la importancia del desarrollo tecnológico para la nación, promoviendo el desarrollo, la estimulación y el impulso de las actividades que tengan que ver con el desarrollo tecnológico más específicamente en el artículo 4 del respectivo decreto:

De acuerdo con este Decreto-Ley, las acciones en materia de ciencia, tecnología e innovación estarán dirigidas a:

1. Formular, promover y evaluar planes nacionales que en materia de ciencia, tecnología e innovación, se diseñen para el corto, mediano y largo plazo.
2. Estimular y promover los programas de formación necesarios para el desarrollo científico y tecnológico del país.

3. Establecer programas de incentivos a la actividad de investigación y desarrollo y a la innovación tecnológica.
4. Concertar y ejecutar las políticas de cooperación internacional requeridas para apoyar el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.
5. Impulsar el fortalecimiento de una infraestructura adecuada y el equipamiento para servicios de apoyo a las instituciones de investigación y desarrollo y de innovación tecnológica.
6. Estimular la capacidad de innovación tecnológica del sector productivo, empresarial y académico, tanto público como privado.
7. Estimular la creación de fondos de financiamiento a las actividades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.
8. Desarrollar programas de valoración de la investigación a fin de facilitar la transferencia e innovación tecnológica.
9. Impulsar el establecimiento de redes nacionales y regionales de cooperación científica y tecnológica.
10. Promover mecanismos para la divulgación, difusión e intercambio de los resultados de investigación y desarrollo y de innovación tecnológica generados en el país.
11. Crear un Sistema Nacional de Información Científica y Tecnológica.
12. Promover la creación de instrumentos jurídicos para optimizar el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.
13. Estimular la participación del sector privado, a través de mecanismos que permitan la inversión de recursos financieros para el desarrollo de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación (p.3)

Dado a que no se ha construido la viga pretensada propuesta y que el diseño del acero pasivo es imprescindible para el funcionamiento a la flexo compresión biaxial se toma el diseño planteado en la norma COVENIN 1753-2006 utilizando los capítulos 18.4.4 para el diseño del acero longitudinal “El acero de refuerzo longitudinal se determinará para la combinación más desfavorable de carga axial y momentos mayorados, considerando adicionalmente la Sección 18.4.3” y el capítulo 18.4.5 para el diseño del acero transversal de la viga “A menos que el diseño por corte según la Sección 18.4.6 requiera una cantidad mayor, se dispondrá el acero de refuerzo transversal por confinamiento especificado en las Subsecciones 18.4.5.1 a 18.4.5.4.

El acero de refuerzo transversal especificado en las Subsecciones 18.4.5.1 a 18.4.5.3, se dispondrá a lo largo de la longitud **Lo**, medida desde cada cara del nodo y a ambos lados de cualquier sección en donde se considere probable que ocurra la cedencia por flexión, a consecuencia de los desplazamientos laterales inelásticos en la estructura. La longitud **Lo**, será la mayor de:

- a. La mayor dimensión de la sección transversal del miembro
- b. 1/6 de la altura libre del miembro
- c. 45 cm.

En la dirección del acero de refuerzo longitudinal, las ligaduras cerradas quedarán separadas a una distancia no mayor que:

1. Un cuarto de la menor dimensión del miembro;
2. Seis veces el diámetro de la barra longitudinal de menor diámetro;
3. El valor **sx**, definido por la fórmula (18-4): $S_x = \frac{35 - h_x}{3}$

Donde $10 \leq \mathbf{sx} \leq 15$ cm.”

En la sección transversal del miembro estructural, las ligaduras cerradas, simples o múltiples, se espaciarán en cada dirección una distancia **hx**, no mayor de 35 cm. centro a centro. Véase la Figura H-XX. Cuando el acero de refuerzo transversal por confinamiento especificado en la Subsecciones 18.4.5.1 a 18.4.5.3 no se requiera en toda la altura de la columna, la longitud de la columna fuera de la zona confinada quedará reforzada con ligaduras cerradas, cuya separación, centro a centro, no excederá el menor de los dos valores siguientes:

1. Seis veces el diámetro de la barra longitudinal de menor diámetro;
2. 15 cm. Cuando se utilicen zunchos o espirales como acero de refuerzo transversal, su separación máxima será 7,5 cm y la mínima 2,5 cm, además deben cumplir lo especificado en la Sección 7.5.1

Cuando se utilicen zunchos o espirales como acero de refuerzo transversal, su separación máxima será 7,5 cm y la mínima 2,5 cm, además deben cumplir lo especificado en la Sección 7.5.1”

Pese a no ser una columna la propuesta del nuevo diseño pretensado debido a que el comportamiento que se espera es completamente a compresión podemos encontrar un modelo aproximado utilizando lo expuesto en la norma COVENIN 1753-2006 sobre columnas, una vez obtenido el diseño se debe verificar mediante un software que plantee los diagramas de interacción del perfil con su cantidad de acero, distribución del acero y las dimensiones de la sección transversal de la viga en cuestión, si se observa que la primera falla que presentara el perfil es del tipo dúctil entonces el diseño del acero pasivo y las dimensiones del perfil estructural cumple con el requerimiento.

Usar un modelo teórico para diseñar un elemento estructural y ponerlo en marcha post facto a lo realizado por Eduardo Torroja en el año de 1927 no parece tan alejado de la realidad, sin mencionar que ahora contamos con la tecnología suficiente para llegar a un modelo cada vez más cercano a la realidad mediante los programas de cálculo estructural, pasando por una situación crítica en cuanto a los materiales de construcción en diversos lugares de Venezuela presentamos un problema similar a lo acontecido en España para la época en que Eduardo Torroja construyo el puente mencionado en los antecedentes, esto da lugar a nuevos desarrollos tecnológicos que están siendo apoyados por la ley en diversos artículos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se presenta la metodología empleada para el logro de los objetivos propuestos, fundamentándose en un enfoque cuantitativo basado en la verificación empírica de los hechos y sus causas; y enmarcado en la línea de investigación denominada Venezuela país potencia en lo social, lo económico y lo político, la cual promueve la investigación e innovación que garantiza la generación de un modelo de ciencia, tecnología e innovación, y su aplicación para solucionar problemas concretos del país en el ejercicio pleno de la soberanía Nacional.

Diseño y tipo de investigación

Esta investigación, según la estrategia a utilizar para responder el problema es de diseño no experimental, ya que según Pallela y Martins (2006), “se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable” (p. 96); de acuerdo al tipo de estudio a realizar se considera que es una investigación de tipo campo, porque según los autores citados, “el investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta y desenvuelve el hecho” (p. 97).

Nivel y modalidad de investigación

El nivel de la investigación tal como lo plantea Arias (1997), se refiere “al grado de profundidad con que se aborda un estudio” (p. 47), de allí que en el

presente trabajo se considera proyectivo el cual según Hurtado de Barrera (2000) “es el que intenta proponer soluciones a una situación determinada” (p. 103).

En cuanto a la modalidad, es de carácter proyecto especial definido según Pallela y Martins (Ob. Cit.) como aquel que está destinado a la “creación de productos que puedan solucionar deficiencias evidenciadas, se caracterizan por su valor innovador y aporte significativo en cualquier área del conocimiento” (p. 107)

Es importante señalar que, para el desarrollo de la investigación fue necesario comparar el modelo propuesto del presente trabajo con modelos matemáticos relacionados con precomprimidos (pre tensado, pos tensado) con el propósito de verificar las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos con respecto al nuevo modelo pretensado propuesto.

Técnicas de recolección de datos

Para seleccionar las técnicas de recolección de datos fue necesario considerar diferentes criterios expuestos por varios autores; entre ellos, Arias (ob. cit.) manifiesta que “las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información” (p. 111). Así mismo, Sabino (2007) señala que es necesario hacer precisiones sobre los tipos de datos que se presentarán al investigador.

En cuanto a las técnicas de recolección de datos, se aplicará el análisis documental y la observación. En el análisis documental se tomará como referencia lo expresado por Bavaresco (1990), cuyo criterio a pesar de la data se estima relevante porque señala que luego de ubicar y clasificar la información consultada se toman anotaciones de los puntos de interés que servirán de soporte a la investigación. Respecto a la observación, Pallela y Martins (ob. cit.) refieren que “consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que se estudia” (p.126).

Es importante señalar que en la investigación se realizó revisión documental para disponer de datos y valores disponibles en libros, guías, apuntes de clases, material obtenido de seminarios online, norma COVENIN 1753-2006.

Etapas de la Investigación

Se plantearon tres (03) etapas para alcanzar el logro de los objetivos, estas son:

I etapa

La primera etapa fue la adquisición y revisión de documentos, libros, manuales, guías y normativas de construcción a fin de establecer las bases teóricas y referenciales que sustentarán la investigación.

II etapa

La segunda etapa fue la selección y utilización del software para adquirir datos mediante una simulación virtual, obteniendo valores cercanos a la realidad que presentaría la viga propuesta en este proyecto de investigación, y comparar los mismos con modelos matemáticos ya existentes en el pretensado.

III etapa

Buscar una aprobación de personas profesionales en el campo que dieran el visto bueno de lo generado por el software y la teoría recolectada utilizada para desarrollar cada fórmula, teoría y resultado obtenido. Se utilizó la asesoría para identificar los puntos débiles y fuertes del proyecto de investigación. Siempre fundamentado en la teoría que respalda la presente.

Procedimientos

El primer paso fue realizar una recolección de datos referentes a todo lo concerniente a el concreto pre comprimido (pre tensado y pos tensado) para obtener fundamentos suficientemente fuertes y lograr un modelo superior que cubra una necesidad obedeciendo al tipo de investigación cuantitativa aplicada en este proyecto de investigación, una vez obtenido datos suficientes y estudiando el aspecto histórico del concreto pre comprimido se realizó un estudio comparativo sobre los diferentes tipos de pretensado haciendo énfasis en el comportamiento que presenta la variación de la excentricidad de los diferentes casos, las pérdidas producidas y la forma de construcción.

Posteriormente se analizó cada una de estas características y se comenzó la fase comparativa entre todos los elementos, en esta etapa se clasificaron las ventajas y desventajas de cada uno considerando que forma, por qué presentaban este comportamiento. Una vez claro por qué se comportaban de esta manera se utilizó el ensayo y error para poder formar una estructura interna del tendón principal que ayude a que las ventajas que presenta cada uno con respecto a otro se podrían aprovechar en un solo modelo, pudiendo incluso poder aprovechar las características de energía potencial elástica y geometría del nuevo sistema bajando la fuerza de tensado necesaria para generar la fuerza de tensión, considerar la dirección de los tendones secundarios para disponerlos de la mejor manera posible.

En tal sentido, se llegó a elaborar una formula basándose en la ecuación para el cálculo de trabajo virtual para cuerpos deformables considerando solo la flexión producida para calcular “T” representada como la fuerza de tensión necesaria para cumplir con lo exigido, posteriormente un ángulo de inclinación necesario para poder optimizar el comportamiento de la viga aumentando la compresión a medida que se acerca al momento máximo de la viga, el cálculo de otra fórmula tomando en cuenta los momentos internos

que interactúan en la viga producto de la carga permanente y la carga variable que tendrá que soportar la viga y utilizando 2 variables una dependiente y otra independiente presente en una inecuación que puede volverse una ecuación dependiendo de los factores de mayoración de los momentos internos utilizados que se producirán dentro de la viga, se utilizó una herramienta de cálculo superior (sapp2000.v.14.) para demostrar que las formulas y el comportamiento eran los esperados.

Posteriormente se buscó administrar una distribución óptima para el acero pasivo que no interviniera con el comportamiento de los tendones secundarios pero aun así el comportamiento a flexo compresión no se veía afectado de ninguna manera, solo proponer una serie de elementos que se deben tomar en cuenta para la distribución de acero a corte y el acero longitudinal pasivo de la viga de pretensado.

Se designó el tipo de material y el comportamiento que requiere el equipo principalmente la prensa hidráulica que debe ser móvil y con anclajes de sujeción para los tendones secundarios y el tendón principal.

Luego que se obtuvo los resultados esperados realizando las líneas de cálculo antes expuestas y comprobando que la disminución de los aceros activos y pasivos dentro de la viga no generaba problema se planteó la propuesta de la forma en que se construiría utilizando una prensa móvil para generar el pretensado esperado.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación una vez planteado el modelo propuesto, se procedió a utilizar de una forma comparativa entre un miembro pos tensado con el pretensado planteado en el proyecto con un ejercicio propuesto de cada uno. Se simularon varios modelos y se empleó el más óptimo en la investigación.

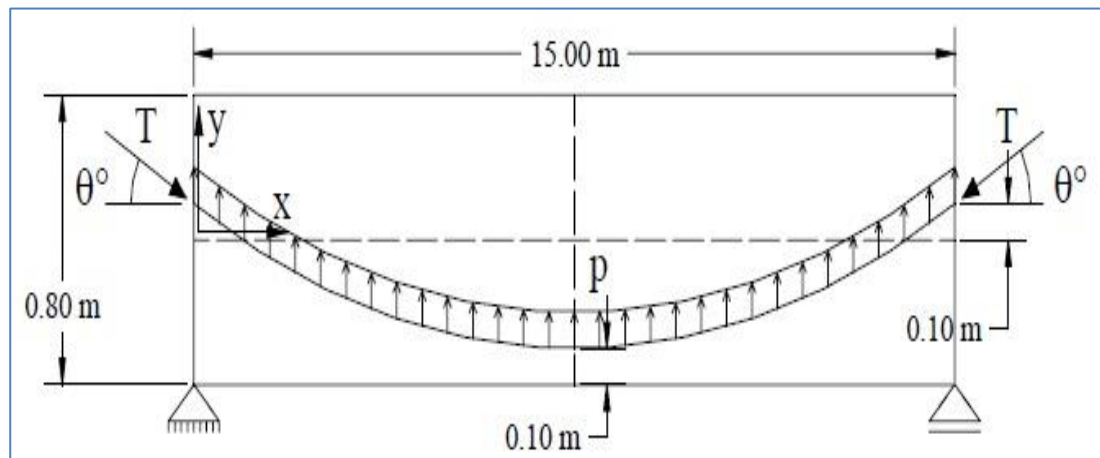


Figura 7. Miembro pos tensado con el pretensado

Fuente: Guía práctica universidad de Colombia

Se planteó un sistema pos tensado figura 4 planteado por una guía de cálculo para pre comprimido y analizaremos el comportamiento únicamente tomando como variable el acero activo. Los valores de las propiedades isotrópicas y dimensiones del concreto se mantienen igual para ambos casos para conseguir la fuerza de tensión requerida para contrarrestar la deformación producida por la carga variable y carga permanente son las siguientes:

Propiedades:

$$E=3.10^6 \text{ ton/m}^2$$

$$I=0,0128 \text{ m}^4$$

$$E.I=38400 \text{ ton.m}^2$$

$$d=0,4\text{m}$$

$$A=0,24\text{m}^2$$

Se trabajó con fuerzas en medidas en Kgf y los desplazamientos expresados se expresaron en cm. Posteriormente, se procedió a calcular el desplazamiento producto de la carga planteada. Cabe destacar que para obtener los resultados se utilizó método de las fuerzas para cuerpos deformables por lo tanto, se ha de calcular para cada una de las vigas uno real y uno virtual. Las reacciones en los apoyos los calculamos por ser simétrico como

$$\frac{b.w}{2}$$

Por lo tanto las reacciones A_y y B_y para el sistema real tomaron valores de 4500Kgf considerando la carga (w) de 600Kgf y la base (b) igual a 15m para el sistema real, tomando esto en cuenta las ecuaciones de momento necesarias para el cálculo toman los siguientes valores:

$$\mu=4500x-300x^2$$

Las reacciones del sistema virtual toman los siguientes valores $A_y= 0,5$ y $B_y=0,5$ ubicando la carga puntual unitaria en $L/2$ para conocer el desplazamiento máximo y en función del comparar los resultados, para ello las ecuaciones de momento para el sistema virtual adquieren las siguientes formas:

$$\mu=0,5x \wedge \mu=-0,5x+7,5$$

Como el producto del área bajo la curva en de 0 a L/2 y de L/2 a L es igual podemos multiplicar la primera integral por 2 y obtendremos el mismo resultado al aplicar el método de las fuerzas para cuerpos deformables considerando la flexión:

$$S_p = \frac{\int_0^{7,5} 2 \cdot (4500x - 300x^2) \cdot (0,5x) dx}{E.I}$$

$$S_p = \frac{\int_0^{7,5} (4500x - 300x^2) \cdot (x) dx}{E.I}$$

$$S_p = \frac{\int_0^{7,5} (4500x^2 - 300x^3) dx}{E.I}$$

$$S_p = \frac{(1500 \cdot (7,5)^3 - 75 \cdot (7,5)^4)}{E.I}$$

$$S_p = \frac{1}{E.I} (632812,5 - 237304,6875)$$

$$S_p = \frac{395507,8125}{38400000} m$$

$$S_p = 0,010299682 m$$

$$S_p = 1,010299682 cm$$

Una vez calculado cuanto se deforma producto de la carga en el punto medio de la longitud “L/2” necesitamos calcular la fuerza “T” necesaria para poder contrarrestar este desplazamiento para ello se necesitó la ecuación formada por la catenaria del pos tensado para ello necesitamos recordar que la los momentos generados por un tendón son iguales a la tensión (que es

igual a lo largo del tendón) y la excentricidad de la catenaria en los diferentes puntos, como varia se necesita expresar una formula en función de la distancia (x).

Conociendo los 3 puntos de la parábola se pudo formar la ecuación de la catenaria, utilizando $ax^2+bx+c=0$ encontramos la ecuación correspondiente aplicando matemática simple:

$$0,007111x^2- 0,10667x+0,1=0$$

Ahora que tuvo la variación de la excentricidad al multiplicarla por la fuerza de tensión “T” obtuvo la ecuación de los momentos producto del tendón principal. Que puede expresarlo como el momento producto del sistema real.

$$S_T = \frac{\int_0^{7,5} 2T \cdot (0,007111x^2 - 0,10667x + 0,1) \cdot (0,5x) dx}{E.I}$$

$$S_T = \frac{\int_0^{7,5} T \cdot (0,007111x^2 - 0,10667x + 0,1) \cdot (x) dx}{E.I}$$

$$S_T = \frac{\int_0^{7,5} T \cdot (0,007111x^3 - 0,10667x^2 + 0,1x) dx}{E.I}$$

$$S_T = \frac{T \cdot \left(0,007111 \frac{1}{4} (7,5)^4 - 0,10667 \frac{1}{3} (7,5)^3 + 0,1 \frac{1}{2} (7,5)^2 \right)}{E.I}$$

$$S_T = -0,0001709.T$$

La necesidad es contrarrestar la deformación procedente de la carga en cuestión es la prioridad para evitar que el concreto trabaje a tracción por lo tanto lo más eficiente que puede trabajar seria que la deformación presente entre producto de la carga S_p sea por lo menos igual a la deformación producida por la fuerza de tensado del acero activo S_T entonces se sumó

algebraicamente ambos resultados y se despeja T resultando como la fuerza necesaria de tensión para contrarrestar la deformaciones por la carga.

$$S_p + S_T = 0$$

$$S_p = 0,010299682m$$

$$S_T = -0,0001709.T \frac{m}{ton}$$

$$0,010299682m - 0,0001709.T \frac{m}{ton} = 0$$

$$T = \frac{0,010299682m}{0,0001709.T \frac{m}{ton}}$$

$$T = 60,26730252 \text{ ton}$$

De esta manera se obtiene la fuerza requerida para contrarrestar la deformación que causaría tracción en la fibra inferior del elemento estructural, evitando la fisuración del concreto debido a que es débil a las fuerzas de tracción. Se puede notar que la fuerza en si es muy elevada para un tramo relativamente corto y el nivel de carga, esto es porque solo se está transfiriendo la energía en un único sentido que es dirigido por la forma del tendón principal.

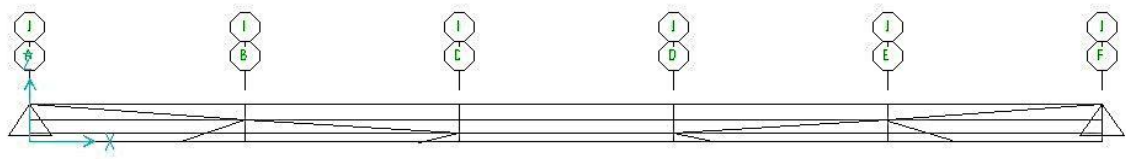


Figura 8. Acero activo del nuevo diseño

Fuente: Franco (2017)

La figura 8 muestra el modelo propuesto del proyecto de investigación los tendones secundarios se pueden observar cómo funcionan y la forma en que se transmiten las cargas para facilitar el cálculo pone a estos a un mismo ángulo de inclinación pero puede ser variado de ser necesario en casos que lo requieran dependiendo del sistema de carga a la que se vaya a someter, ya que también presenta una variación de excentricidad se ha de calcular la ecuación de las rectas que forman el tendón principal y los tendones secundarios para multiplicarlos por una cantidad de fuerza “T” proporcionada por los tendones para este caso se tomaran cuatro (04) tendones secundarios y encontrar el valor de la fuerza de tensión, dado que es simétrico calcularemos la mitad de las ecuaciones multiplicando por 2 cada ecuación para tener el total requerido.

Primero se calculó el ángulo de inclinación de los tendones secundarios para ello se aplicó la primera fórmula desarrollada para este proyecto de investigación:

$$\Theta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\Theta_{r-1}) \cdot \tan(\Theta_r)}{\tan(\Theta_{r-1}) - 2 \cdot \tan(\Theta_r)} \right)$$

Θ_{r-1} = ángulo de inclinación del primer tramo.

Θ_r = ángulo de inclinación del tramo siguiente.

$$\Theta_{r-1} = 4,64379^\circ$$

$$\Theta_r = 2,212^\circ$$

Buscando el ángulo de inclinación usando la formula se pudo encontrar un ángulo aproximado que podemos utilizar para tener un indicio de cual tomar, esto puede variar a disposición del ingeniero que diseñe la viga tomando un ángulo inferior o algo mayor, sin embargo siempre inferior 45° para que la energía de compresión de la viga pueda aumentar a medida que se acerca al momento máximo del elemento pre comprimido. La distribución de los

tendones secundarios se realizó dividiendo la base entre los tramos generados por los tendones colocando a 3 m a cada uno aplicando la fórmula para el cálculo del ángulo de inclinación nos arroja que:

$$\Theta=37,8^{\circ}$$

Para el cálculo siguiente se tomó el ángulo de inclinación inferior para aumentar la fuerza de compresión acumulada por cada tramo de la viga pretensada, por lo tanto lo disminuimos a 30° .

Posteriormente se procedió a calcular la fuerza que requiere cada tendón secundario para generar la fuerza requerida, para esto primero se han de calcular el desplazamiento generado por la carga y determinar la fuerza “T” requerida para contrarrestar este desplazamiento, al igual que el caso del pos tensado la ecuación en que varía la excentricidad tomando en cuenta los tendones secundarios han de ser multiplicados por la fuerza de tensión que se produce en esa sección.

Una vez conocido cual va a ser el desplazamiento de la viga producto de la carga lo siguiente será calcular la fuerza “T” encontrando primeramente las ecuaciones de las rectas que representan al acero activo dentro de la viga pretensada, para el modelo de pretensado propuesto en este proyecto de grado solo se tomara en cuenta para el cálculo la mitad del acero activo estructural pretensado valiéndose de la simetría del mismo se puede realizar el cálculo y multiplicar por 2 para disminuir la línea de desarrollo.

Ecuaciones de rectas correspondientes al acero activo:

$$Y=-0,0854x+0,1$$

$$Y=-0,0426x-0,0283$$

$$Y=-0,2841$$

$$Y=0,577x-1,8871$$

$$Y=0,577x-3,7461$$

Luego se procede a calcular las fuerzas de tensión correspondiente a cada tramo del tendón principal conociendo que las fuerzas se transmiten de manera axial:

Tensión tramo a-b

$$T_{ab} = \sqrt{(2 \cdot \text{sen}(30) \cdot T)^2 + (2 \cdot \text{sen}(30) \cdot T \cdot \frac{3}{0,256})^2}$$

$$T_{ab} = \sqrt{1 + 137,329}$$

$$T_{ab} = 11,76 \cdot T$$

Tensión tramo b-c

$$T_{bc} = \sqrt{(\text{sen}(30))^2 + (2 \cdot \text{sen}(30) \cdot T \cdot \frac{3}{0,256} + \cos(30) \cdot T)^2}$$

$$T_{bc} = \sqrt{0,25 + 158,37}$$

$$T_{bc} = 12,59 \cdot T$$

Tensión tramo c-d

$$T_{cd} = 2 \cdot \text{sen}(30) \cdot \frac{3}{0,256} \cdot T + 2 \cdot \cos(30)$$

$$T_{cd} = 13,45 \cdot T$$

Los tendones secundarios por ser los que originan la fuerza del tensado tienen una fuerza de tensión igual “T” por lo tanto no es necesario el cálculo de la tensión producida en estos, el cálculo del momento producto del acero activo dentro del pretensado se calcula multiplicando cada una de las rectas de cada tramo con la tensión correspondiente a cada tramo entre los tendones secundarios. Ahora calculamos el desplazamiento producto del acero activo propuesto este el proyecto de grado “**Sr**” multiplicando la ecuación de momento producto del sistema virtual en L/2 por los momentos

que varían de acuerdo ecuaciones de recta formada por los tendones primarios y secundarios.

$$\begin{aligned}
 S_T = & \int_0^3 2.11,76.T.(-0,0854x + 0,1).(0,5x) \frac{1}{E.I} dx + \\
 & \int_3^6 2.12,59.T.(-0,0426x - 0,0283).(0,5x) \frac{1}{E.I} dx \\
 & + \int_6^{7,5} 2.13,45.T.(-0,2839).(0,5x) \frac{1}{E.I} dx \\
 & \int_{2,577}^3 2.T.(0,577x - 1,8871).(0,5x) \frac{1}{E.I} dx + \\
 & \int_{5,799}^6 2.T.(0,577x - 3,7461).(0,5x) \frac{1}{E.I} dx \\
 S_T = & 11,76.T.(-0,7686+0,45)+ 12,59.T.(-3,0672- \\
 & 0,5094+0,3834+0,12735)+ 13,45.T.(-7,9846875+5,1102)+T.(5,193-8,49195- \\
 & 3,251598+6,266048)+T.(41,544-67,4298-37,5071344+62,98767649) \frac{1}{E.I} \\
 S_T = & (-3,746736.T-41,2356825.T-38,661856.T-0,28.T-0,40525791.T) \frac{1}{E.I}
 \end{aligned}$$

$$S_T = -84,32953241.T \frac{1}{E.I}$$

$$S_p = 0,010299682m$$

$$T = \frac{0,010299682}{2,196081573 \cdot 10^{-6}} = 4690,027058 \text{Kgf}$$

$$4690,027058 \text{Kgf} < 60267,30252 \text{Kgf}$$

Se pudo observar que la diferencia de energía requerida por el sistema propuesto de pretensado en que se basa este proyecto de grado es muy inferior a la requerida por el sistema, esto representa un claro impacto en la inversión inicial requerida para crear las vigas pretensadas, la limitación ya

no sería por la prensa hidráulica requerida pues dependiendo de la potencia puede aumentar el número de tendones secundarios necesarios para cumplir con la demanda.

La primera fórmula a utilizar para el cálculo del elemento pretensado propuesto es el ángulo de inclinación de los tendones secundarios, para ello primero se planteó la ecuación de una catenaria planteando una excentricidad por un modelo pos tensado, se procede a dividir la distancia longitudinal del elemento estructural en secciones iguales, una vez se tengan estas divisiones conseguimos con la ecuación de la catenaria las coordenadas de los puntos con eje en $h/2$ de la viga.

Posteriormente con los puntos se calculó las pendientes que formarían las rectas del tendón principal y con ellos se obtuvo los ángulos de inclinación del tendón principal con respecto a el eje de las abscisas, se encontró en el primer punto de intersección entre un tendón secundario y el principal figura 9 y se observó que justo después de la intersección cambia el ángulo de inclinación levemente.

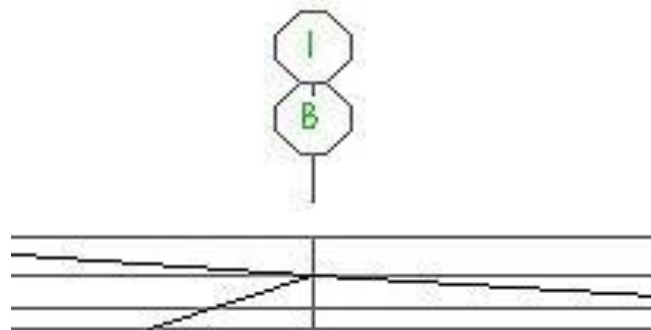


Figura 9. Tendón secundario

Fuente: Franco (2017)

Como el comportamiento esperado es a compresión, por análisis se requirió una fórmula que plantee la mejor transmisión de esfuerzo, para ello en la intersección “B”, se aplicó una sumatoria de las fuerzas que interactúan en ese punto, en el tendón secundario se descomponen de la fuerza total “T” que se le aplico al tendón las siguientes componentes:

$$F_x = \cos(\Theta) \cdot T$$

$$F_y = \sin(\Theta) \cdot T$$

Del tendón principal se derivan dos partes, una con un ángulo de inclinación mayor del lado izquierdo respecto al siguiente del lado derecho, por lo tanto se pudo decir que el ángulo de inclinación del tendón principal del lado derecho se expresó como la $\tan(\Theta)$, y haciendo una sumatoria de fuerzas en “X” y “Y” y expresar estas fuerzas como los catetos del triángulo formado por la fuerza resultante de ese tramo de tendón principal se expresa:

$$\tan(\Theta_r) = \frac{\sin(\Theta) \cdot T}{\frac{n_t}{2} \cdot \sin(\Theta) \cdot T \cdot \frac{1}{\tan(\Theta_{r-1})} + \cos(\Theta) \cdot T}$$

Simplificando la expresión obtenida, y considerando que los tendones secundarios y el primario trabajan de manera axial se obtiene:

$$\tan(\Theta_r) = \frac{1}{\frac{n_t}{2} \cdot \frac{1}{\tan(\Theta_{r-1})} + \frac{1}{\tan(\Theta)}}$$

$$\frac{1}{\tan(\Theta_r)} = \frac{n_t}{2} \cdot \frac{1}{\tan(\Theta_{r-1})} + \frac{1}{\tan(\Theta)}$$

$$\frac{1}{\tan(\Theta_r)} - \frac{n_t}{2} \cdot \frac{1}{\tan(\Theta_{r-1})} = \frac{1}{\tan(\Theta)}$$

$$\Theta = \tan^{-1}\left(\frac{2 \cdot \tan(\Theta_{r-1}) \cdot \tan(\Theta_r)}{2 \cdot \tan(\Theta_{r-1}) - n_t \tan(\Theta_r)}\right)$$

Para un óptimo comportamiento el ángulo de inclinación del tendón secundario con respecto a la horizontal debe ser inferior a los 45° esto se debe a que la componente en el eje de las “X” de esa fuerza debe ser superior a su componente en “Y” para que a medida que se acerque a $L/2$ que es donde se encuentra el momento máximo la fuerza vaya en aumento en el tendón principal al pasar por una intersección con cada tendón secundario,

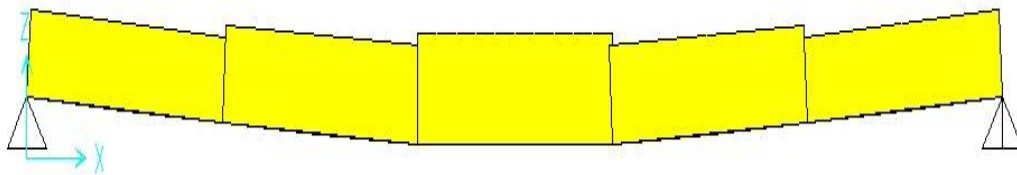


Figura 10. Diagrama de esfuerzo axial con sap 2000 v14

Fuente: Franco (2017)

En la figura 10 se puede observar más claramente lo antes referido expuesto en el diagrama de esfuerzo axial para el tendón principal, cada cambio de ángulo representa una intersección con el tendón secundario y un incremento en el esfuerzo axial generado, pudiendo dar acceso a la hora del diseño de no solo variar la excentricidad de los tendones si no también poder aumentar o disminuir a distancias precisas la fuerza de tensión del tendón principal, estas variaciones de fuerzas quedan restringidas a la ecuación de momento producto de la carga que soporte el elemento estructural pretensado. De no poder aumentar la excentricidad por un problema de geometría simplemente se aumenta la fuerza de tensado en ese punto y no generaría mayor costo de producción.

Los cálculos del diagrama se obtuvieron a través de un software de cálculo estructural (SAP 2000 v.14.) comparando los resultados obtenidos

por medio del cálculo aplicando el método de las fuerzas considerando únicamente la flexión.

La fórmula para calcular la cantidad de tendones secundarios necesarios para generar el esfuerzo del acero activo requerido por el sistema depende enteramente de la tensión disponible que tenga el equipo con el que se cuente para su elaboración.

Se evidenció la presencia de 3 variables, en la ecuación el número de tramos a la izquierda (t_i), el número de tendones secundarios a utilizar para la construcción del pretensado (n_t) y la tensión que se pueda generar con el equipo, teniendo esto en cuenta lo que se busca calcular o considerar como la variable dependiente es el número de tendones secundarios óptimos para que exista una buena transferencia de energía, hay que recalcar que la fórmula planteada a continuación es una aproximación de la cantidad de tendones secundarios a utilizar pues a medida que el cálculo por medio del software arroje resultados no conformes se puede variar para satisfacer la tensión requerida.

$$T_n = \sqrt{\left(\frac{\text{sen}(\theta).T.n_t}{2} - \text{sen}(\theta).T.t_i\right)^2 + \left(\frac{n_t \text{sen}(\theta).T.b}{p(x)} + \cos(\theta).T.t_i\right)^2}$$

$$T_n = \text{sen}(\theta).T. \sqrt{\left(\frac{n_t}{2} - t_i\right)^2 + \left(\frac{n_t b}{P(x)} + \frac{t_i}{\text{tg}(\theta)}\right)^2}$$

$$T_n = \text{sen}(\theta).T. \sqrt{\frac{(n_t - t_i)^2}{4} + \frac{(\text{tg}(\theta).n_t.b + t_i.P(x))^2}{P(x)^2.\text{tg}(\theta)^2}}$$

$$T_n = \text{sen}(\theta).T. \sqrt{\frac{(n_t - t_i)^2.P(x)^2.\text{tg}(\theta)^2 + 4(\text{tg}(\theta).n_t.b + t_i.P(x))^2}{4.P(x)^2.\text{tg}(\theta)^2}}$$

Una vez planteada la ecuación que expresa la fuerza de tensión generada (T_n) se construyó una inecuación donde la fuerza (T_n) multiplicada por la excentricidad en los puntos de intersección entre los tendones secundarios y el tendón principal de mayor al momento en ese punto producto de la carga, se plantea como inecuación ya que el momento presentado en ese punto puede variar dependiendo de los factores de mayoración que a su vez dependen de la norma con que se esté trabajando.

$$\mu_u \leq T_n \cdot e_x$$

$$\mu_u \leq (\text{sen}(\theta) \cdot T \cdot \sqrt{\frac{(n_t - t_i)^2 \cdot P_{(X)}^2 \cdot \text{tg}(\theta)^2 + 4(\text{tg}(\theta) \cdot n_t \cdot b + t_i \cdot P_{(X)})^2}{4 \cdot P_{(X)}^2 \cdot \text{tg}(\theta)^2}}) \cdot E_x$$

Las fórmulas utilizadas son solo aproximaciones a los valores requeridos por el sistema en la realidad, para obtener los valores correctos se debe realizar el cálculo del diseño completo iniciando con los valores calculados a través de las formulas previamente mencionadas, que se han de utilizar como un punto de arranque para el cálculo, consiguiendo por medio de estos tres valores requeridos para el diseño en sí, el ángulo de inclinación de los tendones secundarios (θ), el número de tendones secundarios necesarios para introducir la cantidad de energía requerida por el sistema (n_t) y la fuerza requerida por cada uno de los tendones secundarios (T).

Cabe señalar, que cada una de estas variables dependen de valores como la carga a la que estará sometida la viga y el equipo con el que cuente, la propuesta de la nueva estructura pretensada es flexible a cambios en sus variables dependiendo de casos especiales como requerir más cantidad de esfuerzo por parte del tendón principal en tramos específicos pues el modelo perfectamente variando la tensión en un par de tendones secundarios cambia el comportamiento, o también variando la distribución puede cumplir perfectamente con el requerimiento exigido por quien la diseñe.

La siguiente formula ayuda a encontrar una aproximación de la fuerza requerida por cada tendón secundario para poder ser suministrada al tendón principal, esta fórmula fue desarrollada utilizando el método de las fuerzas para cuerpos deformables considerando la fuerza que necesita el tendón secundario para contrarrestar las deformaciones causadas por la carga en cuestión.

SE consideró que el sistema tiene una carga uniformemente distribuida “Q” de longitud “L” y que sus propiedades físicas e isotrópicas no varían analizándolo ambos casos.

La ecuación de momento en el sistema real producto de la carga seria:

$$\mu_{(x)} = \frac{Q.L.x}{2} - \frac{Qx^2}{2}$$

La ecuación de momento en el sistema virtual producto de la carga P seria:

$$\mu'_{(x)} = 0,5x$$

Se determinó el desplazamiento en L/2 dejando la expresión en función de las variables “Q” , “L” y su elasticidad e inercia.

$$S_p = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{\left(\frac{Q.L.x}{2} - \frac{Qx^2}{2} \right) \cdot (0,5x)}{E.I} dx$$

$$S_p = \int_0^{L/2} \frac{\left(\frac{Q.L.x^2}{2} - \frac{Qx^3}{2} \right)}{E.I} dx$$

$$S_p = \frac{\left(\frac{Q.L.x^3}{6} - \frac{Qx^4}{8} \right)_0^{L/2}}{E.I}$$

$$S_p = \frac{5.Q.L^4}{384.E.I}$$

Las ecuaciones generadas por el tendón principal dependen de la cantidad de tramos que se encuentren a lo largo del elemento pretensado,

los valores de (w) representan el número de veces que aumenta el esfuerzo del tendón principal con respecto a los tendones secundarios:

$$S_{T1} = \frac{2.T.w1}{E.I} \int_0^{P(x1)} (m_1x + b). (0,5x) dx$$

$$+ \frac{2.T.w2}{E.I} \int_{P(x1)}^{P(x2)} (m_2x + b). (0,5x) dx \dots n$$

Una vez calculado la deformación producto del tendón principal (S_{T1}) se procedió a calcular la deformación producto de los tendones secundarios (S_{T2}):

$$S_{T2} = \frac{2.T}{E.I} \int_{e_1}^{P(x1)} (tg(\theta)x + b_{r1}). (0,5x) dx$$

$$+ \frac{2.T}{E.I} \int_{e_1}^{P(x1)} (tg(\theta)x + b_{r1}). (0,5x) dx \dots n$$

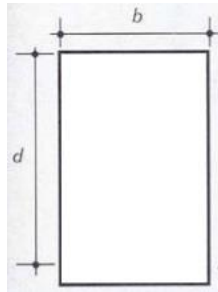
$$T = \frac{5.Q.L^4}{384.E.I.S_{T1}S_{T2}}$$

De igual manera se realizó el cálculo del acero pasivo en la viga pretensada propuesta de la siguiente manera:

La distribución, cantidad del acero y las dimensiones de la sección transversal de la viga de concreto pretensada dependen del comportamiento que se espere que tenga puesta en servicio y del tipo de falla deseada para los casos de construcción en Venezuela se diseña para un tipo de falla dúctil, dicho esto el siguiente será un ejemplo explicando el valor a considerar al utilizar los diagramas de interacción para no presentar problemas en la construcción del elemento pretensado propuesto.

El siguiente ejemplo se desarrollara con variables que dependerán de la carga asociada al sistema observando que valores se requieren para la construcción del diagrama de interacción, utilizando ciertos parámetros como un acero de grado 60 y una sección rectangular para reducir significativamente el número de variables a usar.

Datos de la viga:



$$E_A = 4200 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\Phi = 0,65 \text{ (factor de minoración más desfavorable ACI 318-14)}$$

Acero pasivo 20 \emptyset 7/8"

$$\epsilon_c = 0,003 \quad \epsilon_A = 0,002$$

Una vez expresado cada la geometría de la viga y las características físicas e isotrópicas del concreto y acero de refuerzo a utilizar se formó una matriz donde se expresó la distribución con el diámetro del acero correspondiente a cada cabilla (a_{mn}) presente en la viga pretensada:

$$\text{Diámetro de cabillas (cm)} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & 0 & 0 & a_{24} \\ a_{31} & 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{44} \\ a_{51} & 0 & 0 & a_{54} \\ a_{61} & 0 & 0 & a_{64} \\ a_{71} & 0 & 0 & a_{74} \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & a_{84} \end{pmatrix}$$

Posteriormente obtenido el diámetro de cada cabilla se procede a calcular una matriz donde se exprese el área de la sección transversal de cada cabilla (A_{mn}).

$$\text{Área de cada cabilla} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & 0 & 0 & A_{24} \\ A_{31} & 0 & 0 & A_{34} \\ A_{41} & 0 & 0 & A_{44} \\ A_{51} & 0 & 0 & A_{54} \\ A_{61} & 0 & 0 & A_{64} \\ A_{71} & 0 & 0 & A_{74} \\ A_{81} & A_{82} & A_{83} & A_{84} \end{pmatrix}$$

El eje de flexión para nuestra viga se ubicaría a $d/2$ paralela a b , luego se tuvo que conocer el número de grupos de cabillas que van a realizar un momento con respecto al eje de flexión (W) para este caso $W=8$ y el número de grupos de cabillas ubicadas de manera perpendicular a este eje de flexión $Z=4$.

Se procede a calcular el área del acero de los grupos de cabillas que realizan un momento con respecto al eje de flexión, de esta manera que generara una matriz de una fila y 8 columnas para este caso, se planteó que la viga planteada tiene diámetros de cabillas iguales si los diámetros son iguales se pudo expresar el área por la traspuesta de la matriz del área debido al espacio como:

Área por grupo de cabillas =

$$(4. A_{11} \quad 2. A_{12} \quad 2. A_{31} \quad 2. A_{41} \quad 2. A_{51} \quad 2. A_{61} \quad 2. A_{71} \quad 4. A_{81})^t$$

Se pudo calcular el total del acero de las cabillas que están presentes dentro de la viga, esto se calcula sumando el área de los grupos de cabillas que momentan con respecto al eje de flexión.

Área de la las cabillas A_g

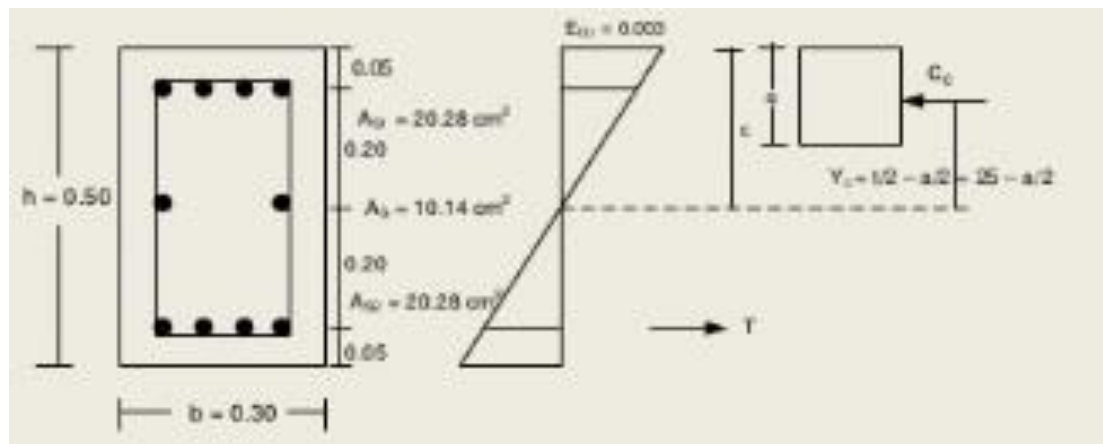
$$A_g =$$

$$4. A_{11} + 2. A_{12} + 2. A_{31} + 2. A_{41} + 2. A_{51} + 2. A_{61} + 2. A_{71} + 4. A_{81}$$

Conseguido la cantidad de acero inmerso en la viga se procedió a calcular la cuantía.

$$W = \frac{A_g}{b.d}$$

Luego se calculó la distancia d_n que para este cálculo es la distancia que existe entre la fibra inferior pues según el modelo pretensado propuesto es donde se generara más compresión y cada una de las distancias donde se encuentra el acero de refuerzo longitudinal con respecto a la fibra que experimenta más compresión en el concreto, un comportamiento similar al que se presenta en nuestro modelo se observa en la siguiente figura sobre una columna el diagrama presenta la deformación unitaria máxima del concreto antes presentado como (0,003).



Por lo tanto para el modelo pretensado propuesto con ocho (08) áreas de cabillas se presentaron ocho (08) d_n porque ningún acero pasa exactamente por el eje de flexión y por lo tanto todos generan un momento, para el primer " d_n " se puede calcular directamente ya que es igual al recubrimiento en concreto que se usa en la viga más el diámetro de la cabilla entre 2.

$$d_1 = \text{recubrimiento} + \frac{a_{81}}{2}$$

Para calcular las otras distancias “d_n” se determinó en función de que las cabillas que se encuentran cada una a la misma distancia por lo tanto para calcular cada una de las “d_n” se pudo usar a la altura representada como solo “d” restarle el doble de la distancia d₁ que considera el recubrimiento y el diámetro de la cabilla para dejar solo los espaciamentos y dividirlo entre la cantidad de espacios para este caso son siete (07) de esta manera se encontró la distancia entre cada cabilla:

$$\text{Distancia entre cada cabilla} = \frac{d - 2d_1}{7}$$

Ahora para calcular cada uno de los “d_n” se sumó la distancia de separación más la distancia de la cabilla anterior por lo tanto:

$$d_2 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_1$$

$$d_8 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_7$$

$$d_3 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_2$$

$$d_4 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_3$$

$$d_5 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_4$$

$$d_6 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_5$$

$$d_7 = \frac{d - 2d_1}{7} + d_6$$

Una vez conseguido los valores de “d_n” armamos una matriz que muestre cada una de las distancias correspondientes.

$$\text{Distancia desde la fibra a compresión} = \begin{pmatrix} d_8 \\ d_7 \\ d_6 \\ d_5 \\ d_4 \\ d_3 \\ d_2 \\ d_1 \end{pmatrix}$$

Luego calculamos la fuerza máxima que va a soportar la viga, el primer punto que se encontró en el diagrama de interacción según el código ACI 318 bajo un caso de compresión pura, para el modelo de pretensado propuesto:

$$P_0 = 0,85 \cdot f'_c \cdot (b \cdot d - A_g) + A_g \cdot F_y$$

$$\phi P_{MAX} = 0,80 \cdot 0,65 \cdot P_0$$

Una vez obtenido el valor a una compresión máxima se procedió a calcular los otros puntos que interactúan en el diagrama de interacción que serían los puntos que trabajan a compresión y flexión.

Se tomó en cuenta que la deformación tanto como en el concreto y el acero es directamente proporcional a la distancia que tiene respecto al eje neutro, esto es aplicable a cualquier tipo de carga como menciona Charles S. Whitney, presente en los cálculos hasta ahora.

SE calculó el B_1 que según norma valdría $B_1 = 1,05 - \frac{f'_c}{1400}$ que $0,65 < B_1 < 0,85$ y una vez obtenido el valor de B_1 podemos calcular $c(a)$ como $C(a) = \frac{a}{B_1}$ ahora todo queda en función de “a” para obtener los respectivos puntos en el diagrama siendo “a” la altura del bloque de donde se generan las compresiones. En la sección inferior que está a compresión considera que la deformación unitaria es de 0,003 a una distancia de “c” que es la distancia del eje neutro a la fibra inferior, por lo tanto para conocer la

deformación que corresponde al primer grupo de cabillas, como se forma un triángulo podemos igualar por relación de triángulos y decir que:

$$\frac{0,003}{C} = \frac{\epsilon_1}{C - d_1}$$

Se despejó de esta ecuación a ϵ_1 y se consiguió la deformación unitaria en el conjunto de cabillas, de esta manera y conociendo todos los valores mediante una relación de triángulo se pudo obtener los valores de las deformaciones unitarias en cada conjunto de cabilla, si utilizamos este modelo para cada caso hay que tener en cuenta que las deformaciones positivas son a compresión y las negativas son a tracción esto se debe a los valores de "C" pues del lado de la compresión la expresión " $C - d_n$ " siempre será positivo porque $d_n < c$, al contrario del caso en las fibras superiores al eje neutro que están a tracción para ese caso $d_n > c$ por lo tanto sus resultados serán negativos.

Dependiendo de los valores obtenidos calculando las deformaciones unitarias según la norma ACI 318-14 habría que considerar diferentes casos de factores de minoración teniendo presente casos a donde predomina la compresión, con tracción o donde domina la tracción.

Tabla 21.2.2 — Factor de reducción de resistencia, ϕ , para momento, fuerza axial, o combinación de momento y fuerza axial

Deformación unitaria neta a tracción, ϵ_t	Clasificación	ϕ			
		Tipo de refuerzo transversal			
		Espirales que cumplen con 25.7.3	TM	Otro	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Controlada por compresión	0.75	(a)	0.65	(b)
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0.005$	Transición ⁽¹⁾	$0.75 + 0.125 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	(c)	$0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0.005 - \epsilon_{ty})}$	(d)
$\epsilon_t \geq 0.005$	Controlada por tracción	0.90	(e)	0.90	(f)

⁽¹⁾ Para las secciones clasificadas como de transición, se permite usar el valor de ϕ correspondiente a secciones controladas por compresión.

Figura 11. Tabla 21.2.2 de la norma ACI 318-14

Fuente: norma ACI 318-14

En la tabla 21.2.2 de la norma ACI 318-14 se observó que los factores de reducción de resistencia dependen de la deformación unitaria producida y con ella obtenemos el valor correspondiente.

Se procedió a calcular la capacidad axial de la columna minorada, esto se realiza mediante una sumatoria de fuerzas, representada por las fuerzas de cada grupo de cabilla a tracción y a compresión, el bloque de compresión que explica Charles S. Whitney se calcula como $0.85.f'c$. pero dado que es una sumatoria de fuerzas todas han de estar representadas en unidades de fuerzas por lo tanto sería $F=0.85.f'c.(b.a)$.

SE determinó la capacidad axial minorada tomando en cuenta el concreto y el acero, tomamos un ϕ según la tabla 21.2.2 y se multiplicó por $0.85.f'c.(b.a)$ que es la resistencia del bloque de compresión que aporta el concreto, más el aporte que da el acero en función de “a” multiplicando cada respectiva área de cada grupo de cabillas por el esfuerzo generado multiplicando el módulo de elasticidad del acero por la deformación unitaria

generada en cada punto a analizar, este esfuerzo no debe superar el F_y del acero que se vaya a utilizar, todas estas fuerzas generadas por el concreto y el acero como hablamos de una capacidad minorada deben ir multiplicadas por un factor de minoración, a la hora del cálculo se debe considerar que las fuerzas calculadas no deben ser mayor a la fuerza de compresión máxima (ϕP_{MAX}) expresado de otra manera $\phi P(a) < \phi P_{MAX}$

$$\phi P(a) = \phi \cdot (0,85f'c \cdot b \cdot a + \sum p_{(a)})$$

Una vez que se tuvo la fuerza de compresión de la viga minorada, se calculó el momento resistente minorado este se calcula haciendo momento en el eje de flexión donde no se ubican las fuerzas de los aceros multiplicando por su respectiva distancia a su vez multiplicado por su respectivo valor de minoración de resistencia:

$$\phi \mu_{r(a)} = \phi \cdot (0,85f'c \cdot b \cdot a \cdot (\frac{d}{2} - \frac{a}{2}) + \sum p_{(a)} \cdot (\frac{h}{2} - d_n))$$

Esta expresión hace referencia a un sistema de positividad de momento horario positivo, donde $p_{(a)}$ es la fuerza producida por el acero y $0,85f'c \cdot (b \cdot a)$ es la fuerza producida para el concreto ambas en función de “a”, donde $(\frac{h}{2} - d_n)$ representa la distancia de esa fuerza, o llamada de otra forma el brazo que origina el momento para el acero y $(\frac{d}{2} - \frac{a}{2})$ representa el brazo del concreto, quedando así expresado el aporte de momento producto del concreto y el acero. Una vez expresadas las funciones solo queda calcular los valores que adquiere $\phi P(a)$ y los momentos resistentes $\phi \mu_{r(a)}$ ambos respecto a la distancia “a” se representó en una gráfica donde el eje de las abscisas representó el momento resistente minorado y el eje de las ordenadas representó la fuerza de compresión minorada de la viga.

ES importante señalar que, generando un diagrama de interacción cuyo eje de flexibilidad se encuentre en la mitad de la altura las distancias circunstanciales usadas en el cálculo son las de las de los grupos de cabillas ubicadas de manera vertical, esto expone que las distancias horizontales entre cabilla y cabilla no representa un efecto significativo en el diagrama de interacción quien expone el rango de los tipos de fallas según el diámetro de la cabilla y la distancia vertical de separación, para conseguir un resultado que exponga de manera numérica y rápida, se calculó dos diagrama de interacción para dos secciones transversales, en cuyas propuestas de distribución de acero longitudinal varía únicamente la distancia de separación horizontal de las cabillas inferiores.

En la siguiente figura muestra una viga que actúa a compresión de 80cmx40cm con 18 cabillas, se observó en la distancia horizontal, que podría repercutir en el diseño del acero activo secundario del modelo propuesto, la separación es de 0.125m entre cabilla y cabilla horizontal (12,5cm).

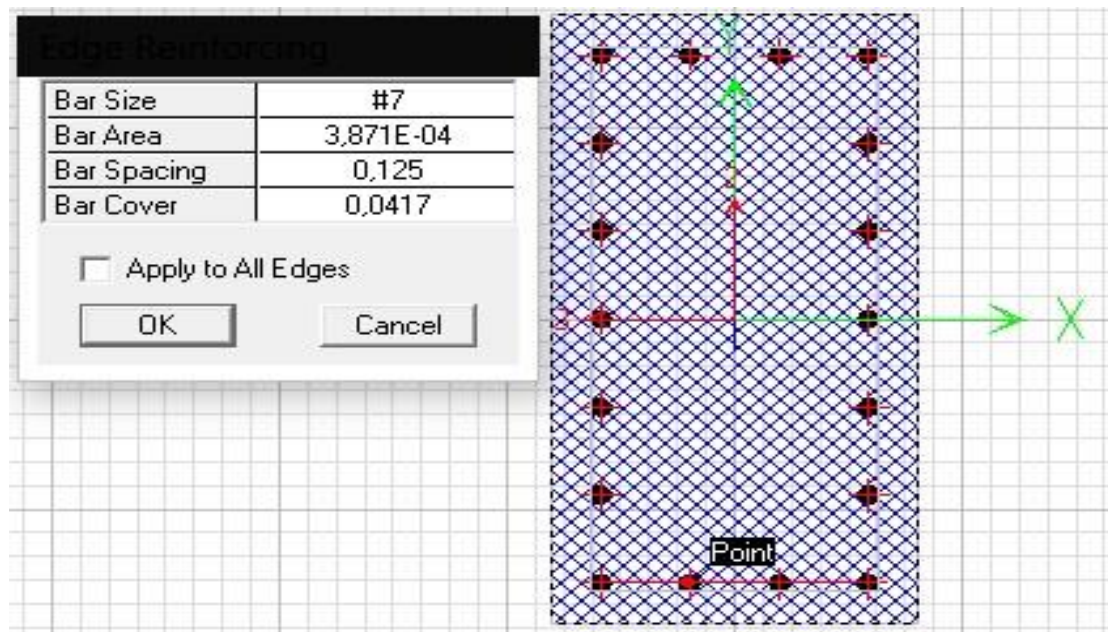


Figura 12. Diseño propio sección transversal viga 1

Para este diseño 1 de la viga que actúa a compresión se presentó una primera distancia entre las cabillas inferiores, las cabillas en cada punto son de 7/8", no se variaran los respectivos recubrimientos muestra el primer diagrama de la primera sección transversal

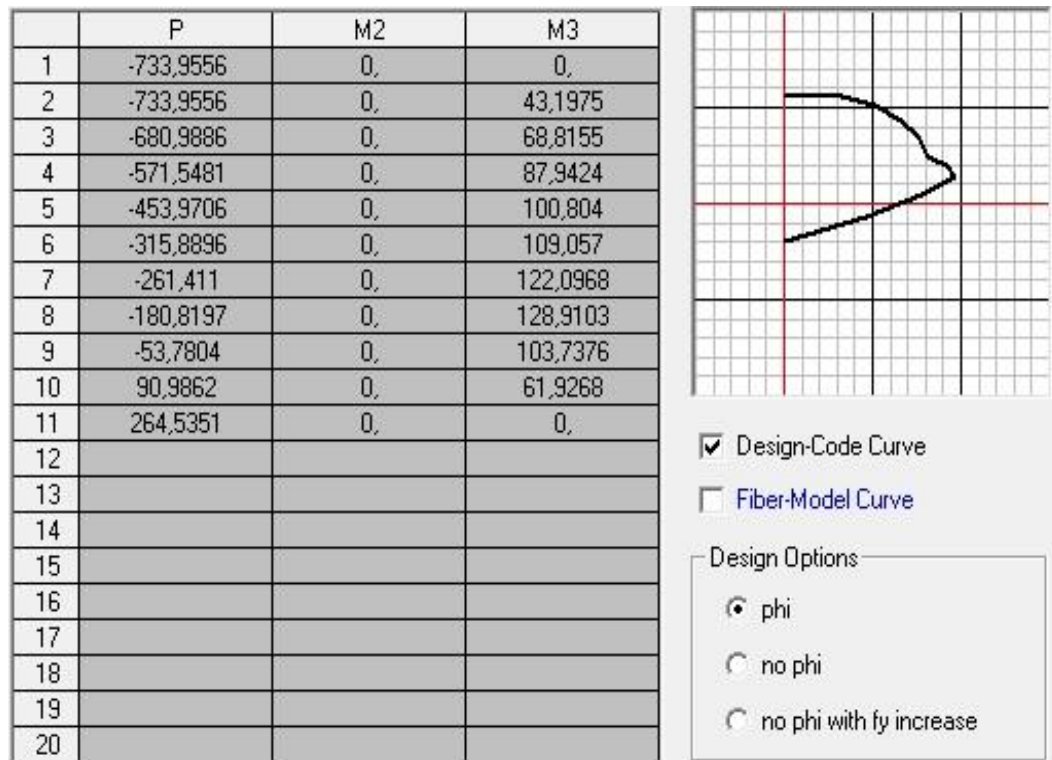


Figura 13. Diseño propio, diagrama interacción viga 1

Se observó diversos valores de P(a) y M(a) antes mencionados, conociendo esto ahora calcularemos una sección transversal para una viga que actúa a compresión 2 sin variar el diámetro que representan las cabillas, el recubrimiento de ambos lados de la sección, los espaciamientos verticales, la resistencia del concreto, las dimensiones de la sección transversal, el módulo de elasticidad y el número de cabillas a utilizar, la única variación será la distancia que existe entre las cabillas de la fila inferior, de esta manera se observa si cambia el comportamiento el diagrama de interacción con respecto a la primera sección.

La distancia entre las cabillas inferiores la disminuimos de 0,125 a 0,1 entre cabilla y cabilla de esta manera obtuvo la viga a compresión número dos expuesta en la siguiente imagen.

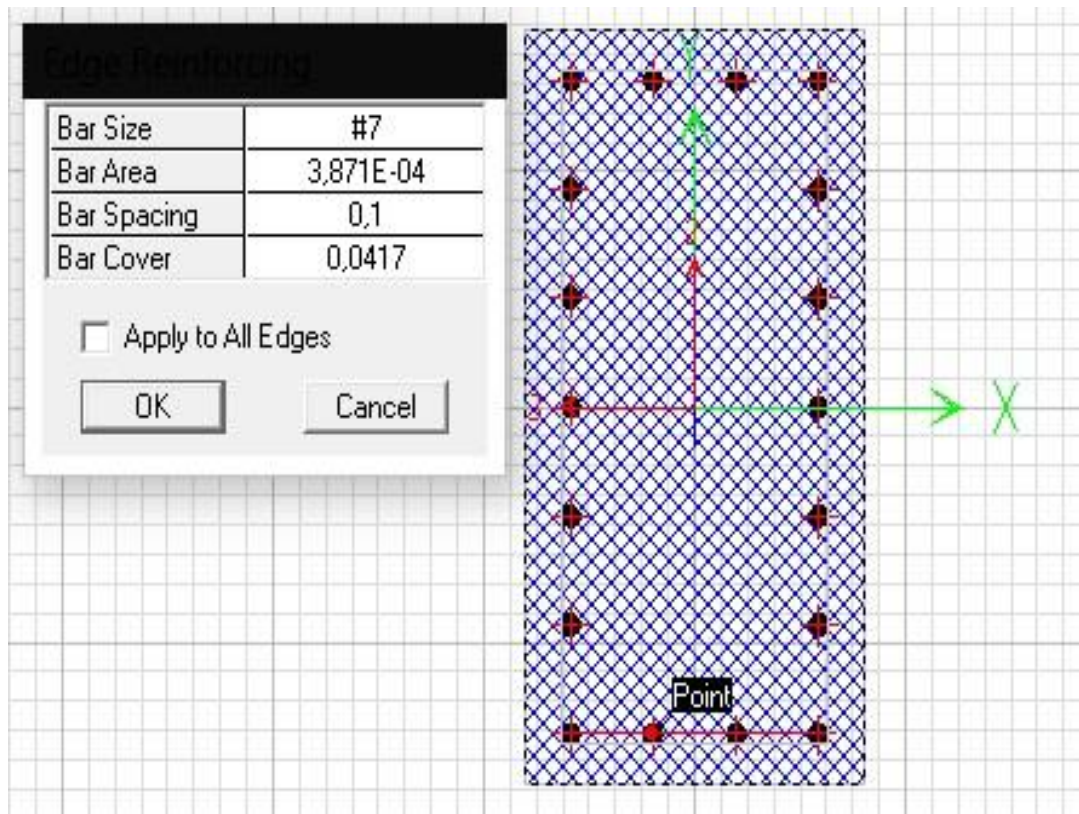


Figura 14. Diseño propio, sección transversal viga 2

El comportamiento que tendría con una variación de esta distancia entre las cabillas inferiores es importante pues esta distancia dependerá del tendón secundario que irá entre el par de cabillas centrales, por este motivo el número de cabillas que irá en la parte inferior de la viga debe ser un número par, pues el tendón secundario debe pasar por el eje de simetría vertical para encontrarse con el tendón principal, para cumplir con el requerimiento de acero en la fibra inferior se pudo jugar con dos variables, el diámetro de la cabilla y la distribución mientras que dicha distribución no

intercepte el acero activo cambiando el comportamiento que presentaría este.

El diagrama de interacción de la sección transversal de la viga a compresión numero 2 utilizado el software de cálculo estructural sap2000v14 arrojo el siguiente resultado.

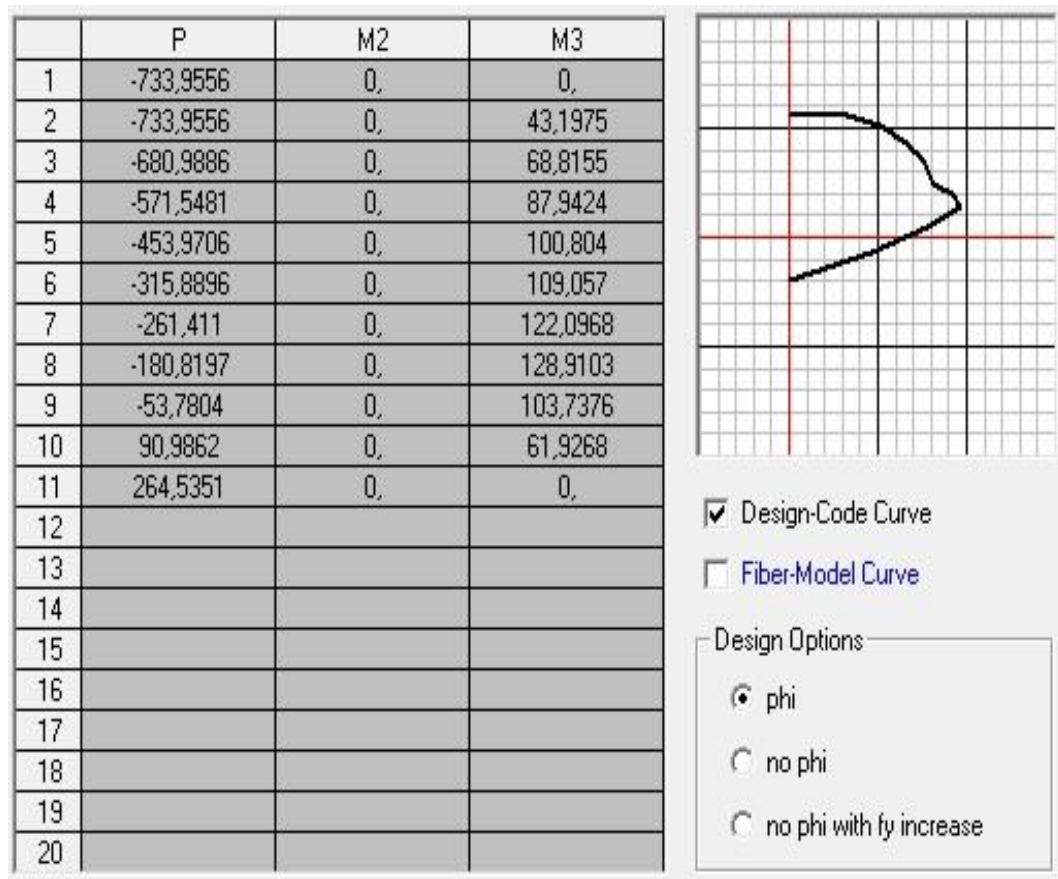


Figura 15. Diseño propio, diagrama de interacción viga 2

Se apreció que no existe una variación en el comportamiento del diagrama de interacción al variar la distancia de separación de manera importante, ya que los resultados arrojados por el programa son iguales tanto como para la viga a compresión número 1 como para la viga a compresión número 2, esto es significativo ya que, da la opción de variar la distancia entre las cabillas

inferiores para ubicar los tendones secundarios y que estos no se intercepten con las cabillas inferiores.

Existen diferentes factores a tomar en cuenta en este nuevo modelo de pretensado, diversos efectos que han cambiado conjunto a las definiciones de los materiales expresados en las diferentes norma observando su comportamiento, además la variación de la tracción y compresión en sus tres etapas de construcción, transporte y puesta en servicio en un elemento pre-comprimido, hace que se considere todo lo concerniente al comportamiento que tendrá, más aun si es un diseño nuevo.

Todos los modelos actuales pre-comprimidos están diseñados para no originar fisuras que se presenten cuando el elemento este a tracción, dicho esto es clara que la solución para esto es aumentar la resistencia del concreto (f'_c), si se realiza un ensayo y aumentamos progresivamente a esfuerzos de compresión hasta el punto en que falla la probeta de concreto se observa que desde el comienzo forma una curva hasta el punto de falla como muestra la imagen (16)

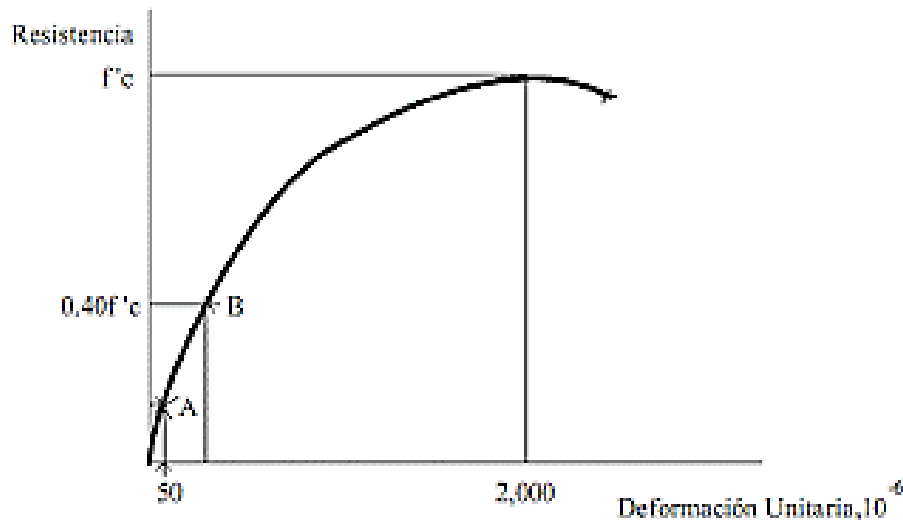


Figura 16. Curva de deformación concreto y puntos según la ASTM C-469

Claro que de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM c-469 menciona que para obtener el valor de la elasticidad del concreto se debe calcular la ecuación de la recta formada por los puntos “A” y “B” para cuestión de diseño y de esta manera obtener el rango elástico como muestra la figura (17)

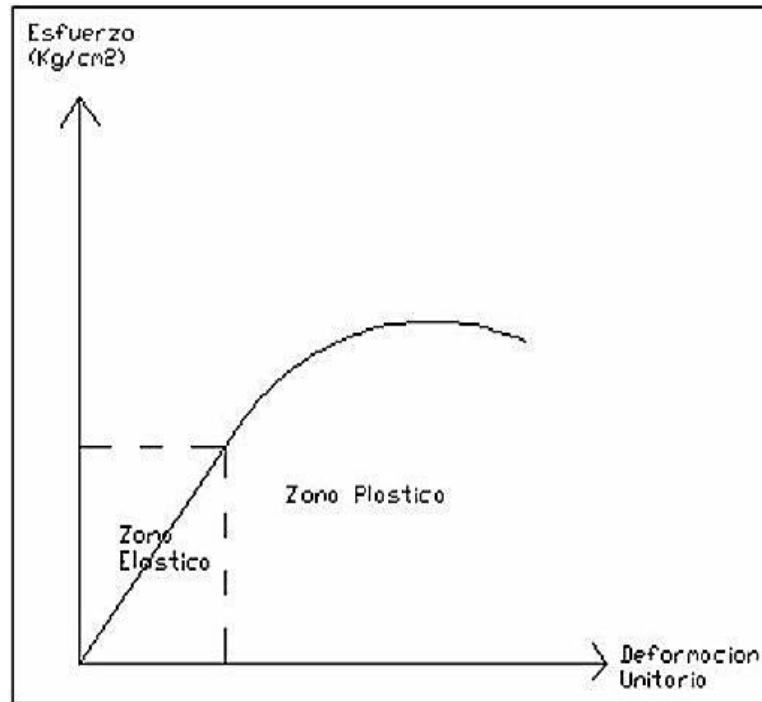


Figura 1. Grafica Esfuerzo - Deformación

Figura 17. Resultado forzando la recta, pendiente= módulo de Young

Sin embargo, este no es su comportamiento, sino una aproximación. Observando la figura 16, se deduce que el concreto no se puede definir como un elemento cuyo comportamiento sea completamente elástico pues la pendiente de la recta en la zona de elasticidad fue forzada levemente para que sea igual al módulo de elasticidad, si se guía por la gráfica obtenida en los ensayos en la probeta de concreto, se puede deducir que el concreto tiende a tener un comportamiento como elemento visco elástico no lineal,

debido a que, desde un punto a otro cercano el comportamiento es cercano a la recta de elasticidad, sin embargo no es igual.

Esto conlleva a tomar en cuenta a la hora del diseño de la resistencia del concreto y la excentricidad del tendón, ya que hay varios efectos que dependen de la variación de la carga a la que se somete el elemento precomprimido desde su construcción hasta la puesta en servicio, el comportamiento de un elemento visco elástico no lineal como lo muestra la figura () hace que se tome en cuenta el efecto Bauschinger como explica en el libro el efecto Bauschinger y modelo de histéresis de Takeda, donde se define este efecto como la respuesta de un material a una acción mecánica no sólo depende del estado actual de tensión que soporta, sino también de la historia de deformaciones plásticas que ha sufrido.

El fenómeno fue descubierto por Bauschinger en 1881 al observar que, en determinados metales sometidos a cargas de compresión precedidas de una deformación plástica aplicada mediante una carga de tracción superior al límite elástico del material, el régimen plástico se iniciaba a tensiones inferiores a las obtenidas durante la aplicación de la tracción, además la deformación plástica producía una reducción del límite elástico en compresión. Desde entonces, a dicho fenómeno se le denomina efecto Bauschinger.

El efecto Bauschinger (así denominado en homenaje al matemático e ingeniero alemán Johann Bauschinger) consiste en el hecho de que al deformar un metal en una dirección hasta que se ha sobrepasado su límite de elasticidad, y deformándolo después en la dirección contraria, su límite de proporcionalidad en esta última dirección es menor. El motivo para que esto ocurra, entre otros, son las imperfecciones del material.

Expandiendo la definición este efecto ocurre en elementos visco elástico como para este caso el concreto que se someterá a una carga variable desde un punto de solo tracción en su fibra superior al pasar a un estado de compresión pura cuando se ponga en servicio, la acción de pasar de un

estado de tracción a compresión si esta tracción supera el límite elástico del concreto de la viga pretensada propuesta a pesar de no originar fisura no tendrá el mismo comportamiento a compresión como si nunca hubiera experimentado la tracción al comienzo.

Este comportamiento se puede generar o no dependiendo de factores como la excentricidad, se debe encontrar para usar el modelo propuesto pretensado una excentricidad que no genere una tracción importante para sobre pasar el límite elástico y que entre de manera excesiva en plasticidad el elemento, y de ser así que la disminución de la resistencia a compresión del concreto que es muy superior a la fuerza de tracción no se vea tan comprometida en un sentido que la fuerza de compresión dada a la que se le someterá luego pueda ser soportada.

Al observar la figura 18 el comportamiento que presenta el concreto precomprimido si la carga excede el límite plástico se observa al dejar de aplicar la carga aún permanece con un desplazamiento permanente debido a que entro en la zona de plasticidad, nótese también que la pendiente de las rectas correspondientes a la zona elástica también varía, la pendiente al aplicarle la primera fuerza es mayor a la pendiente de la recta después de llegar a un límite plástico y vuelve a "0" esto evidencia que el comportamiento que tendrá luego a compresión se verá claramente afectada al someterla a compresión.

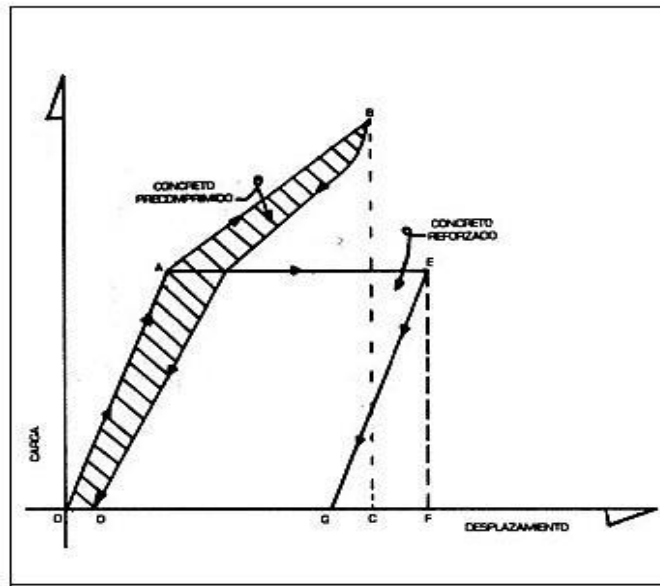


Figura 18. Efecto Bauschinger propuesta de takeda

La forma del elemento estructural que se propone en este trabajo de investigación plantea la siguiente interrogante, ¿por qué no usar un modelo postensado en vez de uno pretensado? Podría tener diversas ventajas sin el uso de la lechada para crear fricción y encontrando un modo de proteger los torones secundarios y el torón principal del óxido.

La fuerza que se transmite a través del sistema se realiza por medio de los torones secundarios por lo tanto al pasar el tiempo y aparezcan perdidas se podría volver a cargar al sistema interno del acero activo sin necesidad de extraer el elemento postensado del lugar donde se colocó, para ello se tendría que tomar en cuenta que la vaina a utilizar tenga salientes por donde se introducirán los tendones secundarios y tomar en cuenta los efectos que se producirían, tendones al pasar un tiempo sometido a una carga de tracción pasa por un proceso de relajación que es una de las causas por las cuales se generan las perdidas llamadas perdidas diferidas del sistema, ahora bien si tomamos en cuenta esto se debe a que el material ya presenta deformaciones permanentes y que por lo tanto si liberamos la fuerza del

tensado en todos los tendones después de mucho tiempo no volverá a su forma original pese a que no se sobre llevo usando la fuerza por encima del límite elástico.

Se supuso que la pieza está puesta en servicio y luego de una cantidad considerable de tiempo para la vida útil de una estructura se decide volver a cargar el sistema a través de sus tendones secundarios como se observa en la figura 19.

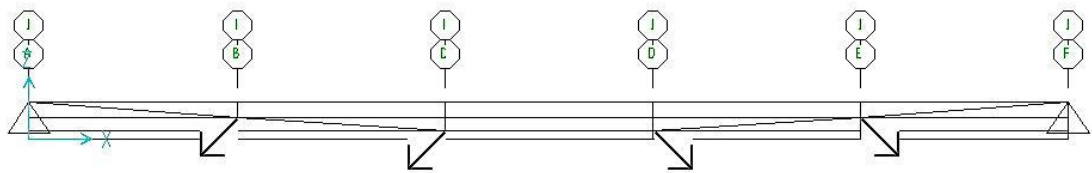


Figura 19. Fuerzas aplicadas en los tendones secundarios

Fuente: Franco (2017)

Para este caso se tomó en cuenta el efecto de histéresis que menciona Takeda en un modelo que considera la variación de rigidez (K_u) posfluencia, mencionando la diferencia entre la rigidez de descarga y la degradación de rigidez cuando se vuelve a cargar el sistema, al intentar volver a cargar el sistema con tracción para que funcione de manera óptima en servicio, se supuso que se ancló un tendón secundario a la prensa, este se descargaría pero ya presentaría una deformación permanente esto involucra una variación en su rigidez pese a que no se sobre paso el limite elástico sino más bien por el paso del tiempo, observemos en la figura (20) que se muestra a continuación como están directamente involucrados la deformación unitaria cuando se deja de aplicar el esfuerzo y la rigidez.

Si se desea tomar en cuenta un modelo postensado para tener acceso a volver a cargar a tracción los tendones se debe considerar la variación de la rigidez de los tendones, recordemos que las deformaciones axiales

dependen de la elasticidad del elemento y que a su vez la energía potencial elástica depende de dicha deformación, todo está relacionado con la elasticidad del miembro y si esta varia, varia el comportamiento del acero activo si no se reemplaza.

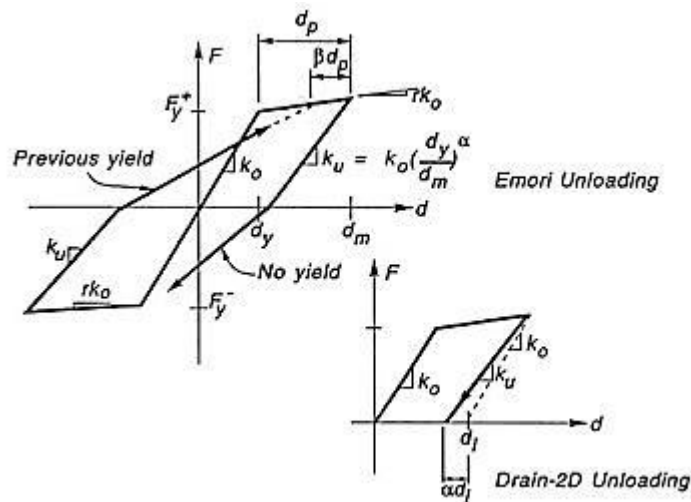


Figura 20. Efecto de histéresis modelo de Takeda

Este comportamiento se acentúa en la norma COVENIN mindurm C-11 FIGURA C-2.2.3 EJEMPLOS DE COMPORTAMIENTOS HISTERÉTICOS figura (21), se observa cómo afecta el la variación de las cargas en su sistema cuando se sobre pasa el limite elástico entrando en plasticidad, y de cómo esta afecta a la rigidez presente en el elemento estructural.

Tomando en cuenta este efecto y lo que puede originar para un modelo pos tensado del modelo que se propone en este proyecto de grado hay que considerar la histéresis de querer aprovechar el hecho de que la energía potencial elástica se trasmite a través de los tendones secundarios y volver a cargar la viga con una fuerza de tracción igual a la perdida de energía que sufrió debido a la relajación del tendón con el paso del tiempo sin tener que quitar la viga de su ubicación en uso, claro este hecho dependerá

enteramente de si la degradación de la elasticidad en el acero activo de la viga fue excesivo y no afectara su comportamiento al cargarla nuevamente.

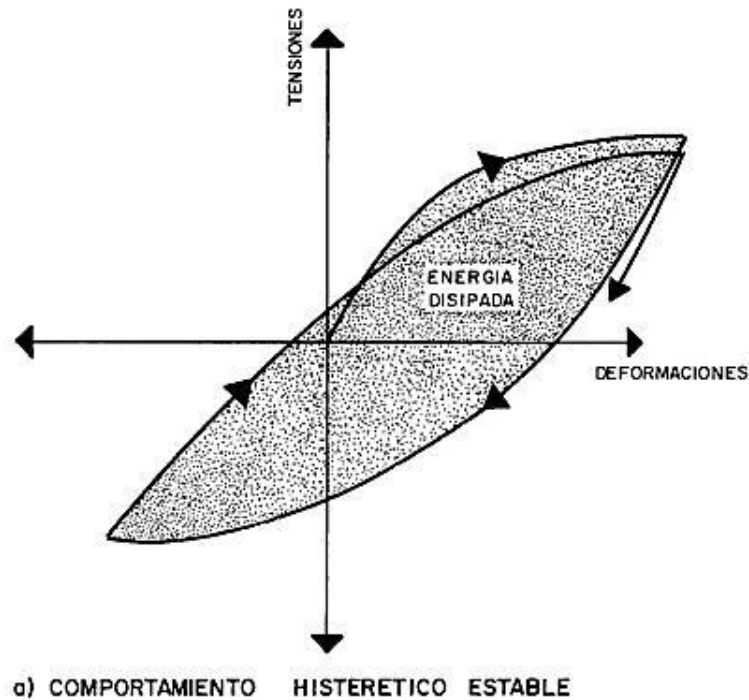


Figura 21. FIGURA C-2.2.3COVENIN 1573:2006

Otro aspecto que conviene analizar para el comportamiento de la viga pretensada propuesta es la variación de temperatura, el comportamiento que tendría el acero activo y el concreto del que está hecho el elemento estructural. Para ello se debe estudiar los coeficientes de dilatación térmica en ambos componentes

La norma COVENIN 1573:2006 F.2.3 menciona el coeficiente de dilatación térmica como constante “Los aceros deberán cumplir con lo establecido en el Artículo 3.6 de la presente Norma. El recubrimiento mínimo será el establecido para losas y placas vaciadas sobre el terreno en la Tabla 7.2.4 de la presente Norma. Como coeficiente de dilatación térmica para el acero se usará un valor constante de $\alpha = 9 \times 10^{-6} \text{ m-m/}^{\circ}\text{C}$ ” y también se plantea en el siguiente párrafo de la misma norma el coeficiente de dilatación térmica

del concreto que es variado dependiendo del material con el que se le construya “El coeficiente de dilatación térmica del concreto, α_t , varía según el tipo de agregado grueso que se emplee en la mezcla. Cuando se desconoce el tipo de agregado grueso se supondrá $12 \text{ m-m}\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Para los demás casos, se aplicarán los valores de la Tabla F-2.3”.

TABLA F-2.3 COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación térmica $\text{m-m}\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cuarcita	11,89
Arenisca	11,70
Grava	10,80
Granito	9,54
Basalto	8,64
Caliza	6,84

Figura 22. Tabla F-2.3 COVENIN 1573:2006

Se puede apreciar que ambos valores de coeficientes de dilatación térmica son similares y que para variaciones de temperatura bajas no representaría ningún problema, para los ingenieros civiles de en Venezuela en los elementos de concreto armado con una variación leve de temperatura no es necesario tomar en cuenta la diferencia de ambos coeficientes, tanto que la norma admite que se utilice el mismo para ambos materiales. En cuanto a el concreto pretensado propuesto una variación de temperatura leve no tendría un impacto significativo en el comportamiento entre el acero activo, pasivo y el concreto con el que está formado, observamos la figura (23) se pudo observar los esfuerzos que se toman en cuenta en un elemento pretensado.

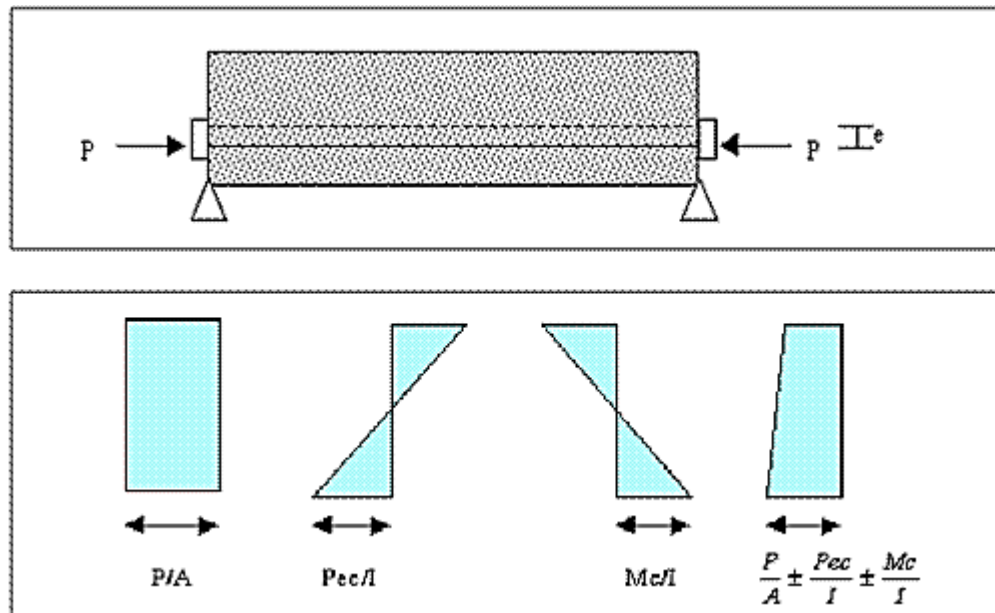


Figura23. Esfuerzos transversales de una viga pretensada

En el caso de que si exista una variación considerable de temperatura donde podría presentarse una deformación, no importaría para el comportamiento ya que el alargamiento por igual del acero y el concreto no repercutirían en la sumatoria de los diagramas de esfuerzo axial, pero se presentaría una deformación de temperatura por esfuerzo axial que habría que considerar.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los tipos de vigas pre comprimidas existentes y la viga pretensada propuesta

	VIGA PRETENSADA NORMAL	VIGA POSTENSADA	VIGA PRETENSADA PROPUESTA
Adherencia entre el concreto y el acero activo	Dado que hay un contacto directo entre los dos materiales tiene buena adherencia.	No presenta un contacto directo entre el acero activo y el concreto.	Sus tendones secundarios y el primario están bien adheridos al concreto de la viga.
Perdida de energía al construir el elemento.	No presenta perdidas de manera inmediata.	Al soltar la prensa hidráulica presenta una pérdida parcial de energía	No presenta perdidas inmediatas por su buena adherencia al concreto.
Pérdidas durante un tiempo prolongado.	Presenta perdidas por relajación del acero y la fluencia lenta	Presenta perdidas por relajación del acero y la fluencia lenta.	Presenta perdidas por relajación del acero y la fluencia lenta.
Forma curva en el acero activo opuesta a la deformada de la viga por la carga.	La forma del acero es recta y solo presenta una única excentricidad.	Presenta una catenaria que es formada basándose en la deformación causada por la carga.	Pese a ser pretensado sus tendones secundarios no admiten que adquiera una forma recta si no curva.
Óptima distribución de energía de pre esfuerzo.	Su energía se transmite de manera directa de la prensa al tendón principal.	Su energía se transmite de manera directa de la prensa al tendón principal.	La energía se transmite en paquetes más pequeños a través de los tendones secundarios

Límite del tensado.	Su limitación es que la fuerza requerida no puede exceder la fuerza de la prensa.	Su limitación es que la fuerza requerida no puede exceder la fuerza de la prensa.	Si la energía requerida es mayor a la disponible se aumenta el número de tendones secundarios.
Uso de anclajes.	No los utiliza debido a su tiene adherencia con el concreto.	Requiere de anclajes para transmitir la fuerza.	No los utiliza debido a su tiene adherencia con el concreto.
Uso de lechada.	No requiere este material.	Requiere este material para evitar oxido y tener adherencia.	No requiere este material.
Construcción en sitio.	Su construcción debe ser en un lugar controlado.	Su construcción puede ser en sitio.	Su construcción debe ser en un lugar controlado.
Menor coste por el tensado.	Requiere maquinaria de alta potencia y costo.	Requiere maquinaria de alta potencia y costo.	Se puede generar con diferentes tipos de prensa de costos variables.

Conclusión

Los diferentes diseños de modelos pre-comprimidos (pos-tensado, pretensados) más antiguos son contemporáneos, presentando variaciones leves como la excentricidad en el modelo pretensado de Eugène Freyssinet, pese a que los modelos actuales pueden cumplir con la demanda en el campo de la ingeniería y arquitectura siempre hay que tener en mente el desarrollo tecnológico, teniendo en mente los diferentes factores que interactúan en la construcción, transporte y puesta en servicio de un elemento pretensado, la actualización de las tecnologías son importantes para el desarrollo de un país en varios aspectos, por ello crear un nuevo modelo pre-comprimido es un aporte importante, pese a que no se logró probarlo de manera práctica y construir una viga pretensada como se plantea en éste, sí se logró realizar una propuesta de un diseño diferente a los ya existentes.

Se logró modelar mediante métodos estructurales y usando un software de cálculo, estimar el comportamiento esperado que tendría la viga, observando cómo se distribuye la energía desde los tendones secundarios que ayudan a cargar el tendón principal con paquetes de energía potencial elástica para así valiéndonos a su vez de la geometría disminuir la potencia que requeriría la prensa para causar la tensión “T” requerida por el sistema para contrarrestar los esfuerzos en la fibra inferior de concreto utilizando otra forma diferente a las actualmente usadas, de esta manera se plantea un método de construcción que podría ser más económico dependiendo de la maquinaria a utilizar para construir el elemento estructural pre-comprimido. Queda pendiente construir el elemento estructural para observar su comportamiento bajo diferentes ensayos.

Los cálculos arrojaron que se puede disminuir la cantidad de energía potencial elástica generada por la prensa, está a su vez es directamente proporcional a la fuerza de tensión en cada tendón secundario y al número

de tendones secundarios que se utilicen para carga el tendón principal, si solo consideramos este hecho es evidente que tendrá un impacto en las nuevas empresas de elementos pre-comprimidos pues las ganancias producidas por este tipo de elementos requiere una inversión inicial para cubrir los costos de producción, uno de los gastos más importantes es el costo de la prensa que depende del nivel de esfuerzo que esta pueda generar.

Estudiando los tipos de falla orientado a un tipo de falla dúctil que puede presentar en el elemento estructural se llegó a la conclusión de que se puede variar la distancia que impediría el comportamiento eficiente de los tendones secundarios sin alterar el diagrama de interacción, las dimensiones de la sección transversal, la cantidad de acero de refuerzo, la distribución de las cabillas, el módulo de Young del acero, la resistencia del concreto, el tipo de refuerzo transversal utilizado, el recubrimiento y el F_y del acero utilizado son las variables que sumadas a la carga axial que soportara nuestra viga pretensada determinaran el tipo de falla que se espera en la viga pretensada, se planteó con variables de una manera en que el lector observara que la separación entre las cabillas inferiores no repercute y lo podemos variar para la disposición optima de los tendones secundarios en función del eje de flexión expuesto en esta investigación.

Recomendaciones

Considerando la investigación realizada se recomienda plantear la posibilidad de una alternativa destinada a construir un prototipo del diseño propuesto en el presente trabajo, inclinado al estudio más detallado de los diversos comportamientos que tendría la viga pretensada en la realidad, debido a que lo propuesto solo es una proyección del comportamiento que tendría la estructura, para ello se recomiendan las siguientes evaluaciones:

- El diseño del prototipo real destinado a evaluar el comportamiento en las tres etapas de variaciones de carga para observar el comportamiento de este (construcción, transporte, puesta en servicio).
- Se recomienda ensayar el prototipo bajo distintos tipos de esfuerzo de tensión distribuidos entre los tendones secundarios tomando en cuenta cómo afecta la variación del ángulo de inclinación del acero activo secundario.
- Analizar cómo reacciona el elemento estructural pretensado propuesto bajo diferentes acciones de carga.
- Es recomendable, evaluar el comportamiento del elemento estructural pretensado variando los materiales de construcción.
- Como resultado de estos y otros ensayos se permite la elaboración de fórmulas más precisas para futuros diseños de vigas pretensadas con una mejor precisión.

Referencias bibliográficas

- Arias, F. 2006. El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. (5ta Ed).Caracas: Episteme
- Ayarza, E. 1958. El acero de hormigón precomprimido. [Documento en Línea]. Disponible:
<https://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/61191/1/207755>
[Consulta: 03 de septiembre de 2017].
- Bavaresco, A. 1990. "Proceso Metodológico en la investigación". Taller de Litografía Melvin. Caracas. Editorial Mc Graw Hill
- Bañon , L. 2007. Hormigón armado y pretensado: ingeniería técnica de obras públicas.
- Cabañas A. 2008 Concreto presforzado. [Documento en Línea]. Disponible:
<https://es.scribd.com/.../CONCRETO-PRESFORZADO-CABANAS-PEREZ-ANTONIO>. [Consulta: 22 de septiembre de 2017].
- Cardona A, Nigro N, Sonzogni V, Storti M, 2012. Estudio de modelos viscoelásticos y viscoplásticos para creep básico en hormigón. [Documento en Línea]. Disponible:
www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/543/517 [Consulta: 22 de septiembre de 2017].
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. 1999. Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 36.860, diciembre 30, 1999.
- Costales, I. 2012. El pretensado en las estructuras de acero. [Documento en Línea]. Disponible:
www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/543/517 [Consulta: 22 de septiembre de 2017].
- De Castro, A. 2011. Teorías de falla bajo cargas estáticas. [Documento en Línea]. Disponible:
dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf
[Consulta: 03 de septiembre de 2017].

- Felipe O, Palacios O. 2008 Diseño de la combinación más económica de fuerza de presfuerzo y excentricidad para las vigas de concreto presforzado utilizando los diagramas de magnel.
- Giovanni A. 2004. Propuesta para la determinación de la fuerza de pretensado utilizando el método de los intervalos. [Documento en Línea]. Disponible:
servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v11n2/11-2-6.pdf . [Consulta: 12 de septiembre de 2017].
- Hernández E. y Gil, L. 2007. Hormigón armado y pretensadoconcreto reforzado y preesforzado.. . [Documento en Línea]. Disponible:
digibug.ugr.es/bitstream/10481/19708/1/HormigonEstructural.pdf.
[Consulta: 12 de septiembre de 2017].
- Hurtado de Barrera, J. 2008. El Proyecto de investigación. Comprensión holística de la metodología y la investigación. (6ta Ed). Caracas: Ediciones Quiron y Fundación Sipal.
- Lacroix A. Fuentes, R. 1978. Hormigón pretensado: concepción, cálculo, ejecución. [Documento en Línea]. Disponible:
<https://books.google.es/books?id=ycY4hIThyacC>. [Consulta: 03 de septiembre de 2017].
- Pallela, S. y Martins, F. 2006. Metodología de la investigación cuantitativa. (2da Ed.) Caracas: FEDUPEL
- Rodríguez, D. 2013. Manual básico para el diseño de elementos pre fabricados nivel de diseño nd3. Miembros solicitados a flexión y carga axial: columnas. Fondonorma 1753-2006.
- Torres L, Bautista N. 2016. Diseño de prensa hidráulica automática para 300 toneladas con dispositivo de extracción de rodamientos y mesa móvil. [Documento en Línea]. Disponible:
repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/.../1030585577-2016-2-IM.pdf. [Consulta: 03 de septiembre de 2017].

Tovar A, 1990. Concreto precomprimido. [Documento en Línea]. Disponible:
<https://es.scribd.com/doc/68387646/CONCRETO-PRECOMPRIMIDO>.
[Consulta: 03 de septiembre de 2017].

APÉNDICES

Tabla 2. Tabla de notaciones

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
T	Fuerza de tensado en los torones secundarios
θ	Angulo de inclinación por sección de tramo del torón principal.
α	Angulo de inclinación de los torones secundarios respecto a la horizontal.
S_p	Desplazamiento de la viga en un punto producto del peso propio y servicio
S_T	Desplazamiento de la viga en un punto dado producto de los esfuerzo de tensión en los tendones
m	Pendiente de inclinación en los tramos de los torones principales y secundarios
E	Elasticidad del concreto de la viga.
I	Inercia con respecto al eje x
Q	Carga de servicio más peso propio
L	Distancia longitudinal de la viga entre vano y vano ininterrumpida
P	Carga puntual unitaria aplicada a L/2 en el sistema virtual
S_{T1}	Desplazamiento producto del tensión del tendón principal.
S_{T2}	Desplazamiento producto de la tensión del tendón principal
b_n	Corte con el eje “y” con disposición del eje de coordenadas en h/2 para los tendones principales
$P_{(x)}$	Coordenada en “x” de cada intersección entre los torones secundarios y el principal del comienzo de la viga
e	Excentricidad del tendón principal respecto a H/2.

Tabla 1. Tabla de notaciones (Continuación)

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
H	Altura de la viga
n	Número entero.
b	Distancia horizontal de cada tramo
n_T	Número de tramos
T_n	tensión necesaria o requerida dependiendo del número de tramos
T_p	Tensión disponible por el equipo
T_i	tramos a la izquierda de un punto de intersección entre el tendón principal y secundario
μ_{ut}	momento máximo correspondiente al tramo a calcular

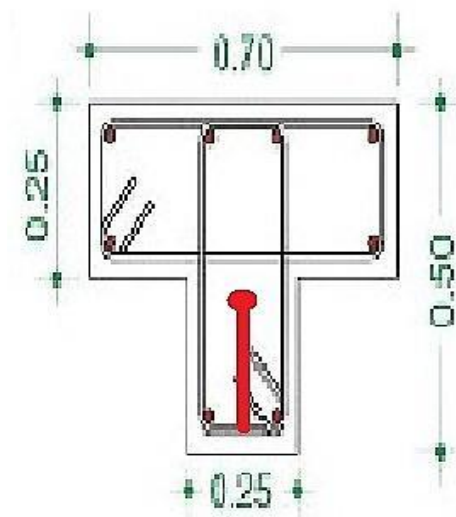
Lista de unidades

Las unidades de medida utilizadas para la elaboración de los cálculos en la presente investigación, corresponden al sistema MKS, (Kilogramo, Metro, Segundo). Es de hacer notar, que si se requiere el uso de otro sistema de medida en alguna variable a determinar, se hará el señalamiento donde corresponda, y la correspondiente conversión al sistema de medida MKS si es necesario. Dichas unidades de medida se especifican en la Tabla 2.

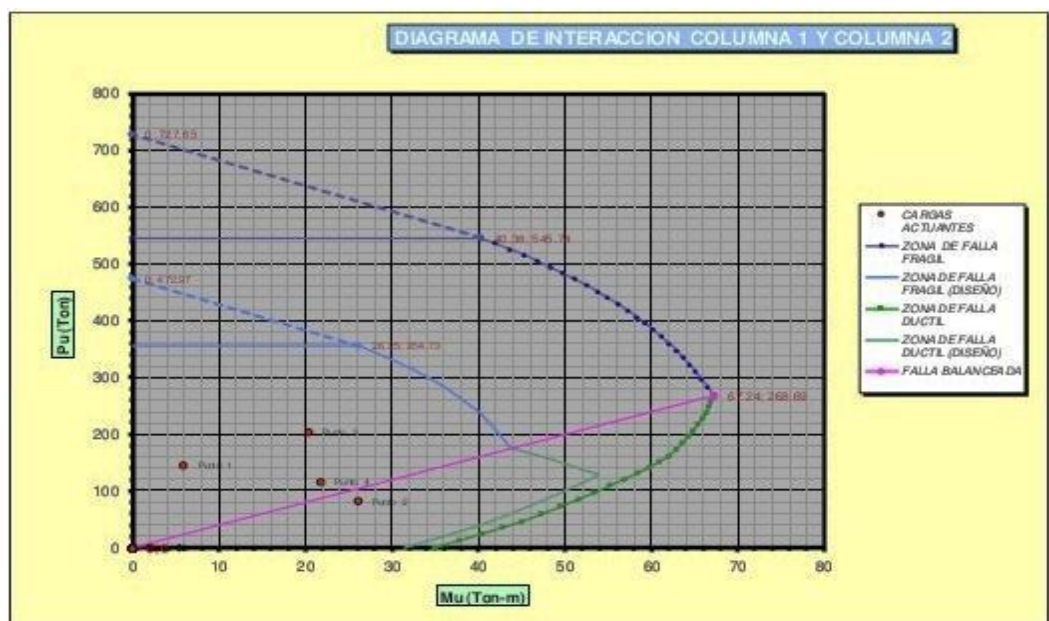
Tabla 3. Sistema de Unidades de Medidas

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA
Distancia	cm, m
Fuerza	Kgf
Área.	cm ²
Inercia	cm ⁴ , m ⁴
Elasticidad	Kgf/cm ⁴ , Kgf/m ⁴
Ángulo	° (Grados sexagesimales)
Momento	Kgf.m

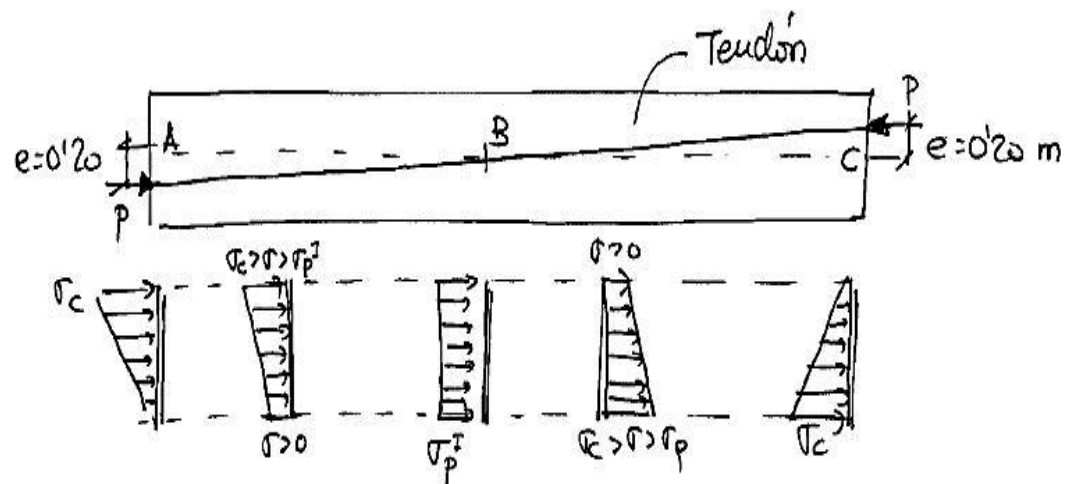
Anexos



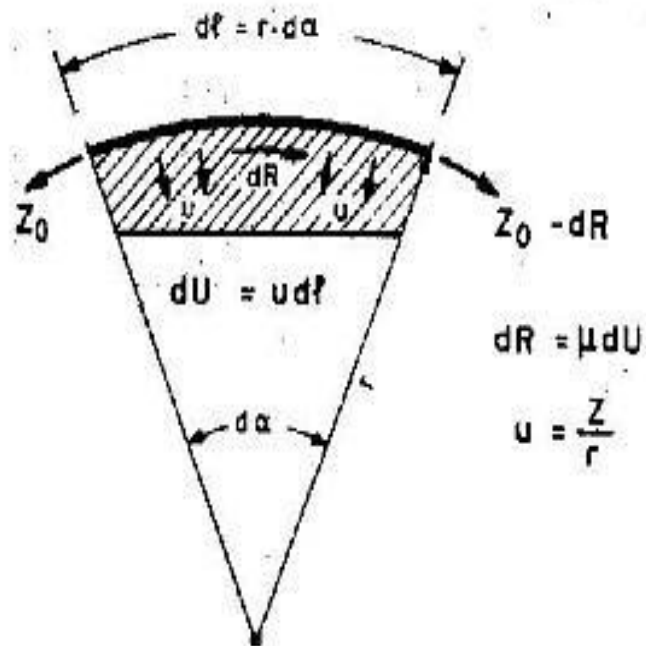
Ejemplo donde se muestra la separación que debe existir entre los tendones secundarios y el acero pasivo inferior.



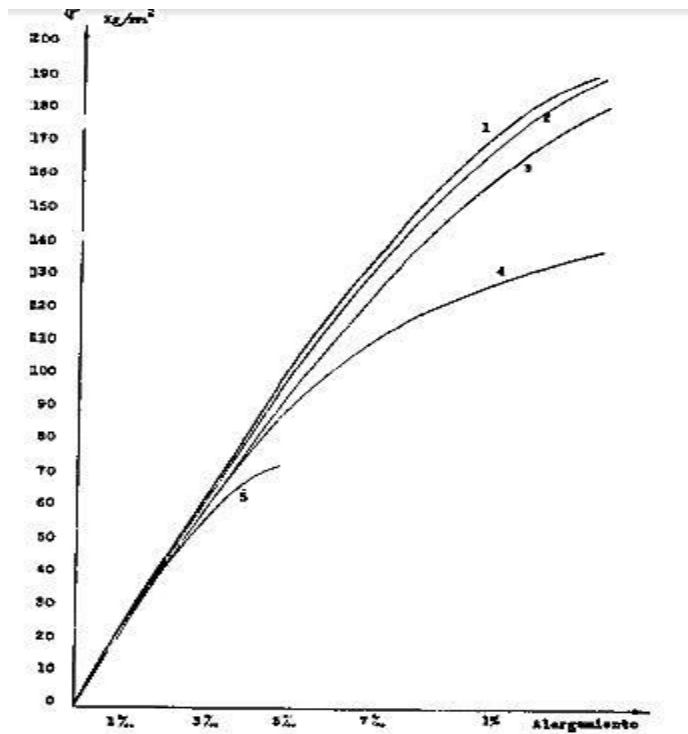
Ejemplo de un diagrama de interacción y las fronteras de fallas en diferentes tonalidades de colores (azul oscuro=zona de falla frágil, verde= zona de falla dúctil).



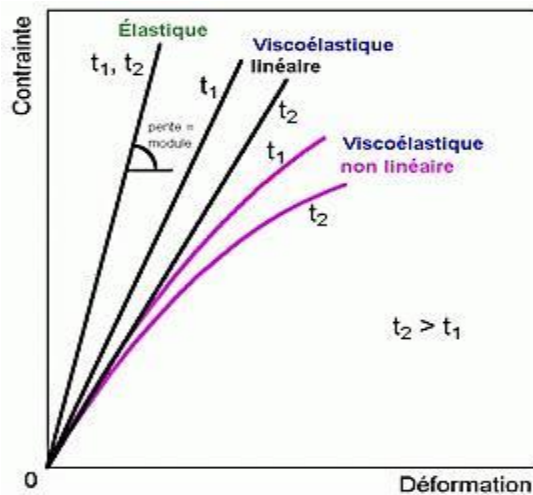
Diagramas de esfuerzo axial de una viga pre-comprimada en diferentes puntos del elemento considerando solo peso propio y la tensión del tendón principal.



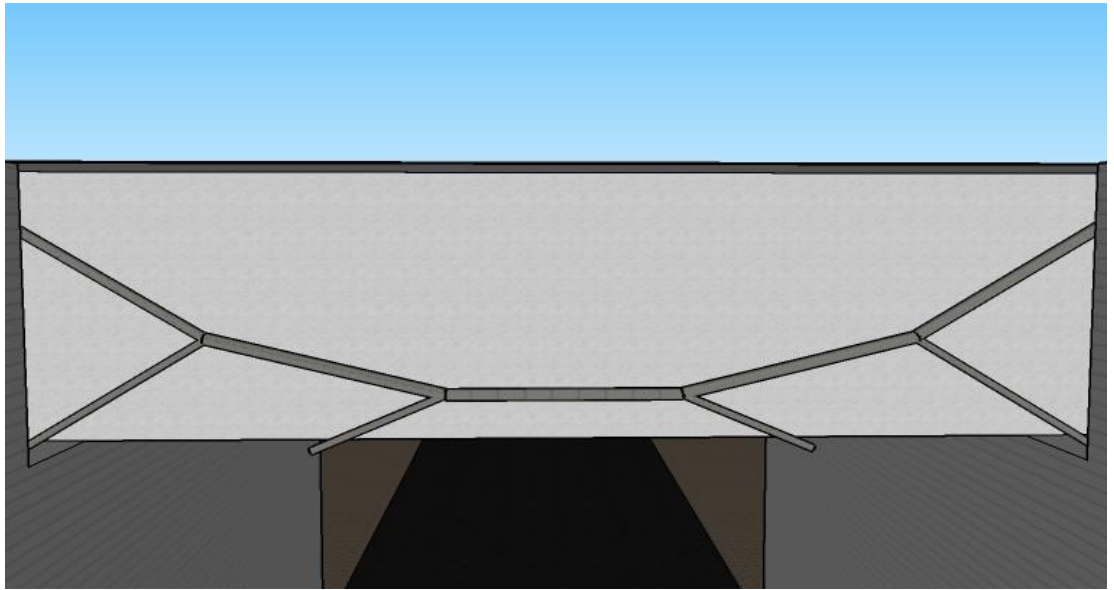
Pérdidas producidas por el tendón y el concreto en una viga pos-tensada.



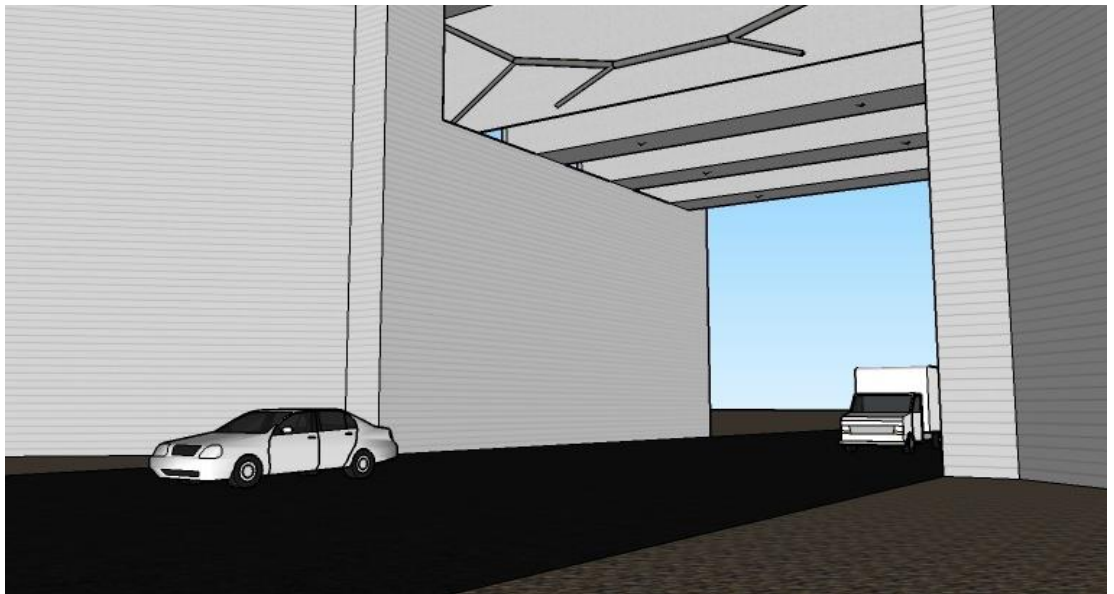
Curvas de tensión y alargamiento para distintos diámetros de alambres en milímetros (1=1,5mm; 2=3mm; 3=3,25mm; 4=4,18mm; 5=5mm).



Gráfica de comportamientos para diferentes tipos de materiales (elásticos, visco-elásticos lineal, visco-elástico no lineal).



Modelo que muestra el acero activo en el diseño planteado en el proyecto dibujada en el software sketchup V16.



Modelo de la viga pretensada puesta en servicio pudiéndose apreciar la estructura interna del acero activo dibujada en el software sketchup