

**EVALUACION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE UN PUENTE CONSTRUIDO POR VOLADIZOS
SUCESIVOS**

DIEGO FERNANDO CETINA BERDUGO

NOEL ENRIQUE OVALLE PORRAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2011

**EVALUACION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE UN PUENTE CONSTRUIDO POR VOLADIZOS
SUCESIVOS**

DIEGO FERNANDO CETINA BERDUGO

NOEL ENRIQUE OVALLE PORRAS

**Trabajo de Grado para optar por el título de:
Ingeniero Civil**

**Director:
PhD: GUSTAVO CHIO CHO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

*“A mis padres, hermanos y Lilitiana Pabón por su
apoyo incondicional”.*

Diego Fernando Cetina Berdugo

“A mi familia, padres y hermanos por su gran colaboración

y apoyo incondicional”.

Noel Enrique Ovalle Porras

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Gustavo Chío Cho, por la oportunidad de trabajar con él, su guía y colaboración en nuestro proyecto.

Al ingeniero Jose Benjumea, por su amable y desinteresada colaboración

A nuestras familias por su apoyo ejemplar e incondicional.

A Ludy Cáceres Mariño y todos nuestros amigos que de una u otra forma apoyaron y creyeron en nuestro proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	15
OBJETIVOS.....	16
1 PRELIMINARES.....	17
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	17
1.2 CLASIFICACION Y COMPONENTES DE UN PUENTE.....	18
1.2.1 COMPONENTES.....	18
1.2.2 CLASIFICACION.....	18
1.2.3 OPTIMIZACION DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	20
1.3 NORMAS.....	21
1.4 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS SUCESIVOS.....	21
1.5 VENTAJAS.....	22
1.6 CONCEPCION.....	23
1.6.1 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS A PARTIR DE LAS PILAS.....	23
1.6.2 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS A PARTIR DE LOS ESTRIBOS.....	24
1.7 PUENTES CONSTRUIDOS EN COLOMBIA POR VOLADIZOS SUCESIVOS... ..	25
1.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION TRANSVERSAL.....	33
1.9 MATERIALES.....	34
1.9.1 CONCRETO.....	35
1.9.2 ACERO.....	37
1.10 CARGAS.....	38
2. SIMULACION.....	40
2.2 MODELO A SIMULAR.....	41

2.3 PARAMETROS Y DIMENSIONAMIENTO	41
3. CALCULOS Y ANALISIS.....	44
3.1. MONTAJE EN SAP PROCESO CONSTRUCTIVO.....	44
3.2 TIEMPO DE SERVICIO.....	50
3.3 DESCRIPCION DE DEFORMACIONES	63
4. RESULTADOS Y ANALISIS.....	65
5. CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFIA.....	77
ANEXOS.....	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. EJEMPLO PUENTE DE VIGA.....	18
FIGURA 2. EJEMPLO PUENTE EN ARCO.....	19
FIGURA 3. EJEMPLO PUENTE DE CABLE SUSPENDIDO.....	19
FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y LA LUZ PRINCIPAL DEL PUENTE.....	20
FIGURA 5. PUENTE CONSTRUIDO SOBRE EL RIO MAGDALENA. (BARRANQUILLA).....	25
FIGURA 6. PUENTE SOBRE EL RIO JUANAMBÚ (PUTUMAYO).....	26
FIGURA 7. PUENTE SOBRE EL RIO FARALLONES.....	27
FIGURA 8. PUENTE SOBRE EL RIO MAGDALENA EN LA VÍA BARRANCA- YONDÓ.....	29
FIGURA 9. PUENTE TERCER NIVEL CALLE 92 BOGOTÁ.....	30
FIGURA 10. PUENTE HUMEA MUNICIPIO DE CABUYARO, META.....	30
FIGURA 11. PUENTE DOS QUEBRADAS, VÍA PEREIRA- MANIZALES.....	31
FIGURA 12. PUENTE CALLE 100 BOGOTÁ.....	32
FIGURA 13. EJEMPLO DE SECCIONES TRANSVERSALES PARA PUENTES.....	34
FIGURA 14. GRAFICA DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL CONCRETO.....	36
FIGURA 15. GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO.....	38
FIGURA 16. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE A SIMULAR.....	42
FIGURA 17. SECCIÓN LONGITUDINAL DEL PUENTE A SIMULAR.....	42
FIGURA 18. DIMENSIONES DE LAS PILAS DEL PUENTE.....	43
FIGURA 19. CARGAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO.....	44
FIGURA 20. ESFUERZOS RESULTANTES.....	46
FIGURA 21. CARGAS DEL PRE-ESFORZADO.....	48
FIGURA 22. DEFORMACIÓN LUEGO DEL VACIADO.....	63
FIGURA 23. DEFORMACIÓN CON PRE-ESFORZADO.....	64
FIGURA 24. DEFORMACIÓN ESTRUCTURA COMPLETA.....	64
FIGURA 25. ESFUERZOS GENERALES PROCESO CONSTRUCTIVO.....	65
FIGURA 26. ESFUERZOS POR TRAMOS PROCESO CONSTRUCTIVO.....	66
FIGURA 27. ESFUERZOS GENERALES EN SERVICIO HIPÓTESIS CARGA VIVA.....	67
FIGURA 28. ESFUERZOS POR TRAMOS EN SERVICIO HIPÓTESIS CARGA VIVA.....	69
FIGURA 29. ESFUERZOS GENERALES EN SERVICIO HIPÓTESIS CON SISMO.....	70
FIGURA 30. ESFUERZOS GENERALES EN SERVICIO PARA HIPÓTESIS CON SISMO.....	72
FIGURA 31. COMPARACIÓN DE ESFUERZOS CARGA VIVA- SISMO.....	72
FIGURA 32. COMPARACIÓN ESFUERZOS EN CONSTRUCCIÓN – TIEMPO DE SERVICIO.....	73

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. MOMENTOS MÁXIMOS PARA DISEÑO DE PRE-ESFORZADO	45
TABLA 2. PROPIEDADES Y ESFUERZOS PARA DISEÑO DE PRE-ESFORZADO	46
TABLA 3. CABLES A EMPLEAR EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO	47
TABLA 4. PROPIEDADES Y CARGAS EMPLEADAS	48
TABLA 5. VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN	49
TABLA 6. MOMENTOS GENERALES EN LA ESTRUCTURA.....	51
TABLA 7. ACUMULADOS DE CARGAS PARA DISEÑO DE PRE-ESFORZADO.....	52
TABLA 8. ACUMULADO DE MOMENTOS PARA DISEÑO DE PRE-ESFORZADO.....	52
TABLA 9. ESTADO MÁS CRÍTICO PARA EL DISEÑO DE PRE-ESFORZADO	53
TABLA 10. DISEÑO DE PRE-ESFORZADO	54
TABLA 11. VERIFICACIÓN DE CABLES A COMPRESIÓN DEL CONCRETO	54
TABLA 12. ESFUERZOS DEL PRE-ESFORZADO.....	54
TABLA 13. VERIFICACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN CADA UNO DE LOS ESTADOS.....	55
TABLA 14. ACUMULADOS DE CARGA CON HIPERESTÁTICO EN SERVICIO.....	55
TABLA 15. INFLUENCIA DEL MOMENTO HIPERESTÁTICO EN CADA ESTADO.....	56
TABLA 16. TABLAS GENERALES DE HIPÓTESIS CON SISMO.....	57

RESUMEN

TITULO: EVALUACION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE CONSTRUIDO POR VOLADIZOS SUCESIVOS*.¹

AUTORES: CETINA BERDUGO, Diego Fernando** .

OVALLE PORRAS, Noel Enrique** .

PALABRAS CLAVES: Puentes en voladizos sucesivos, pre-esforzado, dovelas, CCP 1995

DESCRIPCION: En el presente documento se puede apreciar el análisis del proceso constructivo de un puente construido por voladizos sucesivos, iniciando con una breve descripción de este método, su estado del arte e influencia de este tipo de construcción en Colombia.

Se encontrará el dimensionamiento y montaje de un puente de 200 m de longitud, de 3 luces, con un vano central de 100 m, mostrando el paso a paso de cada uno de los tramos en voladizo y sus respectivas dovelas, al igual que el diseño del correspondiente pre-esforzado, necesario para el correcto funcionamiento del voladizo.

De igual forma se muestra en montaje y análisis del puente en su tiempo de servicio, con su respectivo pre-esforzado, teniendo en cuenta los diferentes cargas para analizar y sus respectivos requerimientos, basados en el Código Colombiano de Puentes (CCP).

Posteriormente se puede apreciar el análisis descriptivo de las diferentes deformaciones en el tablero del puente, durante el proceso constructivo y como se deben tener en cuenta a lo largo de la ejecución del diseño y la obra.

Finalmente se muestra un análisis de los resultados, basados en graficas de esfuerzos y análisis de deformaciones en ambos casos, durante el proceso constructivo y el tiempo de servicio, al igual que, un esquema general de los cables empleados en la estructura y sus respectivas comparaciones en cada proceso.

*Trabajo de grado.

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio cho.

ABSTRACT

TITULO: EVALUATION OF THE BUILDING PROCESS IN THE STRUCTURAL BEHAVIOUR OF A CANTILEVER BRIDGE BUILT BY *.

AUTORES: CETINA BERDUGO, Diego Fernando **.

 OVALLE PORRAS, Noel Enrique **.

PALABRAS CLAVES: Bridges cantilever, prestressed, voussoirs, CCP 1995.

DESCRIPTION: This paper shows the analysis of the construction process of a cantilever bridge built by, starting with a brief description of this method, the state of the art and influence of this type of construction in Colombia.

You will find the sizing and installation of a bridge 200 m long, 3 bays with a central span of 100 m, showing step by step each of the cantilevered sections and their respective segments, as well as the design the corresponding prestressed necessary for the proper functioning of the overhang.

Similarly shown in assembly and analysis of the bridge in their service with their respective prestressed, with different charges by reference to analyze and their requirements based on the Colombian Code of Bridges (CCP).

Then you can see the descriptive analysis of the different strains in the bridge deck during the construction process and how you should take into account throughout the design and execution of the work.

Finally, we show an analysis of the results, based on graphs of effort and strain analysis both during the construction process and service time, as a general outline of the cables used in the structure and their comparisons in each process.

*Trabajo de grado.

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chío cho.

INTRODUCCION

Los puentes a través de la historia han sido unas de las estructuras que mayor utilidad han prestado para las vías y medios terrestres, salvando obstáculos naturales y artificiales y que hoy en día son cada vez más usados especialmente para agilizar el tráfico de las diferentes vías y cruces, que por la cantidad de flujo vehicular son necesarios.

Se pueden apreciar varias formas de construcción de los puentes como; colgantes, atirantados, de arco, de viga losa o contruccion por voladizos sucesivos, que es uno de los métodos más utilizados en Colombia por su forma práctica y ágil de ir avanzando en la construcción. Método basado en el avance e instalación de las dovelas una a una, hacia el vano, hasta llegar a un cierre definitivo con la unión de los voladizos, lo cual no se requiere de grandes equipos ni exceso de personal para su construcción.

La construcción por voladizos sucesivos maneja grandes esfuerzos en su construcción, dado los tramos extensos que se manejan y las grandes luces para lo cual son empleados. Para ello es necesario tener un análisis del proceso constructivo, su comportamiento en fuerzas internas y deformaciones, su sistema constructivo con sus respectivas cargas y poderlo contrastar con su tiempo de servicio, lo cual, nos permite un mayor análisis durante y después de la construcción.

Es válido tener un análisis completo de la estructura, basado en su respectiva simulación en herramientas informáticas que facilita una mayor comprensión de sus esfuerzos tanto en cada paso de la construcción como de su estado completo para servicio, ayudando a una buena interpretación de su verdadero comportamiento y de allí poder concluir sobre los resultados en la interpretación de las diferentes datos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Valorar el efecto del proceso constructivo en el nivel de esfuerzos de un puente construido por voladizos sucesivos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Generar el modelo mediante un software de análisis matricial.

Programar la evaluación de esfuerzos y pre-esforzado.

Montar y analizar el proceso constructivo de un puente de voladizos sucesivos.

Analizar los desplazamientos antes, durante y después del proceso constructivo.

1 PRELIMINARES

1.1 ESTADO DEL ARTE

El hombre a través de los tiempos ha visto la gran importancia de comunicarse, de intercambiar ideas, de transmitir nuevos conocimientos que lo ayudaran a avanzar hacia nuevos horizontes y así mismo, a prosperar. Tratando de satisfacer todas sus necesidades y con el transcurrir del tiempo, el intercambio de productos es una necesidad. La comercialización entre pueblos lejanos hace que los comerciantes tengan que transportar sus mercancías y productos. Las personas, los animales y los automotores requieren rutas o vías por donde transitar, caminos establecidos donde el transporte fuera fácil y seguro.

La naturaleza y su relieve, nos impide la realización de caminos rectos sin altibajos y desniveles, llevándonos a buscar formas de evadir una serie de obstáculos, como zonas rocosas, terrenos excesivamente blandos, saltos como ríos, acantilados, riscos y demás.

Inicialmente los puentes realizados en Europa eran construidos por bases en arco que soportaban esfuerzos a compresión, dado que no se tenían materiales que soportaran grandes tensiones, y su sistema constructivo era relativamente fácil. Puentes que por los escasos materiales conocidos en la época eran construidos en piedra muy bien organizada y acomodada con una mezcla a base de cal para afirmar con mayor seguridad la estructura.

Llega el concreto, que desde la antigüedad ha sido usado, como material indispensable y resistente para la construcción, y mejor aún, el concreto reforzado. Vemos que el concreto es usado para un sinnúmero de actividades en la construcción de todo tipo de estructuras, gracias a su fácil manejo y su gran resistencia a la compresión.

b. Arcos

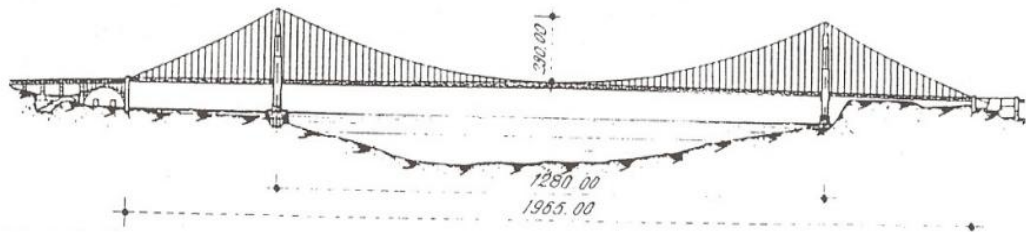
Figura 2. Ejemplo puente en arco.



Fuente: Cesar Mauricio Mantilla Galvis, Tesis de Grado, Análisis de Sensibilidad entre Las alternativas de Puentes Vano a Vano y Viga-Losa, 2009

c. De cables suspendidos

Figura 3. Ejemplo puente de cable suspendido.



Fuente: Cesar Mauricio Mantilla Galvis, Tesis de Grado, Análisis de Sensibilidad entre Las alternativas de Puentes Vano a Vano y Viga-Losa, 2009

También se pueden clasificar de acuerdo con los elementos constitutivos de la sección transversal:

- a. Puentes de losa
- b. Puentes de viga y placa
- c. Puentes de viga cajón

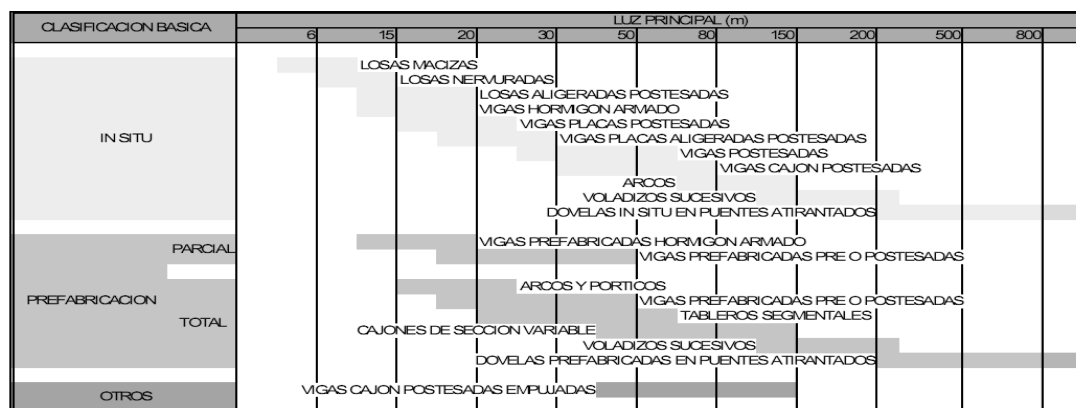
Las clasificaciones anteriores no son adecuadas para los grandes puentes de hormigón pretensado, para los cuales el método constructivo condiciona generalmente la concepción y el cálculo. Entonces, estos puentes se pueden agrupar en las siguientes familias:

1. Puentes de viga prefabricada y lanzadas
2. Puentes empujados
3. Puentes construidos sobre cimbras auto portantes y auto lanzadas
4. Puentes por voladizos ⁴

1.2.3 OPTIMIZACION DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

En los puentes de viga, dependiendo de la luz a salvar se pueden realizar puentes de losa maciza o viga continua o uniforme si la luz es relativamente pequeña entre 10 y 80 m ya sea con viga cajón o pos-tensada, y con luces mayores entre 100 y 250 m, se pueden utilizar puentes construidos por voladizos sucesivos ya sean con dovelas in situ o prefabricadas. A continuación se presentara una relación de la luz con el sistema constructivo mejor empleada para la misma.

Figura 4. Relación entre el sistema constructivo y la luz principal del puente.



Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/7405/apuntes/SIABE0039.pdf>

⁴ Escuela colombiana de ingenieros, REFLEXION SOBRE NUESTROS PUENTES

1.3 NORMAS

En la construcción de puentes se basan bajo una serie de normas que rigen la seguridad y bienestar para las personas que transiten por la estructura al igual que permita la duración y la resistencia mínima.

Para el estudio, diseño y construcción de los puentes, se conocen las especificaciones “Standard Specifications for Highway Bridges” de la American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc. (AASHTO); las de “American Railway Engineering Association” (AREA); el reglamento Alemán (Normas DIN) y las disposiciones del Bureau of Public Roads.

En Colombia, el ministerio de Obras Públicas y Transporte, Caminos Vecinales y las Secretarías de Obras Departamentales y de algunas ciudades, que son las entidades encargadas de la construcción de los puentes en el país, han adoptado las normas AASHTO para los proyectos, y dando a conocer el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, 1995. El ministerio de Obras Públicas y Transportes, solo ha modificado la carga del camión de diseño, en vista de las mayores cargas que actualmente están circulando⁵.

1.4 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS SUCESIVOS

Al hablar de puentes por voladizos sucesivos, nos referimos a una construcción segmentada de la superestructura del puente, es decir de las vigas el tablero o el cajón como tal. La construcción se inicia sobre las pilas hacia el centro de la luz por medio de dovelas ya sean prefabricadas o in situ, creando voladizos a lado y lado de la pila en forma equilibrada. Las dovelas son izadas o fabricadas in situ secuencialmente de tal forma que la dovela inmediatamente anterior sirva de

⁵ Jerónimo Herrera, Universidad Católica, PUENTES, Pág. 21

plataforma para la siguiente, lo cual se requiere el uso de cables pos-tensado que ayudan a la resistencia del voladizo que cada vez va creciendo.

Las dovelas prefabricadas son realizadas en lugares cercanos a la obra para luego ser izadas por medio de grúas y así ajustadas en el sitio indicado, alineándolas de tal forma que coincida de una forma precisa el cierre de la última dovela en el centro de la luz.

Las dovelas in situ son realizadas en el mismo lugar donde quedaran ubicadas. Estas dovelas son alineadas y planeadas en base a un carro de construcción que va en el extremo ya elaborado, es decir, la dovela anteriormente fundida.

Este tipo de construcción maneja un alto grado precisión, puesto que los voladizos deben encontrarse en el centro de la luz, haciendo coincidir las dos partes tanto en altura, como en desfase lateral. Si apreciamos el puente a lo largo del mismo será notorio cualquier pequeño corrimiento o desfase de las partes, perdiendo su estética y soportando esfuerzos adicionales para lo cual no fue diseñado.

1.5 VENTAJAS

La principal ventaja de la construcción por voladizos es la supresión de cimbras y andamios, lo cual libera el espacio situado debajo de la obra. Este procedimiento se adapta a las siguientes condiciones:

- a. Obras con pilas muy altas (Juanambú)
- b. Ríos con crecientes violentas y súbitas (Magdalena)
- c. Necesidad de dejar un gálibo de circulación o navegación sobre la vía franqueada durante la construcción (Magdalena, Zambrano, Plato; Sinú, Doctrina; Yuto, Chocó)

También puede presentar otras ventajas como:

- Reducción y mejor utilización de encofrados, limitados a la longitud de la dovela.
- Especialización de mano de obra y por consiguiente, mayor rendimiento, debido a la mecanización de las tareas por ciclo repetitivo.
- Flexibilidad de ejecución ligada a la posibilidad de acelerar la construcción multiplicando el número de bases de partida
- Rapidez de construcción en el caso de dovelas prefabricadas con las cuales se logra hasta 12 metros diarios⁶.

1.6 CONCEPCION

La construcción por voladizos sucesivos se puede generar desde los apoyos ya sean las pilas o los estribos;

1.6.1 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS A PARTIR DE LAS PILAS

Construyendo a partir de las pilas, lógicamente se debe construir simétricamente con el fin de no someterla a elevados esfuerzos de momento en el voladizo. Esta condición lleva a construir la obra mediante una serie de vuelos que se comportan como ménsulas iguales.

Si el tablero está empotrado sobre pilas, éstas, normalmente, son capaces de soportar los momentos de asimetría que aparecen durante la construcción.
(Juanambú)

⁶ Jerónimo Herrera, Universidad Católica, PUENTES, Pág. 96

Si el tablero constituye un viga continua, es necesario realizar su comportamiento sobre las pilas durante la construcción (por medio de cuñas y de armadura de pretensado, como el puente Farallones) o bien utilizando apoyos provisionales colocados en las proximidades de las pilas (Paso Comercio, Doctrina, Mutatá, Sumapaz, Magdalena, Girardot).

En ocasiones es interesante hacer la construcción disimétricamente relación con las pilas. Estos resultados se pueden obtener:

- a. No utilizando más que un apoyo provisional o añadiendo uno o varios provisionales a medida que se avanza
- b. Hormigonando in situ sobre cimbra de manera que una de las partes del tablero sirva de contrapeso a las que se construyen en voladizo (Lagunilla)
- c. Con anclado o lastrado en el extremo de una de las ménsulas durante la construcción de la otra; se hace especialmente cuando las luces son descompensadas. Tal es el caso de Mutatá y Farallones que llevan cables y contrapeso y los de Sumapaz y Magdalena en la variante Girardot.

1.6.2 CONSTRUCCION POR VOLADIZOS A PARTIR DE LOS ESTRIBOS

La construcción por voladizo a partir de los estribos crea momentos de vuelco muy importante que se pueden equilibrar:

- a. Por apoyos provisionales
- b. Por peso propio

En los voladizos construidos en el país podemos distinguir, según el tipo de unión entre sí, sistemas articulados y continuos, los cuales en su gran mayoría han sido continuos, lo cual en su gran mayoría han sido continuos y articulados con tramo

apoyado, como es el caso de Puerto Triunfo sobre el Magdalena en la llamada autopista Bogotá- Medellín⁷.

1.7 PUENTES CONSTRUIDOS EN COLOMBIA POR VOLADIZOS SUCESIVOS

El uso de voladizos sucesivos aparece en Colombia en los años 70 donde es empleado en la construcción del puente sobre el río Magdalena en Barranquilla. Allí se combinaron el empleo de voladizos sucesivos con cables exteriores provisionales.

El puente fue dado al servicio en 1974, consiste en una luz central de 140 m y 2 luces laterales de 69.5 m. diseñado por Ricardo Morandi y construido por un consorcio de las firmas Cuellar Serano Gómez de Colombia y Lodigioni de Italia.

Figura 5. Puente Construido sobre el río Magdalena. (Barranquilla).



Fuente: Pag web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

⁷ Escuela colombiana de ingenieros, REFLEXION SOBRE NUESTROS PUENTES, Pág. 99

Como primera realización de voladizos sucesivos esta el puente sobre el río Juanambu en el año de 1976, construcción a cargo de ingeniería netamente nacional. Consta de 3 luces de 45 m las laterales y 90 m la central, conformando un pórtico con sus dos pilas principales de altura cercana a los 60 m.

Figura 6. Puente sobre el río Juanambú (Putumayo)



Fuente: Pag web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

El puente del comercio en la vía Cali- Palmira es tal vez una de los puentes más reconocido. Las dovelas de esta estructura se fundieron sobre carro0s de avance convencionales y la estabilidad del tablero en construcción se aseguro por medio de pilas auxiliares. El puente está conformado por una luz central de 82m y luces laterales de 41 m. es de aclarar que está simplemente apoyado en los pilares a través de apoyos de neopreno.

En el Paso del Comercio, autopista Cali-Palmira, aparecen dos puentes, uno con longitud total de 181 m y luz central de 116 m y otro de 166 m de longitud, luz central de 97 m, ancho de tablero de 26,25 m conformado por dos cajones adosados.

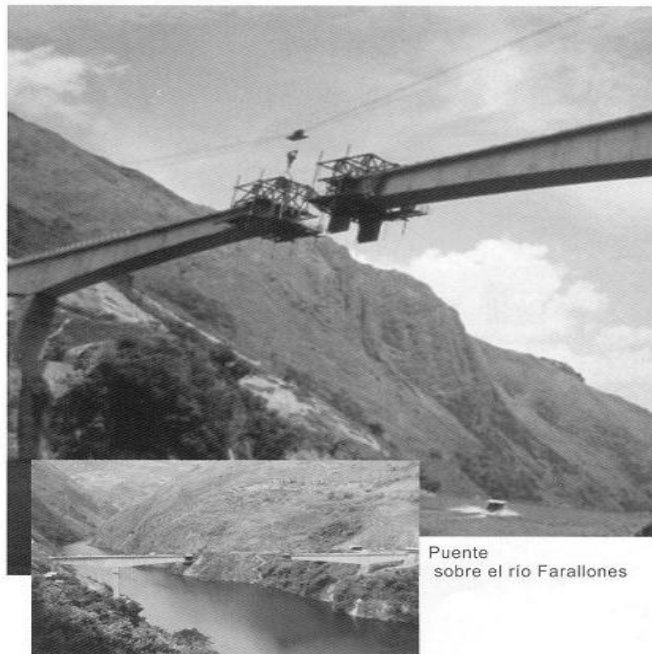
En 1983 se terminó la construcción del puente de La Doctrina, sobre el río Sinú, en la carretera Lórica - San Bernardo. Consta de tres luces de 41,80 - 83,60 -

41,80 m y su superestructura está conformada por un cajón unicelular. Los voladizos fueron ejecutados simétricamente con un carro de avance convencional y dovelas fundidas in situ.

Ya para el año 1985 se terminó el puente sobre el río Mutatá en la carretera Medellín - Turbo. Con luces de 22,6 - 76,5 y 38,25 m, la obra utilizó en la luz menor un contrapeso que funciona a la vez como estribo.

En la década de los 90, el empleo del sistema de voladizos se vio incrementado con múltiples realizaciones, entre las cuales se destaca el puente sobre el Río Farallones que tiene una luz central de 142 m.

Figura 7. Puente sobre el río Farallones



Fuente: Pág. web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

También son notables los puentes de Plato y Puerto Arturo que recurrieron a la técnica de voladizos con luces múltiples superiores a los 110 m.

A mediados del año 2002, se dieron al servicio dos importantes estructuras en la carretera Bogotá - Villavicencio como son el puente de Servitá, con 155 m de luz central y el puente de Pipiral que con cuatro luces de 125 m continuas y en curva se constituye en una de las obras más sobresalientes de la ingeniería nacional.

Sobre el río Cauca, ubicados en el Paso de la Torre, parte de la concesión "Malla Vial del Valle del Cauca y Cauca". Están los dos puentes son paralelos, con una longitud de 200 m, una luz central de 100 m y un ancho de tablero de 12,70 m.

Por otro lado, en la carretera Ibagué - Cajamarca, se construyeron los puentes La Salada y La Cerrajosa, estructuras curvas con ancho de tablero de 11 m, longitudes de hasta 185 m y luces centrales de hasta 92 m. En proceso de construcción están el Puente de Pericos y Cajones.

Aparece la considerada maravilla del sur, sobre el camino más antiguo del país. La construcción del puente Barrancabermeja – Yondo, sobre el río Magdalena, en el sitio llamado Estrecho Galán. . Es una estructura de 920 m de longitud con un puente principal de 200 m de luz central, iniciado el 1 de diciembre de 2003 y terminado el 22 de enero de 2006. Fue realizada mediante el sistema de voladizos sucesivos en forma simultánea de lado y lado de las pilas hasta llegar a la dovela de cierre, momento en el cual se cambia el régimen de trabajo de voladizos a claros continuos, puente considerado como uno de los claros más extensos a nivel Latinoamérica.

Figura 8. Puente sobre el río Magdalena en la vía Barranca- Yondó.



Fuente: Pág. web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

Otro de los puentes construidos con este sistema en el país están; el puente sobre el brazo de Mompox que tiene una longitud total de 500 m, con un puente principal de 130 m de luz central y el puente sobre el río Sinú, en la ciudad de Montería. Puente construido mediante dovelas fundidas in situ, tiene 299 m de longitud, un ancho de 13 m y una luz principal de 150 m⁸.

En la ciudad de Bogotá también se pueden apreciar puentes de gran importancia construidos por este sistema.

El puente tercer nivel de la calle 92 es un claro ejemplo de este sistema donde se emplearon los voladizos con carros de avance para no interrumpir el paso vehicular que es de grandes volúmenes en el sector.

⁸ Pag web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

Figura 9. Puente tercer nivel calle 92 Bogotá



Fuente http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes_

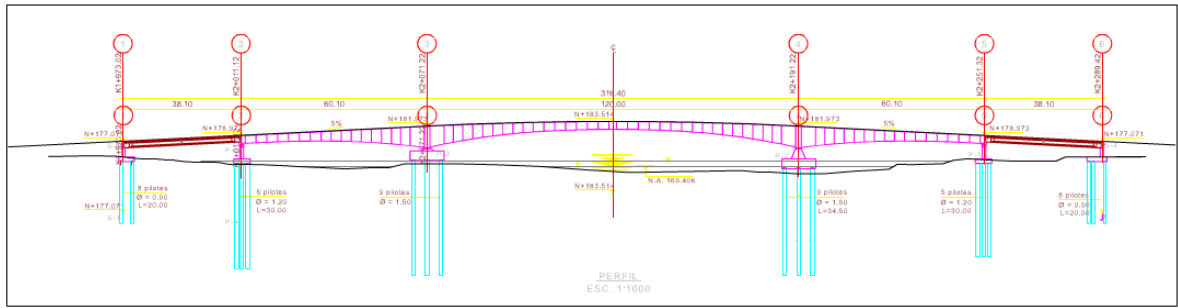
Puente con 567 m de longitud y un ancho de tablero de 12 m para tres carriles de tráfico, consiste en 14 luces comprendidas entre 36 a 44 m de longitud. Puente diseñado por Germán Escobar y construido por Metrodistrito, siendo entregado en el año 2005⁹.

En 2009 es realizado el puente Humea, situado en el municipio de Cabuyaro (Meta) sobre el río Humea, cuenta con una longitud de 316.4 m segmentados en 5 luces, cuyos 3 vanos centrales son construidos por voladizos sucesivos.

Figura 10. Puente Humea municipio de Cabuyaro, Meta



⁹ CONSTRUADATA, Edición 159, junio-agosto de 2011, <http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes>

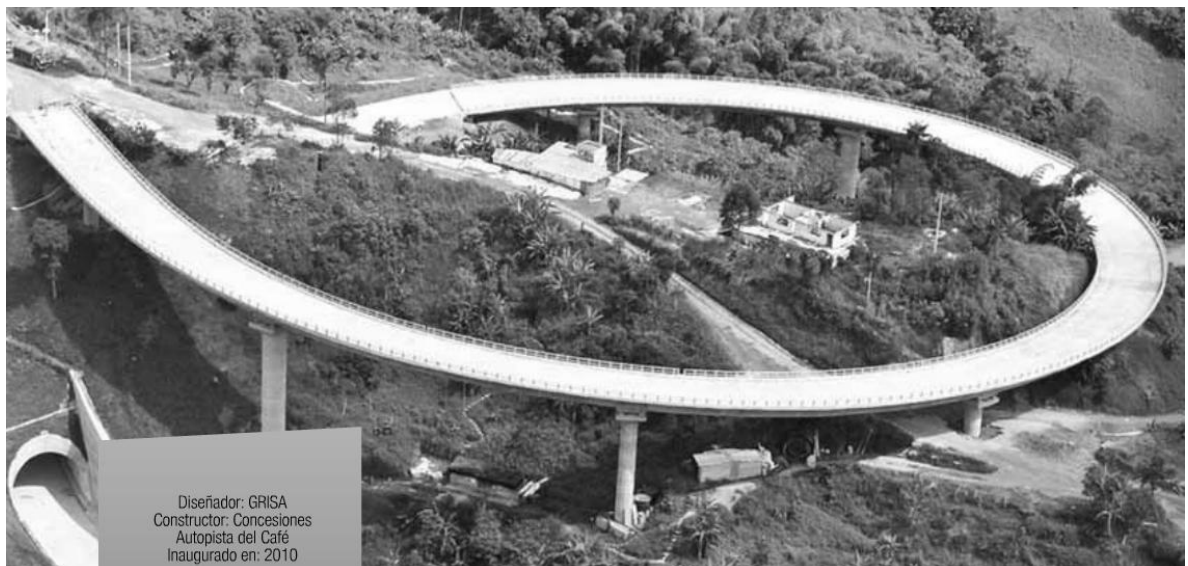


Fuente http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes_

Recientemente fue inaugurado el puente de Dos Quebradas, localizado en la concesión de la autopista del café en la doble calzada que conduce de Pereira a Manizales en el tramo que une a Dos Quebradas con Santa Rosa.

Su geometría helicoidal lo convierte en el primer puente de estas características en Latinoamérica. Tiene una longitud de 395.3 m con un diámetro de 180 m, la altura de las columnas varía entre 4.82 m y 25.59 m. la viga cajón de concreto pos-tensado tiene un tablero de 10 m de ancho y una altura de sección constante de 2.2 m.

Figura 11. Puente Dos Quebradas, vía Pereira- Manizales



Fuente http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes_

Para el montaje se lleva a caba mediante carros de avance, instalados sobre la superficie de la losa de las vigas sobre apoyo. La construcción se hace de forma simétrica sobre la columna, se emplearon 4 carros de avance para agilizar el empalme de los voladizos.

En el presente año se realizó la inauguración del puente sobre la calle 100, localizado en el norte de Bogotá, son dos puentes que cruzan la glorieta y el deprimido del sector, ambos independientes con un ancho de tablero de 11 para tres carriles.

La sección de acceso de 60 m por cada extremo fue fundida en sitio, con concreto pos-tensado y usando método tradicional. La sección del puente principal se construyó por el sistema de voladizos sucesivos. Para la construcción de los puentes simultáneamente se necesitaron 8 carros de avance.

Figura 12. Puente calle 100 Bogotá



Fuente <http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes>

las normas de diseño geométrico vial con especificaciones de velocidad de diseño de 80 a 120 kph, con calzadas de bermas más generosas y limitaciones de pendientes en el trazado, generan la proliferación de muchísimos puentes de luces principales entre 40 m y 200 m y con varias luces.

La tendencia será la de pasar de dovelas sucesivas vaciadas en sitio a dovelas prefabricadas, lo que repercutirá en un menor costo de las obras y sobre todo, en la reducción del tiempo de ejecución. Las limitaciones serán las condiciones topográficas que forman parte de la definición del puente.¹⁰

1.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION TRANSVERSAL

Las secciones por lo general suelen variar a lo largo del puente para luces grandes, reduciendo la altura de la sección a medida que se acerca al centro de la luz. Las demás dimensiones por lo general permanecen constantes, como el ancho del tablero, los espesores de cada elemento, la separación entre elementos y demás.

En general la sección longitudinal más usual es la de altura total variable en forma parabólica a partir del centro de la luz. Esta variación generalmente se hace con una parábola de segundo grado. La altura total oscila entre $L/16$ y $L/20$, en los arranques y $L/40$ y $L/50$ en el centro de la luz.

La geometría de la placa y el espesor de las almas del cajón se conservan constantes a todo lo largo del tablero para simplificar la formaleta interior, sin embargo, en algunos casos especiales, se han realizado cajones con almas de espesor variable.

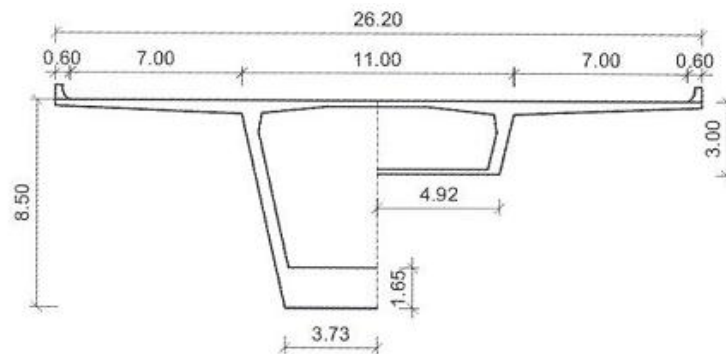
Por el contrario, la placa inferior normalmente presenta un espesor variable, de 15 a 20 cm en el centro de la luz, dependiendo del diámetro de los cables de

¹⁰ CONSTRUADATA, Edición 159, junio-agosto de 2011, <http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes>

continuidad, hasta un máximo en los apoyos. Esta variación del espesor puede que no se presente en toda la luz, es viable considerar un tramo de espesor constante y luego una variación lineal de espesor hasta los apoyos.

En cuanto a la sección transversal, es notable la tendencia a reducir el número de almas dado que a mayor número de almas, mayor es la complejidad en los encofrados interiores. En general, para anchos totales de tablero de 13 m o menos, es imperativo el uso de un cajón mono celular, los cuales pueden tener caras verticales o inclinadas mejorando aspectos estéticos pero requiriendo formaletas más complejas¹¹.

Figura 13. Ejemplo de secciones transversales para puentes.



Puente Felsenau (sección transversal)

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

1.9 MATERIALES

Se han apreciado un gran número de materiales para la construcción de puentes, entre piedra madera, guadua, acero, y combinación entre algunos de ellos. Hoy día los materiales más usados para este tipo de construcción y en especial para los puentes construidos por voladizos sucesivos, es la combinación de concreto y acero, más comúnmente llamado concreto reforzado, más un trabajo adicional de

¹¹ Pag web; <http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

barras de acero pretensado o pos-tensado que ayuda al soporte de esfuerzos a tracción.

Estos materiales han sido estudiados a través del tiempo para corroborar, afianzar y descubrir nuevas propiedades que ayuden al buen desempeño en la construcción, dando a conocer el buen uso de la combinación concreto-acero, ya que el acero tiene buena adherencia al concreto luego del secado, permitiendo que el concreto soporte los esfuerzos a compresión y el acero ayude a los de tracción, ubicándolo en sitios adecuados para su buen desempeño y economía.

1.9.1 CONCRETO

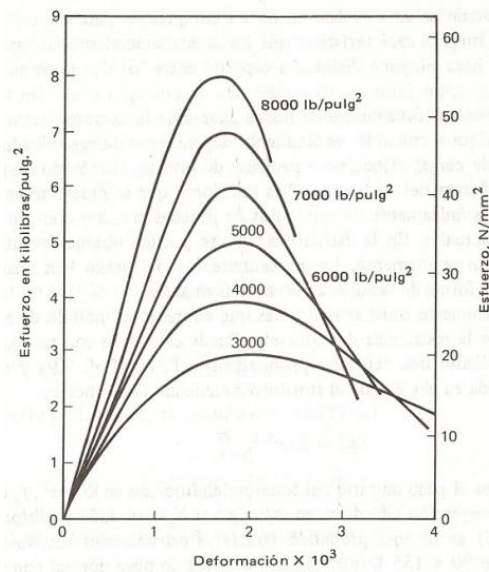
El concreto es una mezcla de cemento con agregados pétreos y agua, muy bien dosificada para poder extraer al máximo todos los beneficios y propiedades, como manejabilidad, dureza, fraguado y demás.

Este material es utilizado para resistir principalmente los esfuerzos de compresión que se presentan en determinados elementos de la estructura. Ya que no presenta grandes deformaciones antes de fallar se podría clasificar como un material frágil.

El concreto que se usa hoy día se puede fabricar dependiendo de las condiciones que se requieran en la obra, usando concretos de 3000 psi generalmente o con especificaciones de resistencia exacta que desee el constructor. Para el diseño de las diferentes estructuras de puentes se requiere de materiales de alta resistencia, para lo cual se usan concretos mayores o iguales a 6000 psi en adelante, garantizando un mayor soporte en elementos pre-esforzados, ya que la magnitud de las cargas es superior y permite la optimización de las dimensiones de los elementos además con este material se mejora el control de las fisuras y las deflexiones.

El concreto como se había referido anteriormente soporta grandes esfuerzos a compresión, que en algunas oportunidades es comparado con la resistencia de la roca maciza. La resistencia a soportar, la manejabilidad y la duración hacen de este material un sistema practico para la construcción, no solo de puentes, si no, de toda clase de estructuras.

Figura 14. Grafica de esfuerzo-deformación del concreto.



Fuente: Cesar Mauricio Mantilla Galvis, Tesis de Grado, Análisis de Sensibilidad entre Las alternativas de Puentes Vano a Vano y Viga-Losa, 2009

Se puede observar que los concretos de alta resistencia poseen un modulo de elasticidad mayor, que se mide con la pendiente de la curva respectiva en el origen, pero al mismo tiempo son más frágiles, debido a que se presentan deformaciones menores con respecto al concreto estándar en el momento de su falla.

1.9.2 ACERO

El acero al igual que el concreto se puede variar su resistencia dependiendo de las solicitudes que se requieran. Su mayor esfuerzo a soportar es a tracción lo que hace un verdadero trabajo conjunto con el concreto.

Luego de muchos estudios realizados y de las diferentes aleaciones que se han podido realizar con el acero, se ha comprobado que la resistencia a la tracción a soportar esta en 60000 psi, conocido como acero A-60, uno de los más resistentes para el uso en la construcción, aunque existen aceros de mayor resistencia que pueden ser fabricados de acuerdo al uso y capacidad que se requiera emplear.

El acero de refuerzo más utilizado en la construcción es aquel que posee un esfuerzo de fluencia $F_y=420$ Mpa. Cuando el acero se somete a cargas de tracción, se deforma proporcionalmente a la magnitud del esfuerzo que resiste hasta alcanzar el límite de fluencia. En este punto, el material comienza a presentar deformaciones mayores sin que aumente el esfuerzo; hasta llegar a la etapa del endurecimiento por deformación, incrementando su resistencia para alcanzar el esfuerzo máximo antes de fallar.

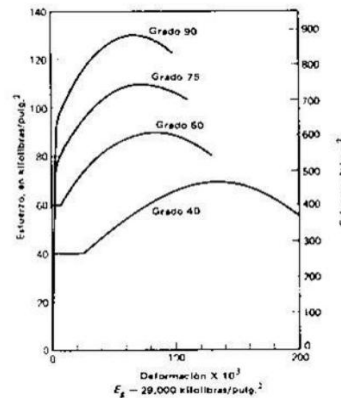
El acero presenta características que lo hacen especial, dado que su gran resistencia a la tracción y buena ductilidad hace que al momento de fallar sea de una forma controlada y poco explosiva, característica indispensable en las construcciones de concreto reforzado.

El acero es usado para resistir los esfuerzos a tensión que se presentan en la estructura. Falla de manera dúctil, ya que se deforma considerablemente antes de alcanzar el esfuerzo máximo que resiste

El acero de alta resistencia, empleado como acero pre-esforzado, presenta un límite de fluencia mucho mayor que el acero de refuerzo común, pero una vez

alcanza este punto las deformaciones se incrementan considerablemente hasta alcanzar el esfuerzo máximo y fallar. Por lo tanto el acero de alta resistencia posee menor ductilidad, debido a que la deformación en el momento de falla es menor que la del acero de refuerzo.

Figura 15. Grafica esfuerzo-deformación del acero



Fuente: Cesar Mauricio Mantilla Galvis, Tesis de Grado, Análisis de Sensibilidad entre Las alternativas de Puentes Vano a Vano y Viga-Losa, 2009

El acero de refuerzo también es utilizado en los miembros de concreto pre-esforzado, con el fin de contribuir a la resistencia a tracción de la sección, proveer refuerzo transversal para cortante y torsión, además de controlar las fisuras que puedan aparecer en el concreto por contracción y temperatura.

1.10 CARGAS

Las cargas a soportar en un puente están determinadas dependiendo el uso para el cual será diseñado, sin embargo las principales cargas que deben ser tenidas en cuenta son:

CARGA MUERTA

Consiste en el peso de la estructura; placas, capa de rodadura, vigas, andenes, barandas etc.

CARGA VIVA

Corresponde a la carga de servicio de los cuerpos móviles como vehículos, peatones etc.

CARGA DE IMPACTO

Es mejor nombrado como un factor que depende de la carga viva, que dado por su movimiento genera esfuerzos instantáneos o de impacto.

CARGAS DE SISMO

Estas cargas están influenciadas directamente por el lugar donde se encuentra la estructura, su terreno y nivel sísmico en la zona.

Otras fuerzas que se deseen agregar para una mayor precisión en el diseño de los puentes podemos tener:

Fuerza longitudinal, fuerza centrífuga, fuerza térmica, presión de tierras, flotación, esfuerzo por acortamiento elástico y retracción de fraguado, fuerza del viento sobre la estructura, fuerza de viento sobre la carga viva, esfuerzo de montaje, presión de la corriente y fuerza sísmica¹².

¹² Código Colombiano de Puentes, CCP 200-94, Pag A. 3-2

2. SIMULACION

2.1 BREVE DESCRIPCION DEL MONTAJE EN SAP 2000

SAP 2000 es un software especializado en la modelación y simulación de estructuras en diferentes formas y materiales, ya sean edificaciones, puentes, marcos, sólidos o simples vigas con las menores especificaciones. Dado que contiene un gran número de herramientas para dibujar y modelar con facilidad cualquier objeto que se desee. Este programa permite modificar en todos los aspectos, materiales y sus propiedades, secciones de cada solido, cables, dejándonos jugar con todas las posibilidades que se quiera.

Para el montaje de un puente en SAP 2000 se puede realizar directamente sobre la aplicación que el mismo programa posee (bridge), es decir, designando los parámetros del puente a construir y modificando cada uno de los espacios y dimensiones que posee el programa, y que con cierta habilidad podrá modelar fácilmente el puente que usted desee.

Para el modelamiento en 3 dimensiones de la estructura en el software, el programa arroja resultados como elementos finitos basados en una gama de colores que muestran la intensidad del esfuerzo que se está analizando, pero que a su vez, complica su tabulación y análisis de los resultados. Por ello se ha decidido modelar la estructura de tal forma que simplifique y facilite el análisis de la misma.

Para ingresar la estructura, se decidió realizarla por medio de pórticos en 2 dimensiones, pero con las propiedades de cada elemento tales como área,

momentos de inercia, momentos, centroides y demás, que garantizaran una excelente simulación y por lo tanto unos confiables resultados.

2.2 MODELO A SIMULAR

El modelo a tomar será un puente en concreto reforzado, pretensado, construido por voladizos sucesivos, partiendo directamente de las pilas a lado y lado, simétricamente, con una sección variable de forma parabólica, reduciéndose hacia el centro de la luz.

La subestructura está dividida en tres vanos, para cuyo vano central se toma dimensiones que fueran las más adecuadas en este tipo de construcción, al igual que la sección transversal, buscando la optimización de los materiales.

Las pilas se tomaron tipo cajón rectangular, buscando la forma más adecuada y realista de dichas pilas, con alturas un poco críticas para apreciar con mayor facilidad los esfuerzos a soportar.

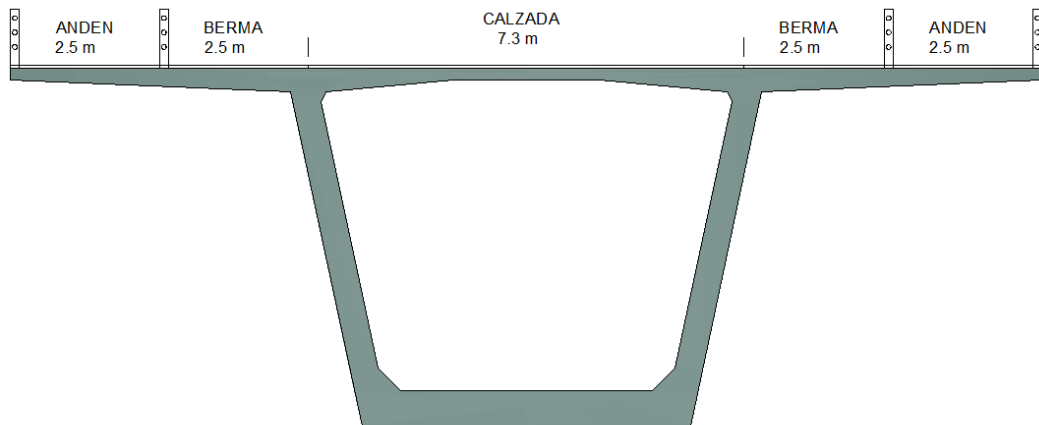
2.3 PARAMETROS Y DIMENSIONAMIENTO

Tomando parámetros de diseño según el Código Colombiano de Puentes 1995, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos.

Dado que los puentes construidos por voladizos sucesivos dicho anteriormente se comportan de una forma normal en luces comprendidas entre 50 y 150 m, se ha tomado una luz central de 100 m en busca del mejor comportamiento y unas luces laterales de 50 m cada una, con el fin de realizar construcción simétrica a partir de los pilares, coincidiendo la terminación de la construcción.

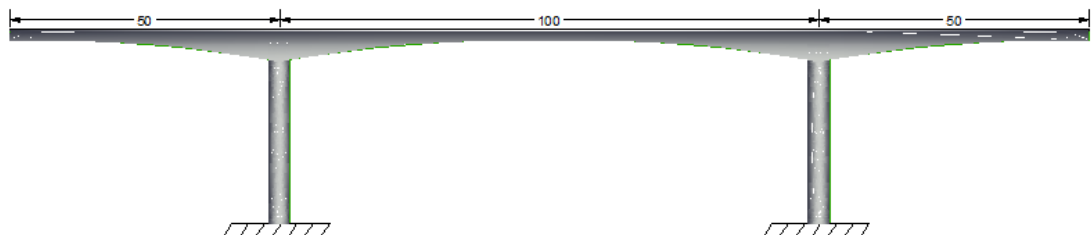
La sección transversal de la subestructura está diseñada, con un tablero para dos carriles de tránsito de 3.65 m con bermas de 2.5 m y andenes de 2.5 m, arrojando un ancho de tablero de 17.5 m. Las dimensiones de la sección transversal se toman de acuerdo con los parámetros, de la siguiente forma para la primera dovela que estará ubicada justo sobre la pila

Figura 16. Sección transversal del puente a simular



La subestructura a lo largo del puente estará variando en su sección transversal, en especial su altura y espesor inferior, de una forma parabólica. Iniciando con una altura de sección sobre la pila de 6 m y un espesor inferior de 0.6 m, hasta el centro de la luz (50 m) con una altura de 2 m y un espesor inferior de 0.2 m, lo cual proporciona una parábola con una constante de crecimiento de 0.0016. (Ver anexo 1)

Figura 17. Sección longitudinal del puente a simular



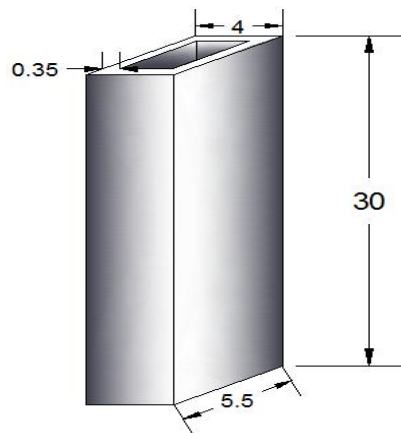
Los pilares son tomados con una altura de 30 m para buscar un buen comportamiento en la estructura. La sección transversal se tomó como un cajón rectangular de cuyo ancho esta dado por la primera dovela que está sobre la misma (5.5 m), por 4 m en la parte perpendicular a la longitud de puente, con un espesor de pared de 0.35 m, cumpliendo con los parámetros establecidos:

$$\frac{x}{t} \leq 15$$

x=espacio libre interior en una dirección

t=espesor de las paredes ≥ 0.35 m

Figura 18. Dimensiones de las pilas del puente.



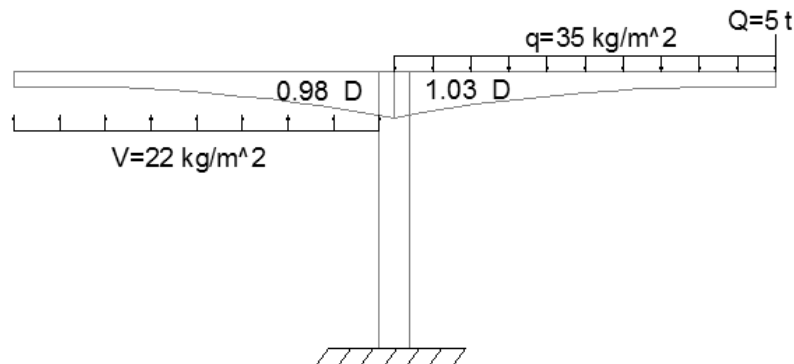
3. CALCULOS Y ANALISIS

3.1. MONTAJE EN SAP PROCESO CONSTRUCTIVO

Es necesario en primer lugar realizar el diseño del pre-esforzado que se debe usar para nuestra estructura y que soportara los grandes esfuerzos que se originan por los voladizos en el proceso constructivo. Para ello se modela una a una cada dovela, para extraer los diferentes esfuerzos que debería soportar el pre-esforzado (Ver anexo 2).

En base a las normas francesas de la construcción de puentes por voladizos sucesivos, se toman las cargas que recomiendan en el proceso de construcción, cargas por equipos (q), cargas de viento (v) que favorecen al volcamiento, carga del carro de avance (Q) y una pequeña descompensación de los pesos propios de cada sección de 1.03 y 0.98. Esto buscando la forma más crítica que se puede obtener en el momento de la construcción.

Figura 19. Cargas en el proceso constructivo



Fuente: MATHIVAT Jacques, CONSTRUCCION DE PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO POR VOLADIZOS SUCESIVOS.

Inicialmente se realiza la simulación de cada una de las dovelas con sus respectivas cargas de construcción para realizar el diseño de los cables de pre-esforzado (ver anexo 3).

Teniendo los resultados de los momentos, más críticos se obtuvieron:

Tabla 1. Momentos máximos para diseño de pre-esforzado

MOMENTOS MAXIMOS EN ESTADO CONSTRUCTIVO GRUPO GVIIa											
Momentos	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	49 m
D2	2524.00	868.00	0.00								
D3	6244.00	3386.00	1321.00	0.00							
D4	11651.00	7591.00	4327.00	1812.00	0.00						
D5	19997.00	14365.00	9562.00	5576.00	2393.00	0.00					
D6	22654.00	17019.00	12184.00	8107.00	4746.00	2058.00	0.00				
D7	29477.00	23063.00	17451.00	12600.00	8470.00	5020.00	2210.00	0.00			
D8	40065.00	32514.00	25766.00	19784.00	14529.00	9961.00	6043.00	2736.00	0.00		
D9	47624.00	39452.00	32086.00	25489.00	19625.00	14456.00	9945.00	6058.00	2754.00	0.00	
D10	53780.00	45141.00	37310.00	30251.00	23930.00	18311.00	13358.00	9037.00	5313.00	2149.00	0.00

Con los datos obtenidos en este proceso, los máximos esfuerzos de momentos a soportar y siguiendo el respectivo procedimiento para hallar el pre-esforzado para cada una de las dovelas se pudo obtener;

$$\sigma_1 = Ms * \frac{C_1}{I} = Ms/S_1$$

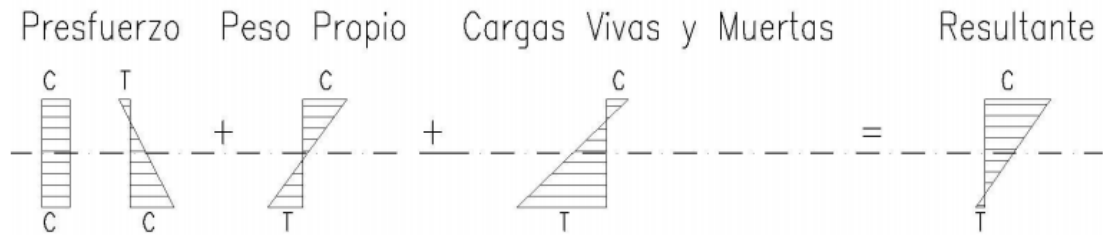
$$\sigma_2 = F/A$$

$$\sigma_3 = F * e/S_1$$

$$\sigma_f = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$$

$$\sigma_f = -\frac{Ms * C_1}{I} + \frac{F}{A} + \frac{F * e}{S_1} = 0$$

Figura 20. Esfuerzos resultantes



Fuente: Cesar Mauricio Mantilla Galvis, Tesis de Grado, ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ENTRE LAS ALTERNATIVAS DE PUENTES VANO A VANO Y VIGA-LOSA

Despejando la fuerza que realmente se necesita para hallar el pre-esforzado se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 2. Propiedades y esfuerzos para diseño de pre-esforzado

PROPIEDADES Y ESFUERZOS PARA DISEÑO DE PRE-ESFORZADO								
Tramo	AREA (m ²)	ALTURA (m)	Ycg (m)	CI (m)	INERCIA (m ⁴)	e (m)	M (Ton-m)	F (Ton)
5 m	12.21	5.24	2.95	2.29	173.88	1.89	33210.40	4095.66
10 m	11.52	4.56	2.59	1.97	169.76	1.57	26650.94	2944.77
15 m	10.87	3.96	2.28	1.68	165.52	1.28	20885.44	2019.12
20 m	10.25	3.44	2.01	1.43	161.31	1.03	15878.72	1319.35
25 m	9.68	3.00	1.78	1.22	157.27	0.82	11595.62	820.22
30 m	9.16	2.64	1.60	1.04	153.67	0.64	8000.98	477.07
35 m	8.68	2.36	1.46	0.90	150.48	0.50	5059.62	256.02
40 m	8.27	2.16	1.37	0.79	147.82	0.39	2736.39	118.89
45 m	7.92	2.04	1.32	0.72	145.89	0.32	996.12	38.45
49 m	7.68	2.01	1.33	0.68	144.83	0.28	0.00	0.00
50 m	7.63	2.00	1.33	0.67	144.66	0.27	0.00	0.00

En una estructura interesa conocer el estado de coacción en las secciones críticas (secciones de momento máximo), al hacerse el tensado y después de tiempo, cuando ya se haya terminado de producir las deformaciones lentas.

Se busca los cables más adecuados para esta estructura, hallando cables de 17 torones, con una resistencia por cada torón de 41.3 kips¹³

Para un mejor análisis y seguridad se implementa unas pérdidas para el pre-esforzado del 25 %, siendo esta una de las perdidas mayores empleadas para este tipo de estructura.

El esfuerzo por cada cable incluyendo las perdidas es de

$$\rho = \frac{41.3}{2.2} * 0.75 = 14.079 \frac{\text{Ton}}{\text{toron}}$$

De allí se procede a calcular el área requerida y la cantidad de cables empleados para contrarrestar los esfuerzos anteriores

$$F = \rho * A$$

Tabla 3. Cables a emplear en el sistema constructivo

Tramo	# toron	Cables de 17 torones	Cables por cada dovela	# cables
5 m	290.89	17.11	2.00	22.00
10 m	209.15	12.30	2.00	20.00
15 m	143.41	8.44	2.00	18.00
20 m	93.71	5.51	2.00	16.00
25 m	58.26	3.43	2.00	14.00
30 m	33.88	1.99	2.00	12.00
35 m	18.18	1.07	2.00	10.00
40 m	8.44	0.50	2.00	8.00
45 m	2.73	0.16	2.00	6.00
49 m	0.00	0.00	2.00	4.00
50 m	0.00	0.00	2.00	2.00

¹³ Pag web, www.vsl.com, VSL_Data_Sheets_Multistrand

Tramo	esfuerzo del concreto		#cables	e(m)	esfuerzo del pre-esforzado			Σ	
	esfuerzo arriba	esfuerzo abajo			esfuerzo producido por la fuerza	esfuerzo producido por el momento arriba	esfuerzo producido por el momento abajo	Σ ARRIBA	Σ BAJO
5 m	-594,51	765,85	24,00	1,89	470,47	142,99	-184,20	18,95	1052,12
10 m	-432,97	569,23	20,00	1,57	415,54	87,22	-114,67	69,79	870,11
15 m	-307,04	416,70	18,00	1,28	396,35	55,97	-75,96	145,28	737,09
20 m	-212,14	298,18	16,00	1,03	373,62	34,97	-49,15	196,45	622,65
25 m	-142,05	207,25	14,00	0,82	346,17	21,32	-31,10	225,44	522,32
30 m	-90,40	139,08	12,00	0,64	313,56	12,44	-19,14	235,60	433,50
35 m	-54,05	87,68	10,00	0,50	275,75	7,16	-11,61	228,86	351,82
40 m	-28,39	49,24	8,00	0,39	231,54	3,99	-6,92	207,13	273,86
45 m	-10,61	19,44	6,00	0,32	181,33	2,27	-4,16	172,99	196,61
49 m	0,00	0,00	4,00	0,28	124,66	1,26	-2,46	125,92	122,20
50,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los esfuerzos en cada tramo de los voladizos cumplen el objetivo del pre-esforzado, manteniendo toda la sección en compresión, tanto arriba como abajo. Verificando que no exceda el límite de compresión $\sigma < 0.55 f'c^{14}$, se obtiene:

Tabla 5. Verificación de esfuerzos a compresión

Tramo (m)	F usado (Ton)	M=F*e (Ton-m)	verif σ (Ton/m ²)	0.55 f'c	
				f'c=2800 t/m ²	
5 m	5265.75	9952.27	737.58	1540.00	CUMPLE
10 m	4787.05	7515.66	637.60	1540.00	CUMPLE
15 m	4308.34	5514.68	552.36	1540.00	CUMPLE
20 m	3829.64	3944.53	479.42	1540.00	CUMPLE
25 m	3350.93	2747.76	414.81	1540.00	CUMPLE
30 m	2872.23	1838.23	355.27	1540.00	CUMPLE
35 m	2393.52	1196.76	298.85	1540.00	CUMPLE
40 m	1914.82	746.78	242.17	1540.00	CUMPLE
45 m	1436.11	459.56	183.98	1540.00	CUMPLE
49 m	957.41	268.07	123.40	1540.00	CUMPLE
50 m	478.70	129.25	62.14	1540.00	CUMPLE

El esfuerzo del concreto usado para la estructura es de $f'c = 2800 \text{ ton/m}^2$

¹⁴Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, CCP a.8.7.2.1.2.

3.2 TIEMPO DE SERVICIO

Para el montaje de la estructura en el software en el tiempo de servicio de la misma, se realiza un previo dimensionamiento de todas las partes de la estructura, luz libre y sección transversal, al igual que las pilas que la soportarían.

Conociendo las secciones transversales del tablero se procedió al montaje en el programa (SAP 2000), de tal forma, que fuera lo más realista posible en su variación parabólica, sus propiedades y características como lo mencionado anteriormente.

Se toma cuidadosamente las cargas de la estructura tales como carga muerta, carga viva, carga de impacto, cargas por sismo, y sus diferentes combos que señala la norma al igual que en el proceso constructivo.

Para iniciar el montaje y análisis de la estructura en tiempo de servicio es necesario conocer lo que dejan los cables en el proceso constructivo luego de instalada la dovela de cierre y que serán tenidos en cuenta a la hora de analizar y pensar en el tiempo de servicio.

Inicialmente se tiene en cuenta las diferentes cargas (ver anexo 4), que son empleadas en la estructura en su respectiva secuencia, tales como:

- Carga muerta por peso propio
- Carga muerta por accesorios
- Carga por pérdida de flujo plástico del concreto
- Carga viva o sismo

HIPOTESIS CON CARGA VIVA

Se muestra el análisis que tiene la carga viva sobre la estructura, realizando un análisis exclusivo para dicha carga.

Estas cargas nos proporcionan momentos que deben ser tenidos en cuenta junto a los hiperestáticos de construcción, para su respectiva verificación y análisis en el instante de diseñar el pre-esforzado, dado que estas nos indicaran donde realmente se requiere emplear cables.

Tabla 6. Momentos generales en la estructura

	TRAMO (m)	MOMENTOS (Ton-m)				MCRc	HIPERESTATICO POR CABLE1 CON CIERRE
		PESO PROPIO	ACCESORIOS	VIVA 1	VIVA 2		
VANO LATERAL	0	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	129.25
	5	1039.84	85.05	293.94	-188.42	-0.67	-98.57
	10	1496.11	107.53	525.86	-376.85	-1.86	13.47
	15	1345.08	67.43	695.76	-565.27	-3.91	-214.34
	20	563.08	-35.23	803.65	-753.70	-7.35	-202.81
	25	-873.77	-200.47	849.53	-942.12	-13.15	-124.26
	30	-2989.07	-428.29	702.83	-1130.55	-22.33	40.45
	35	-5806.57	-718.69	494.11	-1318.97	-36.85	305.69
	40	-9350.01	-1071.66	223.38	-1507.40	-59.19	1442.18
	45	-13643.11	-1487.21	-109.36	-1790.94	-91.95	1214.36
	50	-18709.60	-1965.32	-504.13	-2368.33	-138.58	1891.29
VANO CENTRAL	50	-24036.21	-2598.24	-79.09	-3210.09	-138.58	3358.05
	55	-18158.23	-2003.80	-79.09	-2538.91	-91.95	3358.05
	60	-13043.26	-1471.94	-79.09	-1929.07	-59.19	2453.30
	65	-8657.31	-1002.64	-79.09	-1380.54	-36.85	1701.73
	70	-4966.40	-595.91	-79.09	-893.34	-22.33	1088.99
	75	-1936.53	-251.79	-79.09	-467.47	-13.15	595.93
	80	466.26	29.83	88.98	-102.93	-7.35	203.39
	85	2275.99	248.85	344.22	-79.09	-3.91	-102.97
	90	3526.65	405.30	545.99	-79.09	-1.86	-342.32
	94.99	4252.21	499.19	707.09	-79.09	-0.67	-529.01
	95.01	4252.21	499.19	707.09	-79.09	-0.67	-529.01
	99	4477.43	529.25	791.09	-79.09	-0.16	-682.19
	100	4486.66	530.50	805.78	-79.09	-0.03	-682.19

Nota: El cable 1 es tomado como el empleado en el proceso constructivo ubicado en la parte superior de la sección.

Tabla 7. Acumulados de cargas para diseño de pre-esforzado

σ_{sa}	D_{pp} : muerta peso propio	D_{ac} : muerta accesorios	C_{rc} : flujo plástico del concreto	L : viva
Acumulado 1	X			
Acumulado 2	X	X		
Acumulado 3	X	X	X	
Acumulado 4	X	X	X	X

Se procede a la búsqueda de los momentos acumulados que generan las diferentes cargas y que indicará cual es el mas critico para el diseño del pre-esforzado

Tabla 8. Acumulado de momentos para diseño de pre-esforzado

TRAMO (m)	MOMENTOS ACUMULADOS (Ton-m)						
	PESO PROPIO	PESO PROPIO+CABLE ₁	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+VIVA		
VANO LATERAL	0	0.00	129.25	129.25	129.22	129.22	129.22
	5	1039.84	941.27	1026.32	1025.65	1319.59	837.23
	10	1496.11	1509.58	1617.11	1615.25	2141.11	1238.40
	15	1345.08	1130.74	1198.17	1194.26	1890.02	628.99
	20	563.08	360.27	325.04	317.69	1121.34	-436.01
	25	-873.77	-998.03	-1198.50	-1211.65	-362.12	-2153.77
	30	-2989.07	-2948.62	-3376.91	-3399.24	-2696.41	-4529.79
	35	-5806.57	-5500.88	-6219.57	-6256.42	-5762.31	-7575.39
	40	-9350.01	-7907.83	-8979.49	-9038.68	-8815.30	-10546.08
	45	-13643.11	-12428.75	-13915.96	-14007.91	-14117.27	-15798.85
	50	-18709.60	-16818.31	-18783.63	-18922.21	-19426.34	-21290.54
VANO CENTRAL	50	-24036.21	-20678.16	-23276.40	-23414.98	-23494.07	-26625.07
	55	-18158.23	-14800.18	-16803.98	-16895.93	-16975.02	-19434.84
	60	-13043.26	-10589.96	-12061.90	-12121.09	-12200.18	-14050.16
	65	-8657.31	-6955.58	-7958.22	-7995.07	-8074.16	-9375.61
	70	-4966.40	-3877.41	-4473.32	-4495.65	-4574.74	-5388.99
	75	-1936.53	-1340.60	-1592.39	-1605.54	-1684.63	-2073.01
	80	466.26	669.65	699.48	692.13	781.11	589.20
	85	2275.99	2173.02	2421.87	2417.96	2762.18	2338.87
	90	3526.65	3184.33	3589.63	3587.77	4133.76	3508.68
	94.99	4252.21	3723.20	4222.39	4221.72	4928.81	4142.63
	95.01	4252.21	3723.20	4222.39	4221.72	4928.81	4142.63
99	4477.43	3795.24	4324.49	4324.33	5115.42	4245.24	
100	4486.66	3804.47	4334.97	4334.94	5140.72	4255.85	

Se procede al cálculo de pre-esfuerzo con los diferentes acumulados que nos proporcionan las cargas, buscando el caso más crítico, de la misma forma en que fue hallado en el proceso constructivo.

Tabla 9. Estado más crítico para el diseño de pre-esforzado

TRAMO (m)	PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+ FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+VIVA (Ton/m2)					
	ESFUERZO EN EL CONCRETO		Σ_{TOTAL}		VIVA 1	
	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	¿NECESITA CABLE?	
VANO LATERAL	0	0.60	-1.19	0.60	-1.19	SI
	5	6.51	-11.94	190.11	165.23	NO
	10	11.44	-19.84	246.97	204.77	NO
	15	11.30	-18.34	294.21	245.80	NO
	20	7.59	-11.68	333.59	282.75	NO
	25	-2.81	4.10	364.68	319.17	NO
	30	-23.90	33.60	384.69	358.07	NO
	35	-58.49	79.37	393.84	399.76	NO
	40	-102.30	134.49	400.46	435.37	NO
	45	-185.92	239.51	427.53	525.78	NO
50	-307.52	451.21	340.10	596.27	NO	
VANO CENTRAL	50	-371.92	545.69	275.71	690.75	NO
	55	-223.56	287.99	389.90	574.27	NO
	60	-141.58	186.14	361.18	487.01	NO
	65	-81.95	111.22	370.37	431.61	NO
	70	-40.55	57.00	368.04	381.48	NO
	75	-13.07	19.07	354.42	334.14	NO
	80	5.29	-8.13	331.29	286.29	NO
	85	16.52	-26.80	299.43	237.34	NO
	90	22.09	-38.31	257.62	186.30	NO
	94.99	24.32	-44.60	207.92	132.57	NO
	95.01	24.32	-44.60	207.92	132.57	NO
	99	24.02	-46.98	149.94	75.23	NO
100	23.81	-47.26	23.81	-47.26	SI	

"Necesita cable a 100 m en el tramo (vano central) en 0 m es muy pequeño no requiere cables"

Con la anterior combinación se muestra donde realmente se requieren cables de pre-esforzado, de allí se puede calcular los cables a emplear.

Tabla 10. Diseño de pre-esforzado

$M_{acc+pp+v1}$ (Ton-m)	F (Ton)	# TORONES requerida	cables de 7 torones	Cables por cada dovela	# cables
5140.72	175.29	12.45	1.78	2	2

Verificando que los cables me cumplan a la compresión de la sección;

Tabla 11. Verificación de cables a compresión del concreto

Tramo (m)	F usado (Ton)	M=F*e (Ton-m)	verif σ (Ton/m ²)	0.40 f' _c f' _c =2800 t/m ²	cumple a compresión?
95	197.11	201.06	24.89	1120	cumple
99	197.11	203.03	25.67	1120	cumple
100	197.11	203.03	25.83	1120	cumple

Si se observa los esfuerzos que nos proporcionan los cables justo en el tramo central del vano, se obtiene;

Tabla 12. Esfuerzos del pre-esforzado

TRAMO (m)	Esfuerzo del pre-esforzado (Ton/m ²)		
	Esfuerzo producido por la fuerza	Esfuerzo producido por el momento	
		Arriba	Abajo
95	24.89	-0.99	1.82
99	25.67	-0.95	1.86
100	25.83	-0.94	1.87

En esta ocasión se revisa que los esfuerzos producidos estén a compresión y no superen el límite de $0.4 f'c$ ¹⁵

Tabla 13. Verificación de la compresión en cada uno de los estados.

TRAMO (m)	REQUERIMIENTO	ESTADO 1 (Ton/m2)		ESTADO 2 (Ton/m2)		ESTADO 3 (Ton/m2)		ESTADO 4 (Ton/m2)		ESTADO 5 (Ton/m2)	
		ΣARRIBA	ΣBAJO	ΣARRIBA	ΣBAJO	ΣARRIBA	ΣBAJO	ΣARRIBA	ΣBAJO	ΣARRIBA	ΣBAJO
95	¿Esfuerzos a compresión? $\sigma < 0.4f'c$	228.48	165.40	225.87	170.19	228.33	165.67	228.33	165.68	231.82	159.28
		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	
		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
99	¿Esfuerzos a compresión? $\sigma < 0.4f'c$	171.66	108.61	168.45	114.88	170.94	110.02	170.94	110.02	174.65	102.76
		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	
		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
100	¿Esfuerzos a compresión? $\sigma < 0.4f'c$	45.67	-13.55	42.51	-7.28	44.97	-12.15	44.97	-12.15	48.70	-19.56
		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	
		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 14. Acumulados de carga con hiperestático en servicio

σ_{sa}	D_{pp} : muerta peso propio	H_{ser} : hiperestático pre esforzado	D_{ac} : muerta accesorios	C_{rc} : flujo plástico del concreto	L : viva
Acumulado 1	X				
Acumulado 2	X	X			
Acumulado 3	X	X	X		
Acumulado 4	X	X	X	X	
Acumulado 5	X	X	X	X	X

Con los nuevos cables a implementar es necesario el cálculo de los momentos hiperestáticos producidos por el pre-esforzado, para ser incrementado en cada uno de los acumulados de las cargas nombradas anteriormente y que a su vez deben ser verificados nuevamente uno a uno su cumplimiento en compresión dado por el criterio, $\sigma < 0.4 f'c$.

¹⁵ Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, CCP A 8.7.2.1.2.2.

Tabla 15. Influencia del momento hiperestático en cada estado.

TRAMO (m)	MOMENTO HIPERESTATICO POR CABLE ₂ (Ton- m)	Esfuerzo producido por el momento (Ton/m ²)		ESTADO 1 (Ton/m ²)		ESTADO 2 (Ton/m ²)		ESTADO3 (Ton/m ²)		ESTADO 4 (Ton/m ²)		ESTADO 5 (Ton/m ²)		
		Arriba	Abajo											
VANO LATERAL	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	-1.19	0.60	-1.19	0.60	-1.19	0.60	-1.19
	5	3.36	0.02	-0.03	188.74	167.73	188.26	168.62	188.68	167.85	188.67	167.86	190.12	165.20
	10	6.73	0.04	-0.06	243.56	210.69	243.63	210.56	244.21	209.57	244.20	209.58	247.01	204.71
	15	10.09	0.06	-0.10	291.01	250.99	289.73	253.07	290.14	252.42	290.11	252.46	294.27	245.70
	20	13.46	0.09	-0.14	329.90	288.42	328.53	290.53	328.29	290.90	328.24	290.97	333.68	282.61
	25	16.83	0.13	-0.19	360.84	324.77	359.87	326.18	358.32	328.45	358.22	328.59	364.81	318.98
	30	20.19	0.18	-0.25	382.27	361.47	382.63	360.96	378.83	366.30	378.64	366.58	384.87	357.82
	35	23.56	0.24	-0.32	393.63	400.05	396.73	395.84	389.44	405.74	389.06	406.24	394.08	399.44
	40	26.92	0.31	-0.41	394.57	443.12	411.30	421.11	398.87	437.46	398.18	438.37	400.77	434.96
	45	30.29	0.40	-0.51	434.18	517.23	450.17	496.62	430.58	521.85	429.37	523.41	427.93	525.27
50	33.65	0.53	-0.78	351.98	578.84	381.92	534.91	350.81	580.56	348.62	583.78	340.64	595.49	
VANO CENTRAL	50	63.94	1.01	-1.49	268.14	701.86	321.30	623.86	280.17	684.21	277.97	687.43	276.72	689.27
	55	63.94	0.84	-1.08	375.16	593.26	419.38	536.29	392.99	570.28	391.78	571.84	390.74	573.18
	60	63.94	0.74	-0.98	352.14	498.90	380.61	461.47	363.53	483.93	362.84	484.83	361.92	486.04
	65	63.94	0.65	-0.88	365.10	438.76	382.38	415.32	372.20	429.13	371.82	429.64	371.02	430.73
	70	63.94	0.57	-0.80	365.13	385.56	374.78	371.99	369.50	379.42	369.30	379.69	368.60	380.68
	75	63.94	0.50	-0.72	352.96	336.27	357.58	329.52	355.63	332.37	355.53	332.52	354.91	333.41
	80	63.94	0.43	-0.67	329.59	288.90	330.97	286.78	331.17	286.47	331.12	286.55	331.72	285.62
	85	63.94	0.38	-0.62	296.90	241.44	296.29	242.44	297.78	240.02	297.75	240.06	299.81	236.72
	90	63.94	0.34	-0.59	254.72	191.34	252.89	194.51	255.05	190.76	255.04	190.77	257.96	185.71
	94.99	63.94	0.32	-0.58	204.90	138.12	202.29	142.90	204.75	138.39	204.75	138.39	208.24	132.00
	95.01	-137.11	-0.68	1.24	203.90	139.94	201.29	144.72	203.76	140.21	203.75	140.21	207.24	133.81
	99	-137.11	-0.64	1.26	146.30	82.34	143.10	88.61	145.58	83.75	145.58	83.75	149.30	76.48
100	-137.11	-0.64	1.26	45.04	-12.29	41.88	-6.02	44.34	-10.89	44.34	-10.89	48.07	-18.30	

La totalidad de las tablas se pueden apreciar en el anexo 5

HIPOTESIS CON SISMO

Se muestra el análisis que tiene la carga de sismo sobre la estructura, realizando un análisis exclusivo para esta carga.

Tabla 16. Tablas generales de hipótesis con sismo

TRAMO (m)	MOMENTOS (Ton-m)					M _{CRc}	HIPERESTATICO POR CABLE ₁ CON CIERRE
	PESO PROPIO	ACCESORIOS	SISMO 1	SISMO 2			
VANO LATERAL	0	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	129.25
	5	1039.84	85.05	661.53	-661.53	-0.67	-98.57
	10	1496.11	107.53	1323.07	-1323.07	-1.86	13.47
	15	1345.08	67.43	1984.61	-1984.61	-3.91	-214.34
	20	563.08	-35.23	2646.15	-2646.15	-7.35	-202.81
	25	-873.77	-200.47	3307.69	-3307.69	-13.15	-124.26
	30	-2989.07	-428.29	3969.22	-3969.22	-22.33	40.45
	35	-5806.57	-718.69	4630.76	-4630.76	-36.85	305.69
	40	-9350.01	-1071.66	5292.30	-5292.30	-59.19	1442.18
	45	-13643.11	-1487.21	5953.84	-5953.84	-91.95	1214.36
50	-18709.60	-1965.32	6615.38	-6615.38	-138.58	1891.29	
VANO CENTRAL	50	-24036.21	-2598.24	5430.12	-5430.12	-138.58	3358.05
	55	-18158.23	-2003.80	4873.49	-4873.49	-91.95	3358.05
	60	-13043.26	-1471.94	4318.13	-4318.13	-59.19	2453.30
	65	-8657.31	-1002.64	3764.61	-3764.61	-36.85	1701.73
	70	-4966.40	-595.91	3213.88	-3213.88	-22.33	1088.99
	75	-1936.53	-251.79	2667.66	-2667.66	-13.15	595.93
	80	466.26	29.83	2129.44	-2129.44	-7.35	203.39
	85	2275.99	248.85	1607.26	-1607.26	-3.91	-102.97
	90	3526.65	405.30	1123.74	-1123.74	-1.86	-342.32
	94.99	4252.21	499.19	756.78	-756.78	-0.67	-529.01
	95.01	4252.21	499.19	756.78	-756.78	-0.67	-529.01
	99	4477.43	529.25	521.83	-521.83	-0.18	-682.19
100	4486.66	530.50	512.45	-512.45	-0.03	-682.19	

TRAMO (m)	MOMENTOS ACUMULADOS (Ton-m)					PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS+ FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+SISMO	
	PESO PROPIO	PESO PROPIO+CABLE ₁	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO	PESO PROPIO+CABLE ₁ +ACCESORIOS+ FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+SISMO		
VANO LATERAL	0	0.00	129.25	129.25	129.22	129.22	129.22
	5	1039.84	941.27	1026.32	1025.65	1687.18	364.12
	10	1496.11	1509.58	1617.11	1615.25	2938.32	292.18
	15	1345.08	1130.74	1198.17	1194.26	3178.87	-790.35
	20	563.08	360.27	325.04	317.69	2963.84	-2328.46
	25	-873.77	-998.03	-1198.50	-1211.65	2096.04	-4519.34
	30	-2989.07	-2948.62	-3376.91	-3399.24	569.98	-7368.46
	35	-5806.57	-5500.88	-6219.57	-6256.42	-1625.66	-10887.18
	40	-9350.01	-7907.83	-8979.49	-9038.68	-3746.38	-14330.98
	45	-13643.11	-12428.75	-13915.96	-14007.91	-8054.07	-19961.75
	50	-18709.60	-16818.31	-18783.63	-18922.21	-12306.83	-25537.59
VANO CENTRAL	50	-24036.21	-20678.16	-23276.40	-23414.98	-17984.86	-28845.10
	55	-18158.23	-14800.18	-16803.98	-16895.93	-12022.44	-21769.42
	60	-13043.26	-10589.96	-12061.90	-12121.09	-7802.96	-16439.22
	65	-8657.31	-6955.58	-7958.22	-7995.07	-4230.46	-11759.68
	70	-4966.40	-3877.41	-4473.32	-4495.65	-1281.77	-7709.53
	75	-1936.53	-1340.60	-1592.39	-1605.54	1062.12	-4273.20
	80	466.26	669.65	699.48	692.13	2821.57	-1437.31
	85	2275.99	2173.02	2421.87	2417.96	4025.22	810.70
	90	3526.65	3184.33	3589.63	3587.77	4711.51	2464.03
	94.99	4252.21	3723.20	4222.39	4221.72	4978.50	3464.94
	95.01	4252.21	3723.20	4222.39	4221.72	4978.50	3464.94
99	4477.43	3795.24	4324.49	4324.31	4846.14	3802.48	
100	4486.66	3804.47	4334.97	4334.94	4847.39	3822.49	

	PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+ FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+SISMO					(Ton/m2)
	TRAMO (m)	ESFUERZO EN EL CONCRETO		Σ_{TOTAL}		SISMO 1
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	¿NECESITA CABLE?
VANO LATERAL	0	0.60	-1.19	0.60	-1.19	SI
	5	8.33	-15.27	191.92	161.90	NO
	10	15.70	-27.23	251.23	197.38	NO
	15	19.01	-30.84	301.92	233.30	NO
	20	20.06	-30.86	346.06	263.56	NO
	25	16.26	-23.72	383.75	291.35	NO
	30	5.05	-7.10	413.64	317.37	NO
	35	-16.50	22.39	435.82	342.78	NO
	40	-43.48	57.16	459.28	358.03	NO
	45	-106.07	136.64	507.39	422.92	NO
	50	-194.82	285.85	452.81	430.91	NO
VANO CENTRAL	50	-284.70	417.73	362.92	562.79	NO
	55	-158.34	203.97	455.12	490.24	NO
	60	-90.55	119.05	412.21	419.93	NO
	65	-42.94	58.27	409.39	378.66	NO
	70	-11.36	15.97	397.23	340.44	NO
	75	8.24	-12.02	375.73	303.05	NO
	80	19.10	-29.38	345.10	265.04	NO
	85	24.07	-39.05	306.98	225.09	NO
	90	25.18	-43.67	260.71	180.95	NO
	94.99	24.57	-45.05	208.17	132.12	NO
	95.01	24.57	-45.05	208.17	132.12	NO
	99	22.75	-44.50	148.67	77.70	NO
	100	22.45	-44.57	22.45	-44.57	SI

$M_{acc+pp+v1}$ (Ton-m)	F (Ton)	# TORONES requerida	cables de 7 torones	Cables por cada dovela	# cables
4847.39	165.28	11.74	1.68	2	2

Tramo (m)	F usado (Ton)	M=F*e (Ton-m)	verif σ (Ton/m ²)	0.40 f'c f'c=2800 t/m ²	cumple a compresion?
95	197.11	201.06	24.89	1120	cumple
99	197.11	203.03	25.67	1120	cumple
100	197.11	203.03	25.83	1120	cumple

TRAMO (m)	Esfuerzo del pre-esforzado (Ton/m ²)		
	Esfuerzo producido por la fuerza	Esfuerzo producido por el momento	
		Arriba	Abajo
95	24.89	-0.99	1.82
99	25.67	-0.95	1.86
100	25.83	-0.94	1.87

Verificación de los requerimientos

TRAMO (m)	REQUERIMIENTO	ESTADO 1 (Ton/m ²)		ESTADO 2 (Ton/m ²)		ESTADO 3 (Ton/m ²)		ESTADO 4 (Ton/m ²)		ESTADO 5 (Ton/m ²)	
		Σ ARRIBA	Σ ABAJO	Σ ARRIB A	Σ ABAJ O	Σ ARRIB A	Σ ABAJ O	Σ ARRIB A	Σ ABAJ O	Σ ARRIB A	Σ ABAJ O
95	<u>¿esfuerzos a compresion?</u> $\sigma \leq 0,4f'c$	228.48	165.40	225.87	170.19	228.33	165.67	228.33	165.68	232.06	158.83
		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	
99	<u>¿esfuerzos a compresion?</u> $\sigma \leq 0,4f'c$	171.66	108.61	168.45	114.88	170.94	110.02	170.94	110.02	173.39	105.23
		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	
100	<u>¿esfuerzos a compresion?</u> $\sigma \leq 0,4f'c$	45.67	-13.55	42.51	-7.28	44.97	-12.15	44.97	-12.15	47.34	-16.87
		NO CUMPLE		NO CUMPLE		NO CUMPLE		NO CUMPLE		NO CUMPLE	

NOTA: LA MAXIMA RESISTENCIA A TRACCION ES $(0,62\sqrt{f'c})$ QUE PARA ESTE CASO EQUIVALE A 32,80 TON/m², POR LO TANTO EN EL TRAMO "0" PARA LOS CASOS 1,2,3,4 Y 5 SE CUMPLE DICHA MINIMA RESISTENCIA Y NO ES NECESARIO PREESFORZAR EL CONCRETO.

Resultados de esfuerzos en cada estado

	TRAMO (m)	MOMENTO HIPERESTATICO POR CABLE ₂ (Ton- m)	Esfuerzo por el momento (Ton/m ²)		ESTADO 1 (Ton/m ²)		ESTADO 2 (Ton/m ²)		ESTADO3 (Ton/m ²)		ESTADO 4 (Ton/m ²)		ESTADO 5 (Ton/m ²)	
			Arriba	Abajo										
VANO LATERAL	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	-1.19	0.60	-1.19	0.60	-1.19	0.60	-1.19
	5	3.36	0.02	-0.03	188.74	167.73	188.26	168.62	188.68	167.85	188.67	167.86	191.94	161.87
	10	6.73	0.04	-0.06	243.56	210.69	243.63	210.56	244.21	209.57	244.20	209.58	251.27	197.32
	15	10.09	0.06	-0.10	291.01	250.99	289.73	253.07	290.14	252.42	290.11	252.46	301.98	233.20
	20	13.46	0.09	-0.14	329.90	288.42	328.53	290.53	328.29	290.90	328.24	290.97	346.15	263.42
	25	16.83	0.13	-0.19	360.84	324.77	359.87	326.18	358.32	328.45	358.22	328.59	383.88	291.16
	30	20.19	0.18	-0.25	382.27	361.47	382.63	360.96	378.83	366.30	378.64	366.58	413.82	317.12
	35	23.56	0.24	-0.32	393.63	400.05	396.73	395.84	389.44	405.74	389.06	406.24	436.06	342.46
	40	26.92	0.31	-0.41	394.57	443.12	411.30	421.11	398.87	437.46	398.18	438.37	459.60	357.62
	45	30.29	0.40	-0.51	434.18	517.23	450.17	496.62	430.58	521.85	429.37	523.41	507.79	422.40
	50	33.65	0.53	-0.78	351.98	578.84	381.92	534.91	350.81	580.56	348.62	583.78	453.34	430.12
VANO CENTRAL	50	63.94	1.01	-1.49	268.14	701.86	321.30	623.86	280.17	684.21	277.97	687.43	363.93	561.30
	55	63.94	0.84	-1.08	375.16	593.26	419.38	536.29	392.99	570.28	391.78	571.84	455.96	489.16
	60	63.94	0.74	-0.98	352.14	498.90	380.61	461.47	363.53	483.93	362.84	484.83	412.95	418.95
	65	63.94	0.65	-0.88	365.10	438.76	382.38	415.32	372.20	429.13	371.82	429.64	410.04	377.78
	70	63.94	0.57	-0.80	365.13	385.56	374.78	371.99	369.50	379.42	369.30	379.69	397.79	339.65
	75	63.94	0.50	-0.72	352.96	336.27	357.58	329.52	355.63	332.37	355.53	332.52	376.22	302.33
	80	63.94	0.43	-0.67	329.59	288.90	330.97	286.78	331.17	286.47	331.12	286.55	345.53	264.38
	85	63.94	0.38	-0.62	296.90	241.44	296.29	242.44	297.78	240.02	297.75	240.06	307.37	224.47
	90	63.94	0.34	-0.59	254.72	191.34	252.89	194.51	255.05	190.76	255.04	190.77	261.05	180.36
	94.99	63.94	0.32	-0.58	204.90	138.12	202.29	142.90	204.75	138.39	204.75	138.39	208.48	131.55
	95.01	-137.11	-0.68	1.24	203.90	139.94	201.29	144.72	203.76	140.21	203.75	140.21	207.49	133.36
	99	-137.11	-0.64	1.26	146.30	82.34	143.10	88.61	145.58	83.75	145.58	83.75	148.03	78.96
	100	-137.11	-0.64	1.26	45.04	-12.29	41.88	-6.02	44.34	-10.89	44.34	-10.89	46.71	-15.61

		RESISTENCIA MAXIMA A COMPRESION $\sigma \leq 0,4f_c$									
TRAMO (m)		ESTADO 1		ESTADO 2		ESTADO 3		ESTADO 4		ESTADO 5	
VANO LATERAL	0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	15	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	20	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	30	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	40	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
VANO CENTRAL	50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	75	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	80	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	90	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	94.99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	95.01	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

La totalidad de las tablas se pueden apreciar en el anexo 5

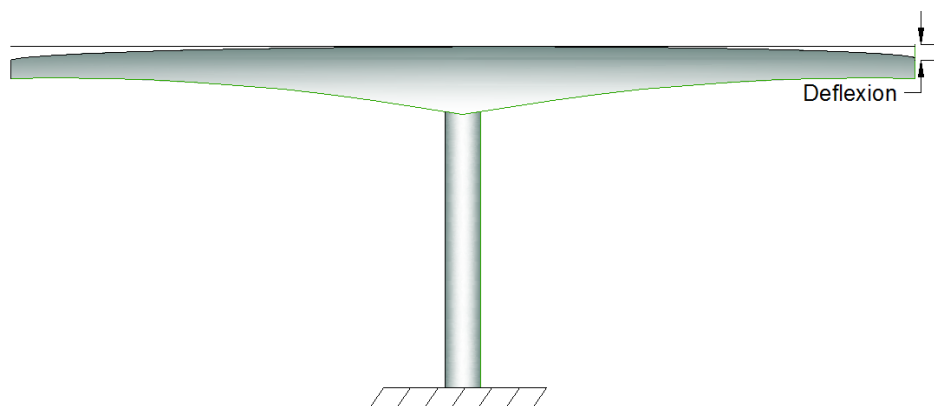
3.3 DESCRIPCION DE DEFORMACIONES

Vale notar que los desplazamientos en puentes por voladizos sucesivos son muy cambiantes dependiendo del estado en que se encuentre el proceso.

Para un análisis paso a paso de los movimientos o desplazamientos que puede tener la estructura o mejor aún, el tablero, es válido aclarar que desde el momento mismo de la planeación y el diseño se tienen en cuenta los desplazamientos que pueden generar la construcción.

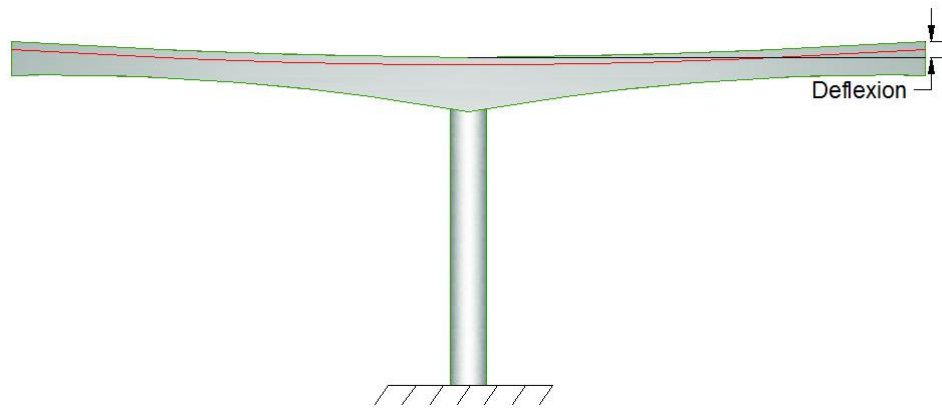
Iniciada la construcción en especial de la primera dovela y en adelante, es necesario dejar una pequeña inclinación en la formaleta que se emplea y que será descrita directamente desde el diseño, esto para tener en cuenta la deformación producida por el peso del material al momento del vaciado y demás. Esta deformación por lo general tiende a dejar el voladizo en un nivel por debajo de la horizontal.

Figura 22. Deformación luego del vaciado



Con la instalación del pre-esforzado, el voladizo tratará de recuperar su nivel y ascenderá un poco por encima del nivel horizontal, quedando así lista para un nuevo avance en el tramo.

Figura 23. Deformación con pre-esforzado



Analizando la estructura en su tiempo de servicio es decir cuando el puente está terminado, ya con la postura final de la dovela de cierre del voladizo y sus respectivas cargas, se puede apreciar en algunos casos cierta deformación en los vanos, especialmente en la luz central, que por medio del pre-esforzado se logrará una nivelación definitiva que mantendrá el puente de la mejor forma posible, nivelándose así toda la estructura

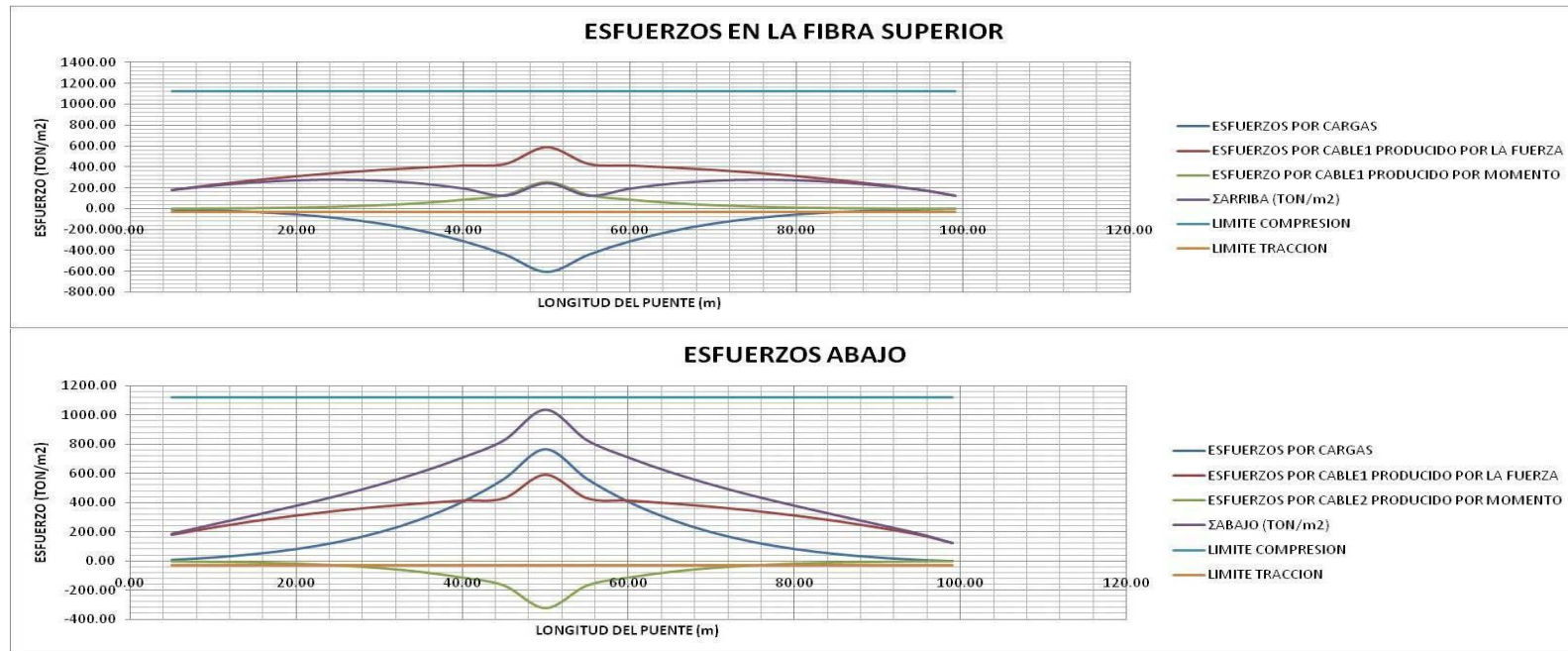
Figura 24. Deformación estructura completa.



4. RESULTADOS Y ANALISIS

PROCESO CONSTRUCTIVO

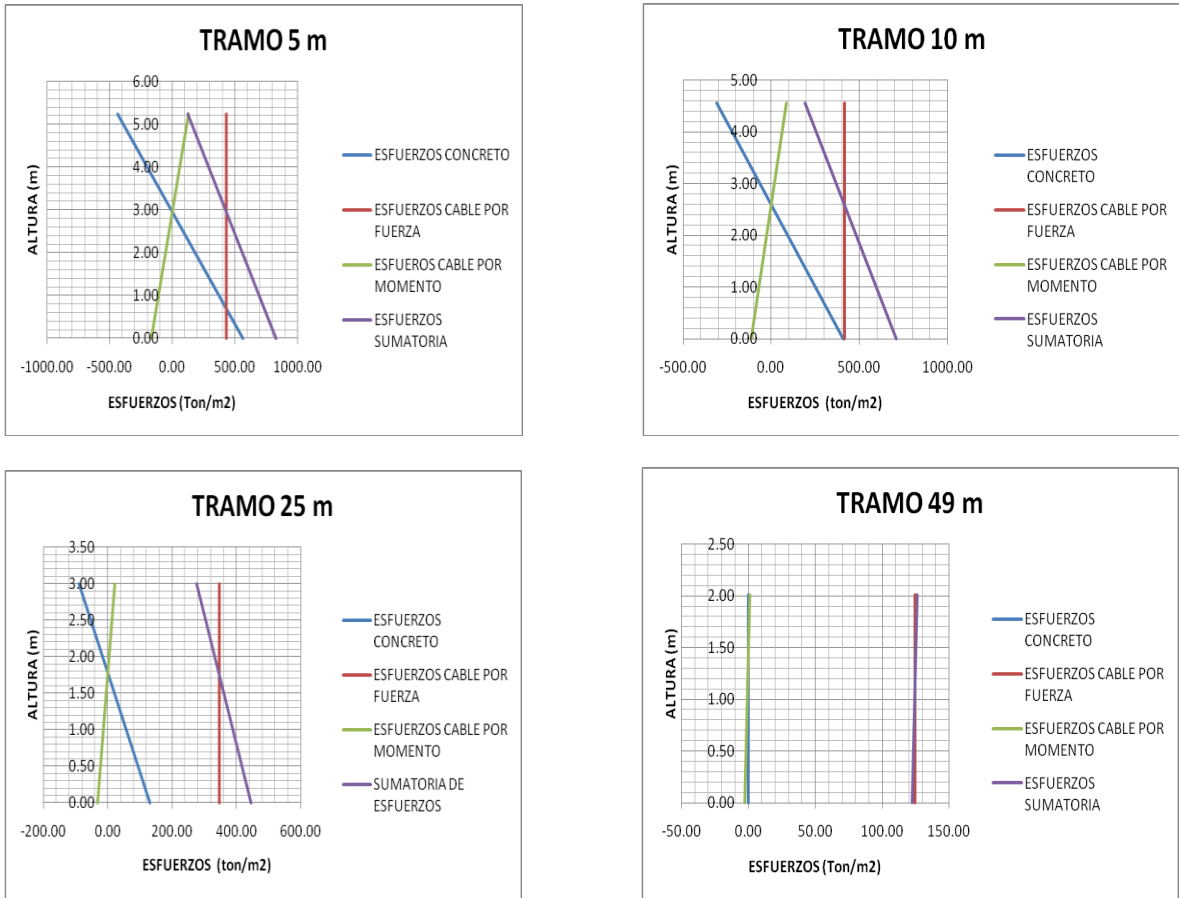
Figura 25. Esfuerzos generales proceso constructivo



Al obtener solo momentos negativos la solicitud del pre-esforzado es en la fibra superior, ya que allí es donde se producen las tracciones.

No se obtiene un pre-esforzado ideal dado que se emplea un área de cable mucho mayor que la solicitud (observar resultados en gráficos y anexos).

Figura 26. Esfuerzos por tramos proceso constructivo

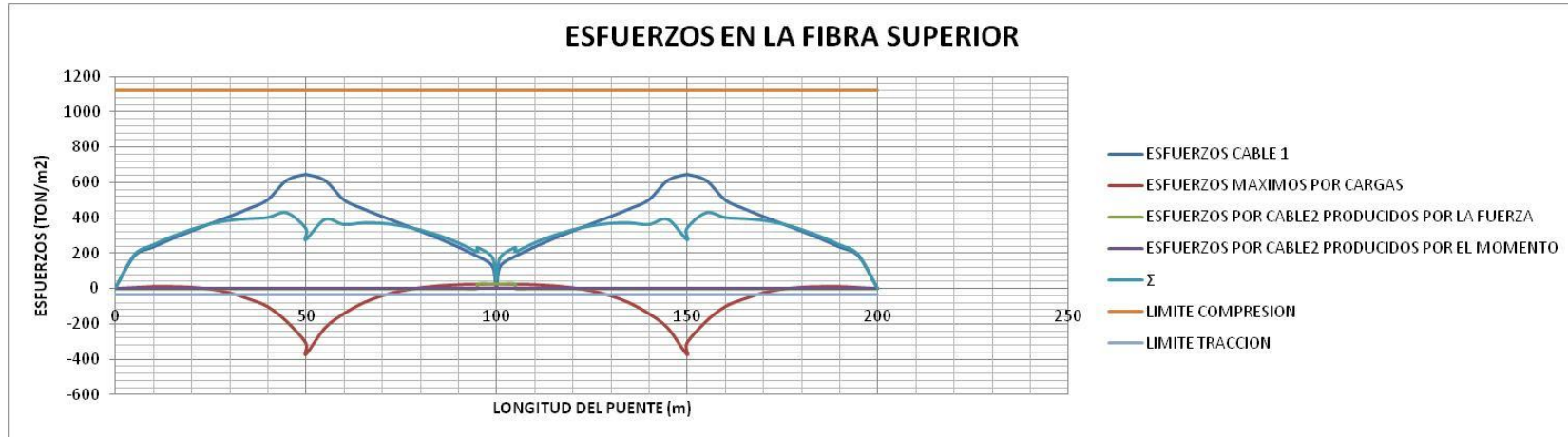


Se puede apreciar que en todas las secciones los esfuerzos cumplen con los límites de tracciones ($-0,62\sqrt{f'c} = -32.8 \text{ ton/m}^2$) y compresiones ($0.55 f'c = 1540 \text{ ton/m}^2$).

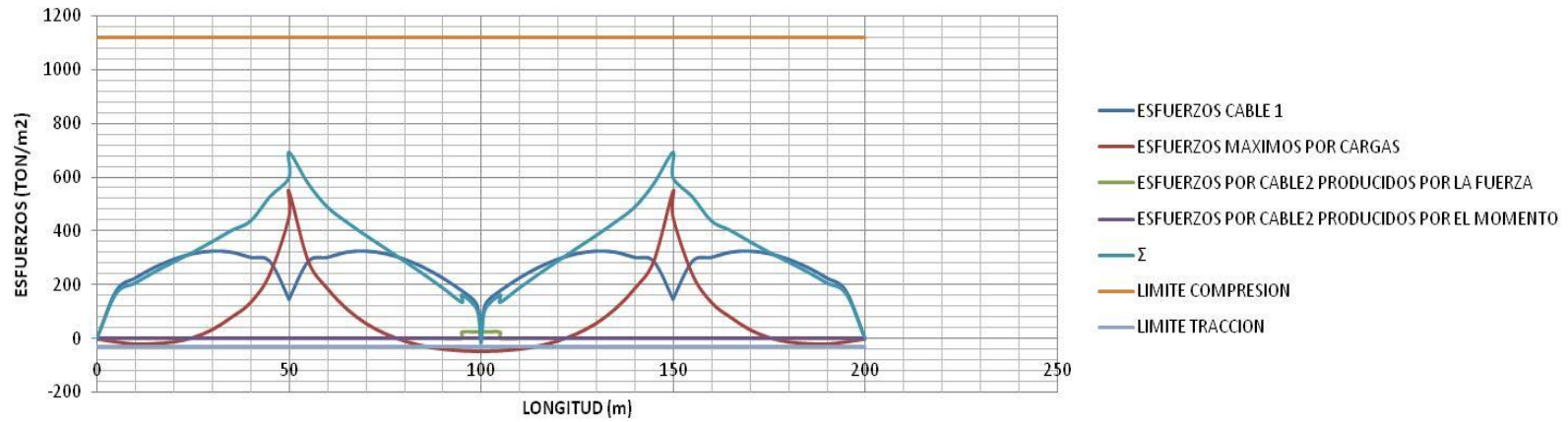
TIEMPO DE SERVICIO

HIPOTESIS CARGA VIVA

Figura 27. Esfuerzos generales en servicio hipótesis carga viva



ESFUERZOS EN LA FIBRA INFERIOR



ESFUERZOS EN LA FIBRA INFERIOR TRAMO (95-105)m

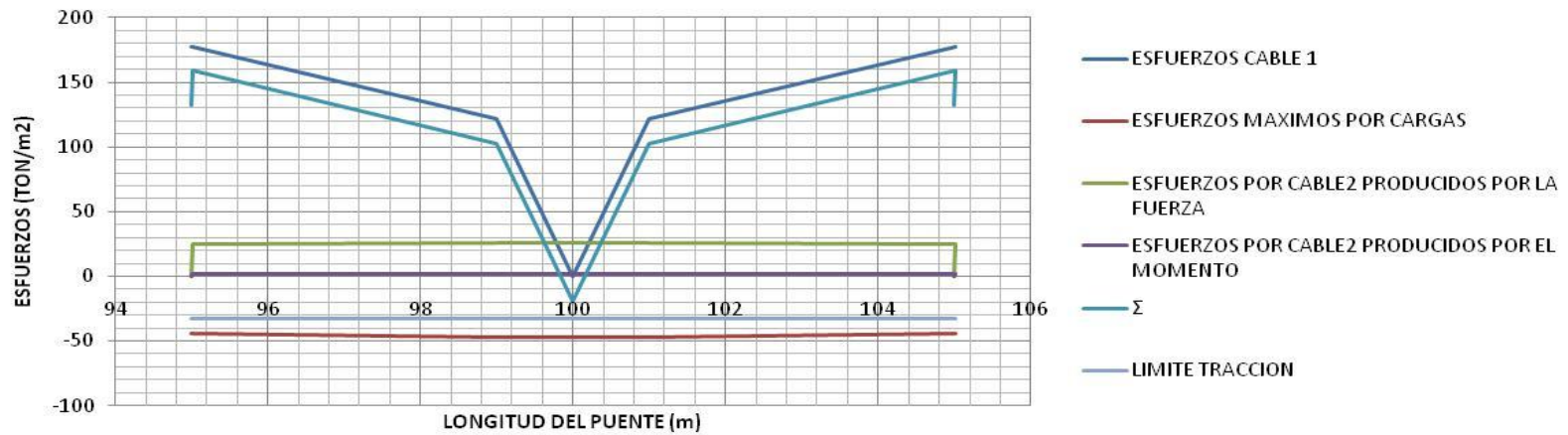
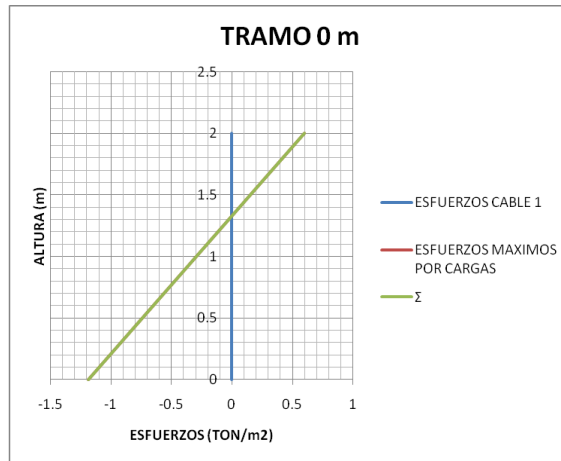
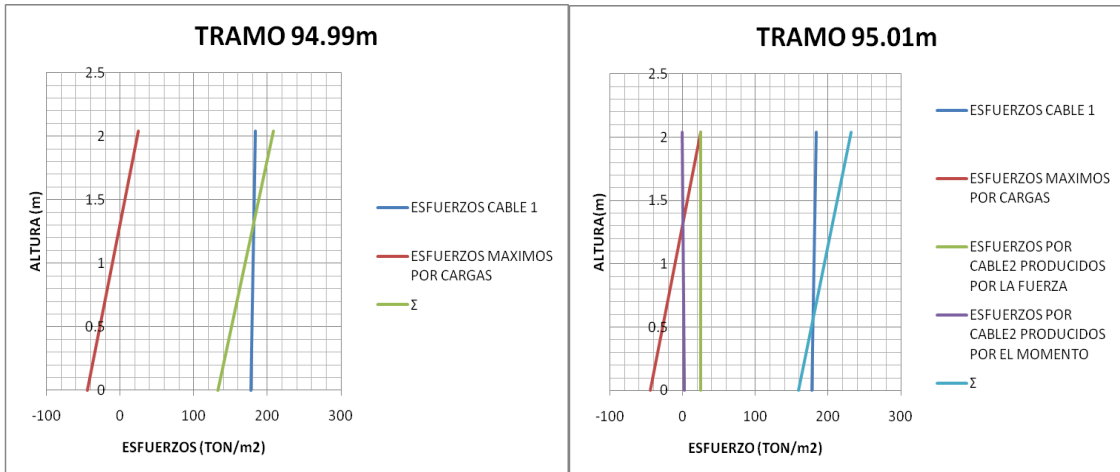


Figura 28. Esfuerzos por tramos en servicio hipótesis carga viva



En este tramo se aprecian tracciones, pero se encuentran en los límites establecidos para concreto lo cual no es necesario el uso de pre-esforzado para dicho tramo.

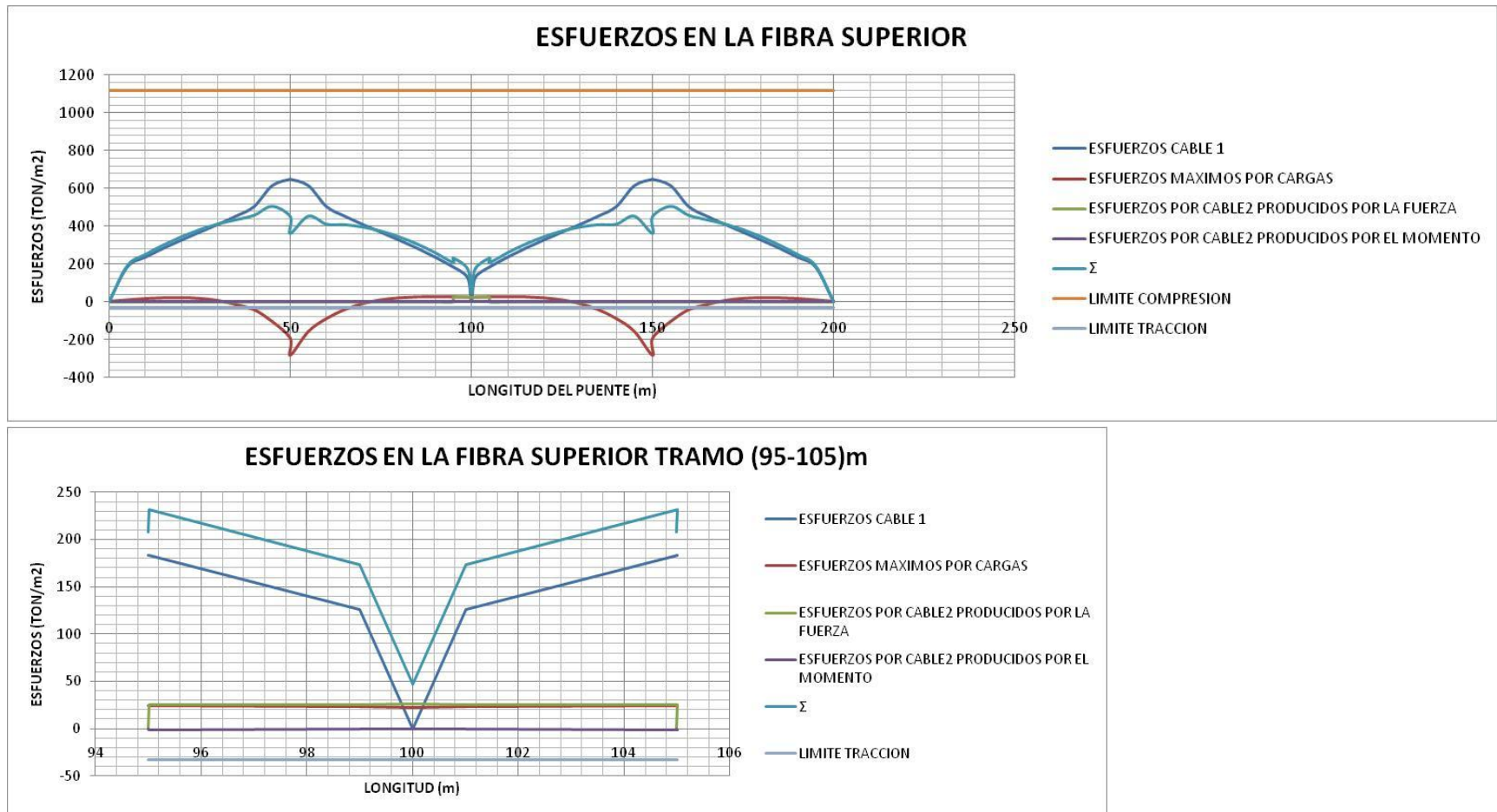


Se puede apreciar la comparación del limite del tramo donde se anclan los cables, donde justo despues del anclaje

Las graficas restantes se pueden apreciar en el anexo.

HIPOTESIS CON SISMO

Figura 29. Esfuerzos generales en servicio hipótesis con sismo



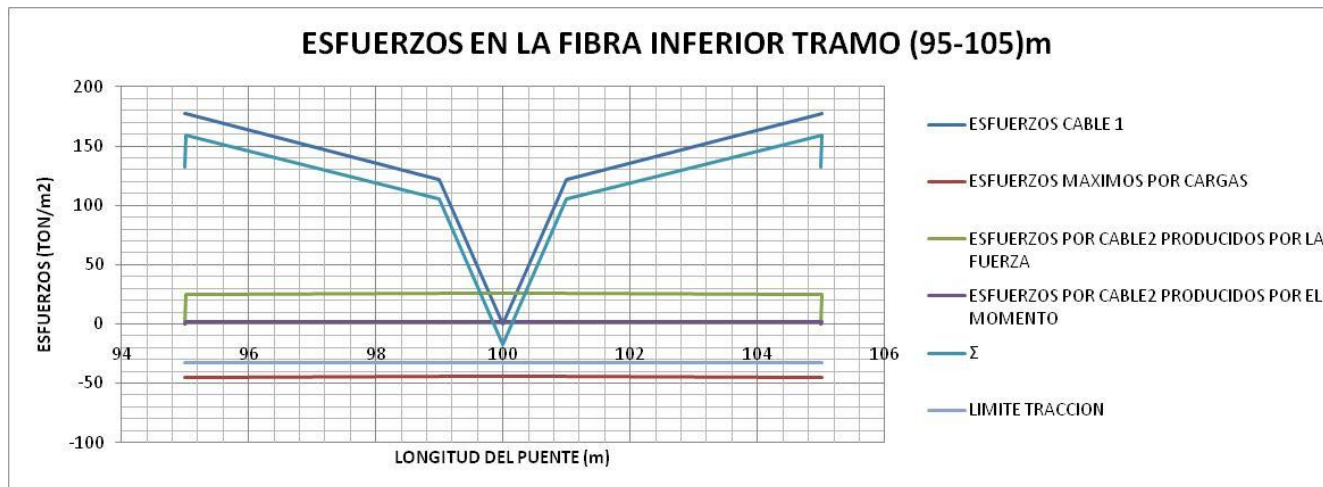
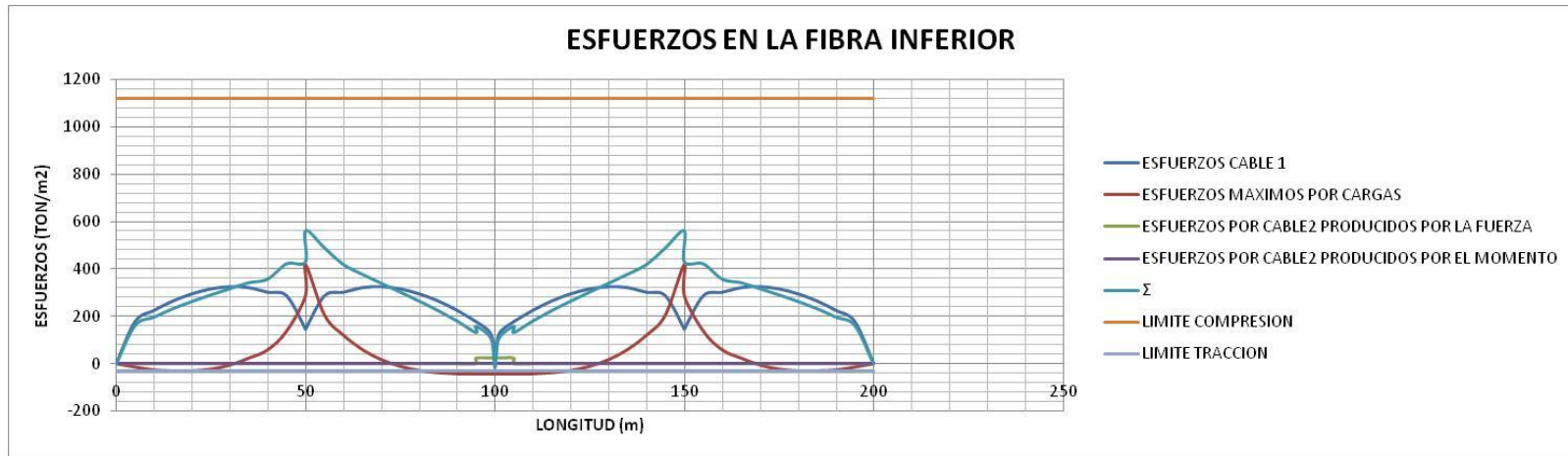


Figura 30. Esfuerzos generales en servicio para hipótesis con sismo.

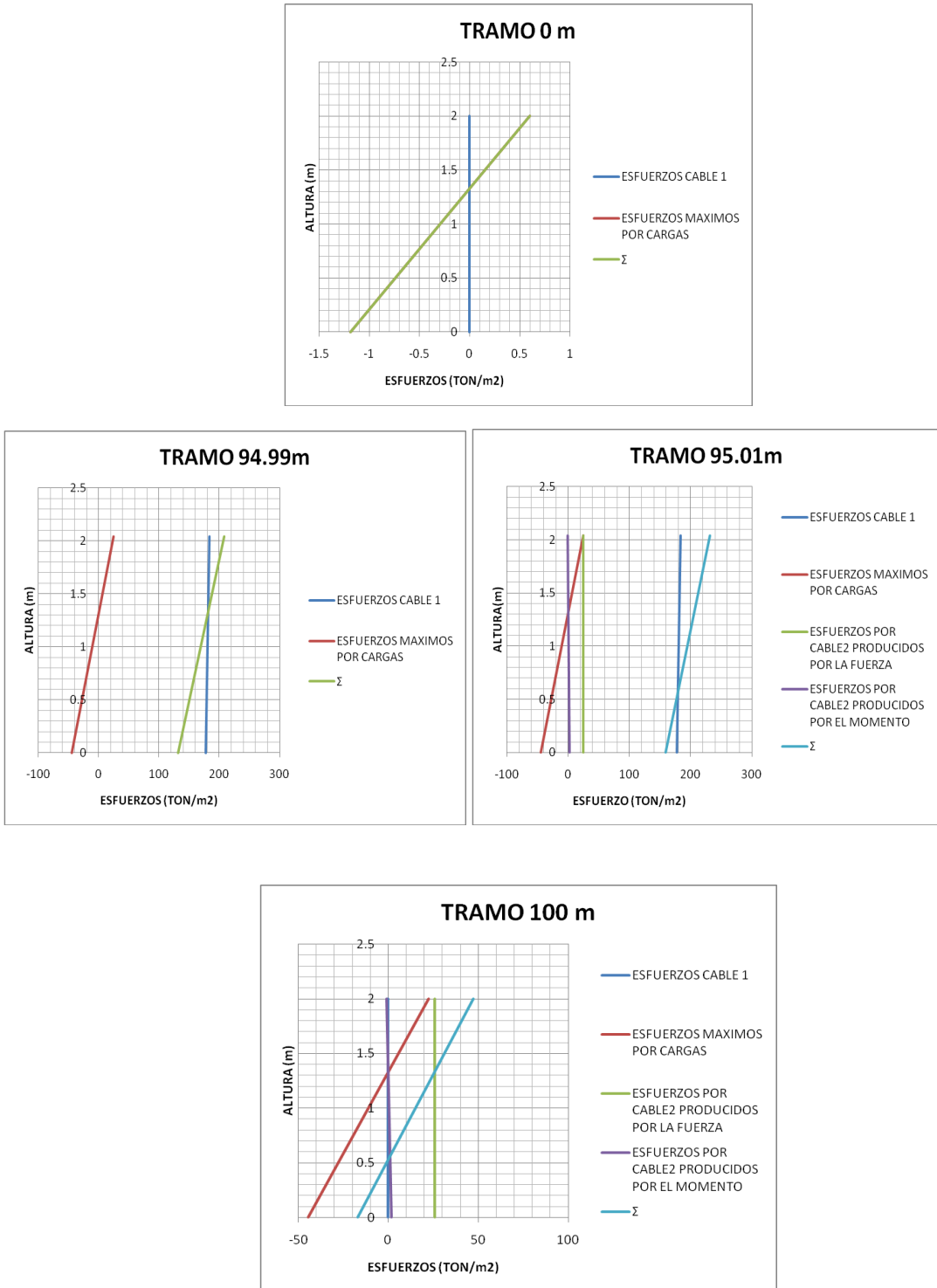
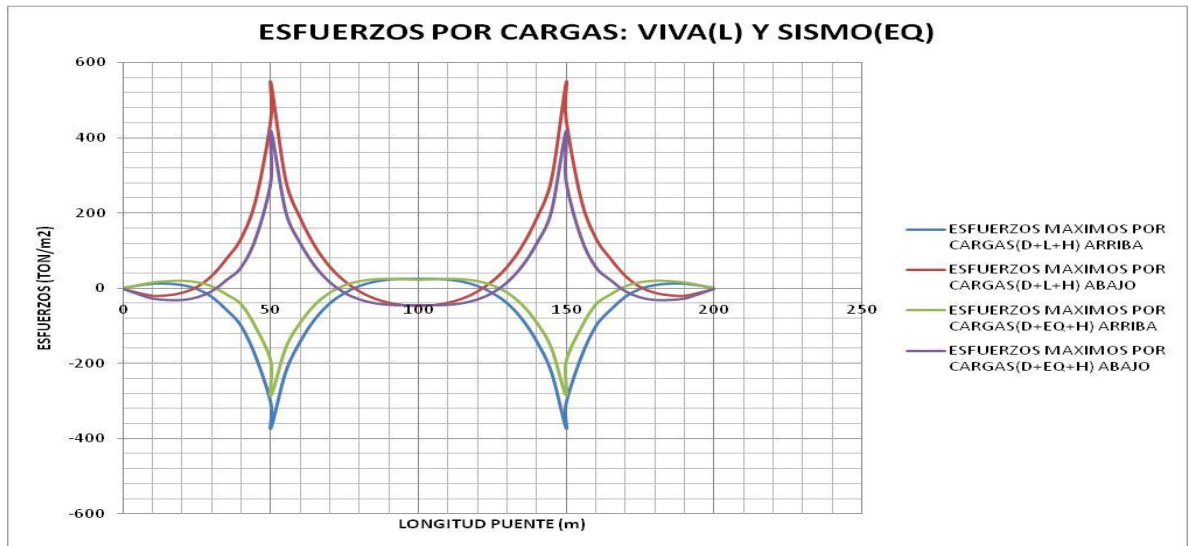
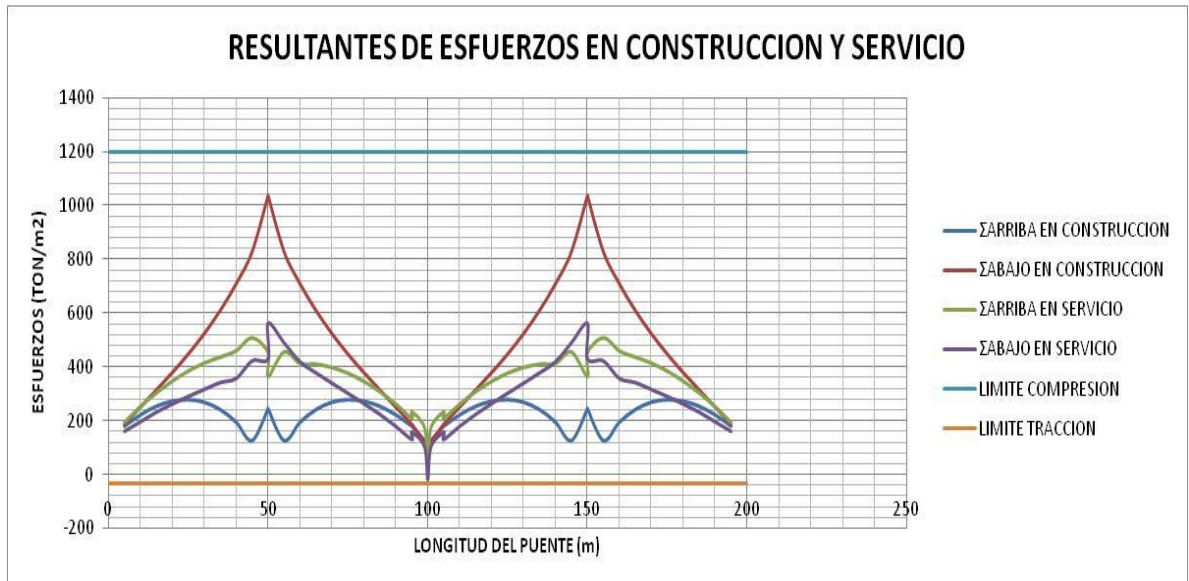


Figura 31. Comparación de esfuerzos carga viva- sismo



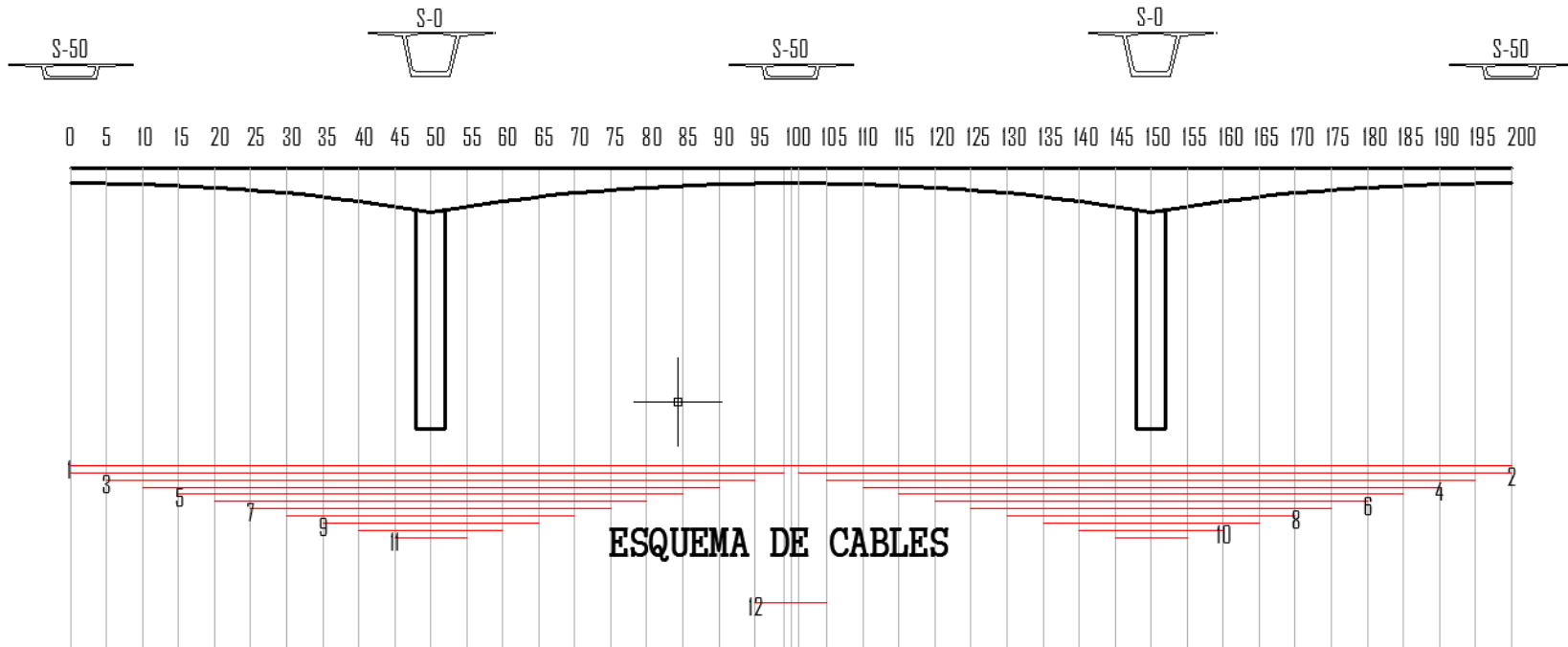
Es necesario analizar las dos hipótesis empleadas para reconocer los tramos más críticos a tracción.

Figura 32. Comparación esfuerzos en construcción – tiempo de servicio



Vale notar que, en las pilas los esfuerzos críticos están regidos por el proceso constructivo y en el centro de la luz por el tiempo de servicio o cierre.

RESULTADO DE CABLES DE PREENFORZADO



REFERENCIA	PRETENSADO	# CABLES	# TORONES POR CABLE	ACUMULADO DE CABLES
1	1	2	17	22
2	1	2	17	20
3	1	2	17	18
4	1	2	17	16
5	1	2	17	14
6	1	2	17	12
7	1	2	17	10
8	1	2	17	8
9	1	2	17	6
10	1	2	17	4
11	1	2	17	2
12	2	2	7	2

5. CONCLUSIONES

- Es vital la adquisición de conocimiento en este tipo de estructura, conocer el proceso constructivo y las cargas que las afectan, para el diseño y análisis de la misma y de allí poder generar hojas de cálculo y herramientas necesarias que faciliten el proceso de estudio.
- Se idealizó y generó, tanto las secciones transversales como la estructura en general a través de herramientas informáticas, que faciliten el análisis del puente, en búsqueda de resultados más precisos y exactos, acordes a la realidad de la estructura.
- En el proceso constructivo encontramos las tracciones del concreto siempre en la fibra superior, por ende los cables siempre estarán cerca de dicha fibra; podemos ver que lo más cercano a un pre-esforzado ideal se encuentra cerca a las pilas y a medida q avanza tiene una variación de parábola inversa; el problema de no obtener un pre-esforzado ideal es por el gran remanente de área de cable, este producido por utilizar el mismo número de torones por cable, si se usaran combinaciones de cables el remanente sería menor y se obtendría un pre-esforzado más aproximado al ideal.
- Los esfuerzos generados por momentos negativos en servicio serán fácilmente anulados ya que el pre-esforzado de proceso constructivo es diseñado por un momento negativo mucho mayor. El pre-esfuerzo de servicio es dependiente del proceso constructivo ya q si las cargas en construcción son muy altas el pre-esfuerzo de construcción lograra anular los esfuerzos de tracción en producido por los momentos de servicio.
- El análisis de ambos estados tanto proceso constructivo, como en el tiempo de servicio, son necesarios e importante a la hora del diseño, dado que

justos proporcionan grandes esfuerzos en la estructura y no precisamente en los mismos lugares, siendo necesario el análisis individual de los dos casos para el óptimo diseño, desempeño y economía del puente.

- En este sistema de construcción por voladizos es necesario el empleo de pre-esforzado que ayude a soportar los grandes esfuerzos, sin estos cables el sistema no soportaría las cargas y las cantidades de obra se incrementarían en grandes proporciones, haciendo de este sistema bastante costoso y por ende poco práctico
- .Este sistema es empleado en muchos lugares por su práctico montaje, dado que, los voladizos con carros de avance facilitan y agilizan el proceso sin perjuicio alguno al tráfico que pueda presentar en el sector en especial para viaductos o cruce de vías. Vale notar que en Colombia es uno de los sistemas más empleados en la construcción de puentes.
- El análisis de las dos hipótesis manejadas en el tiempo de servicio, carga viva y sismo, aunque generan esfuerzos muy similares, es necesario sus análisis, puesto que son cargas críticas en la estructura y pueden afectar el diseño.
- Se valoro el efecto que produce el proceso constructivo en el nivel de esfuerzos de un puente construido por voladizos sucesivos, apreciando su gran influencia en el tramo más largo del voladizo, generando grandes esfuerzos que posteriormente serán soportados en gran parte por el empleo de pre-esforzado.

BIBLIOGRAFIA

MATHIVAT Jacques, CONSTRUCCION DE PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO POR VOLADIZOS SUCESIVOS, Editores Técnicos Asociados s.a., Barcelona, 1980.

C. CENTELLI, Guidi; CONCRETO ARMADO PREESFORZADO, Edición Autorizada por: Casa Editrice Libreria Ulrico Hoepli-Milano

HERRERA M Jerónimo H Ing., PUENTES, Publicación Universidad Católica De Colombia, Segunda edición, 1996.

PROGRAMA DE INGENIERÍA XXI, REFLEXIONES SOBRE NUESTROS PUENTES, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá.

URIBE ESCAMILLA, Jairo, ANALISIS DE ESTRUCTURAS, Edición Uniandes, tercera edición, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Ministerio de Transporte, CÓDIGO COLOMBIANO DE DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES, 1995, CCP, asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

MANTILLA GALVIS, Cesar Mauricio, ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ENTRE LAS ALTERNATIVAS DE PUENTES VANO A VANO Y VIGA-LOSA, Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander, 2009.

LÓPEZ MORANTES, Elkin Mauricio y VANEGAS HERRERA, Sergio Andrés SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN PUENTES CON PRETENSADO EXTRADOSADO, ESTADO DEL ARTE, Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander, 2009

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO-ICPC.

Construcción de puentes de concreto, con el sistema de voladizos sucesivos. En

Boletín ICPC, mayo de 2006. Edición 106.

<http://es.scribd.com/doc/23615274/PUENTES-CONCRETO>

CONSTRUDATA, Edición 159, junio-agosto de 2011,

<http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes>

PAGINAS WEB DE APOYO Y SOPORTE

<http://www.construaprende.com/tesis01/11-conceptos-basicos/111-definicion-de-preesfuerzo.html>

<http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/infraestructura.htm>

<http://www.scribd.com/doc/6203639/Manual-Puentes-Ssi>

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=452761>

<http://html.rincondelvago.com/los-puentes.html>

<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/puentes-historia.html>

<http://perso.wanadoo.es/tecno21/biblioteca/gem.htm>

http://cuedelcivil.blogspot.com/2011/03/puentes-de-hormigon-preesforzado_30.html

http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/201/capitulo18_02.pdf

http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/puentes_hormigon/capitulo04.pdf

<http://www.scielo.cl/pdf/ric/v25n3/art04.pdf>

<http://www2.uah.es/innovaciones/0405/trabajo%20de%20alumnos/Presentaci~n1%20%5BS~lo%20lectura%5D.pdf>

http://issuu.com/legissa/docs/cd159-puentes_

<http://www.imcyc.com/ct2008/feb08/infraestructura.htm>

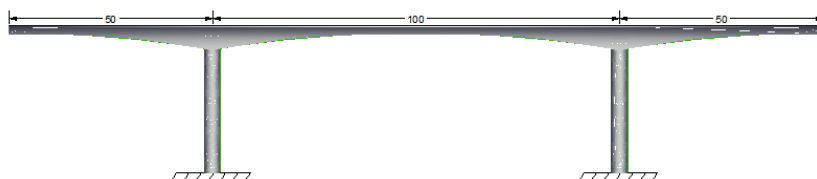
ANEXOS

ANEXO 1

DIMENSIONAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

Tomando parámetros de diseño según, el Código Colombiano De Puentes 1995 y las diferentes normas que rigen este tipo de estructuras, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos.

Dado que los puentes construidos por voladizos sucesivos se comportan mejor en luces comprendidas entre 50 y 150 m se ha tomado una luz central de 100 m buscando el mejor comportamiento y unas luces laterales de 50 m cada una con el fin de realizar construcción simétrica a partir de los pilares, coincidiendo la terminación de la construcción.



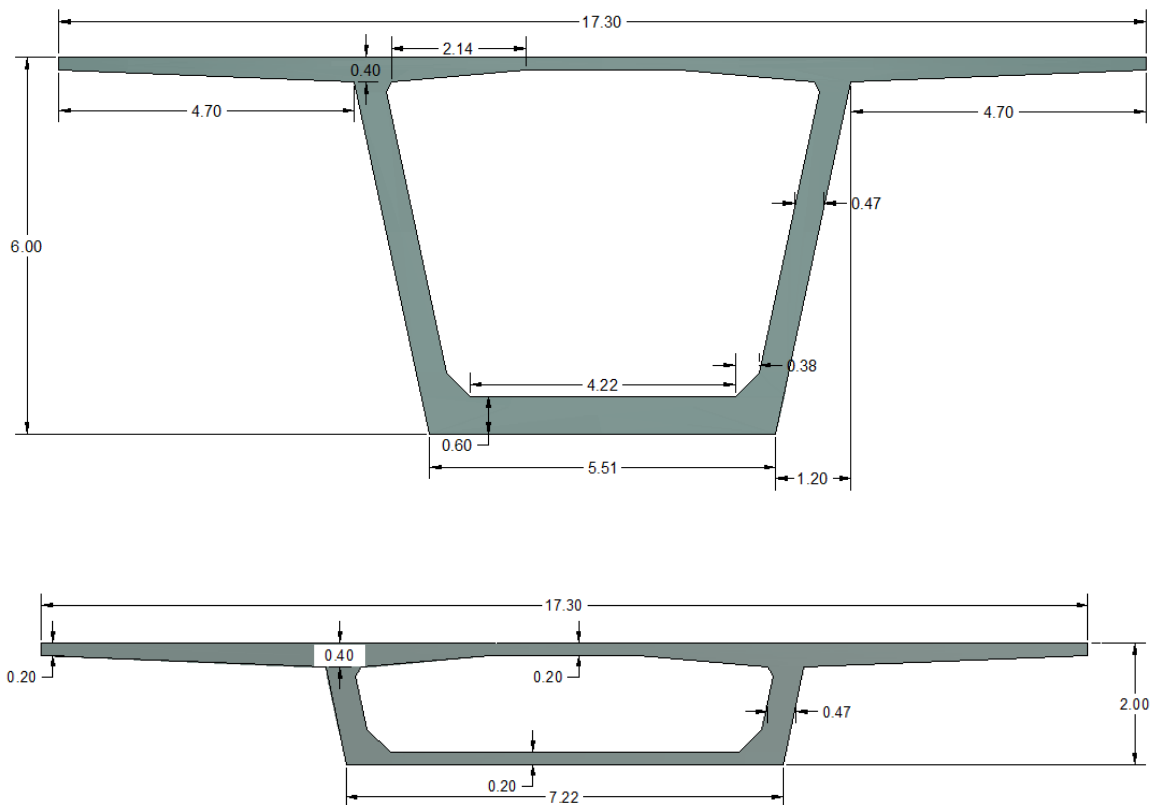
La sección transversal de la subestructura está diseñada, con un tablero para dos carriles de tránsito de 3.65 m con bermas de 2.5 m y andenes de 2.5 m, dándonos un ancho de tablero de 17.5 m. Las dimensiones de la sección transversal se tomaron de acuerdo con los parámetros, variando de forma parabólica a lo largo de la luz del puente.

La subestructura a lo largo del puente estará variando en su sección transversal, en especial su altura y espesor inferior, de una forma parabólica, iniciando con una

altura de sección sobre la pila de 6 m y un espesor inferior de 0.6 m, hasta el centro de la luz (50 m) con una altura de 2 m y un espesor inferior de 0.2 m, lo cual nos proporciona una parábola con una constante de crecimiento de 0.0016

$$y = k x^2$$

$$k = 1.6 \text{ e-}3$$



Los pilares se tomaron con una altura considerable de 30 m para buscar un buen comportamiento en la estructura. La sección transversal de las pilas se tomó como un cajón rectangular de cuyo ancho está dado por la primera dovela que está sobre la misma (5.5 m), por 4 m en la parte perpendicular a la longitud de puente, con un espesor de pared de 0.35 m, cumpliendo con los parámetros establecidos y mostrado en el cuerpo de este mismo documento

ANEXO 2

BREVE DESCRIPCION DEL MONTAJE EN SAP

Proceso constructivo

Para la estructura como se nombró anteriormente se ha decidido modelarla en el software, en dos dimensiones, para simplificar y facilitar el análisis de los resultados.

Inicialmente usando la herramienta que posee el programa (bridge), se modelaron todas las secciones transversales de la subestructura cada 5 m hasta un total de 49 m (ultimo sección en voladizo).

De allí se extrajo las propiedades que se requerían para montar en la estructura 2D tales como área, momentos de inercia, centroides y demás.

	S1	S5m	S10m
Base Material	4000Psi	4000Psi	4000Psi
Axis Angle	0	0	0
A	12.9398	12.2124	11.5245
J	83.0121	3.3881	53.8137
I33	72.1196	52.5852	37.8786
I22	177.9891	173.8827	169.7563
I23	0.	0.	0.
AS2	5.6468	4.9776	4.3789
AS3	9.4989	9.0547	8.6044
S33(+face)	27.3098	22.9931	19.2566
S33(-face)	21.4693	17.8074	14.6083
S22(+face)	20.5768	20.1021	19.625
S22(-face)	20.5768	20.1021	19.625
Z33	28.3321	23.6297	19.5853
Z22	41.34	39.6987	38.1048
r33	2.3608	2.0751	1.8129
r22	3.7088	3.7734	3.838
Xcg	8.65	8.65	8.65
Ycg	3.3592	2.953	2.593
Xpna	8.65	8.65	8.65
Ypna	3.4614	3.0017	2.5979

S15m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	10.8695
J	42.0408
I33	26.9925
I22	165.5192
I23	0.
AS2	3.8512
AS3	8.1944
S33(+face)	16.0591
S33(-face)	11.8431
S22(+face)	19.1352
S22(-face)	19.1352
Z33	16.1375
Z22	36.5384
r33	1.5759
r22	3.9023
Xcg	8.65
Ycg	2.2792
Xpna	8.65
Ypna	2.2486

OK

S20m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	10.2521
J	32.4928
I33	19.1207
I22	161.3094
I23	0.
AS2	3.3956
AS3	7.8042
S33(+face)	13.3687
S33(-face)	9.5141
S22(+face)	18.6485
S22(-face)	18.6485
Z33	13.2542
Z22	35.0326
r33	1.3657
r22	3.9667
Xcg	8.65
Ycg	2.0097
Xpna	8.65
Ypna	1.9504

OK

S25m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	9.677
J	1.2766
I33	13.5666
I22	157.2676
I23	0.
AS2	3.0124
AS3	7.4436
S33(+face)	11.1531
S33(-face)	7.6063
S22(+face)	18.1812
S22(-face)	18.1812
Z33	10.8972
Z22	33.6194
r33	1.184
r22	4.0313
Xcg	8.65
Ycg	1.7836
Xpna	8.65
Ypna	1.7007

OK

S30m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	9.156
J	19.284
I33	9.7638
I22	153.6705
I23	0.
AS2	2.7015
AS3	7.0551
S33(+face)	9.3844
S33(-face)	6.104
S22(+face)	17.7654
S22(-face)	17.7654
Z33	9.0352
Z22	32.3613
r33	1.0327
r22	4.0968
Xcg	8.65
Ycg	1.5996
Xpna	8.65
Ypna	1.4965

OK

S35m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	8.6854
J	15.1023
I33	7.2251
I22	150.482
I23	0.
AS2	2.4607
AS3	6.6858
S33(+face)	8.0286
S33(-face)	4.9485
S22(+face)	17.3968
S22(-face)	17.3968
Z33	7.6101
Z22	31.2477
r33	0.9121
r22	4.1624
Xcg	8.65
Ycg	1.4601
Xpna	8.65
Ypna	1.3373

OK

S40m

Properties

Base Material 4000Psi

Axis Angle 0

A	8.2699
J	12.2679
I33	5.5959
I22	147.8207
I23	0.
AS2	2.2872
AS3	6.3139
S33(+face)	7.0573
S33(-face)	4.0933
S22(+face)	17.0891
S22(-face)	17.0891
Z33	6.5798
Z22	30.3048
r33	0.8226
r22	4.2278
Xcg	8.65
Ycg	1.3671
Xpna	8.65
Ypna	1.222

OK

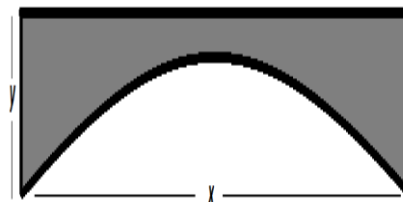


Se fueron recreando una a una las dovelas a simular en archivos separados de SAP, empleando las secciones ya obtenidas y modelando la variación parabólica que se requería.

$$y = k x^2$$

Para una constante $k = 1.6 \text{ e } -3$

x (m)	y (m)	espesor (m)	L3 (m)
5	5.24	0.56	1.03714286
10	4.56	0.52	0.89142857
15	3.96	0.48	0.76285714
20	3.44	0.44	0.65142857
25	3	0.4	0.55714286
30	2.64	0.36	0.48
35	2.36	0.32	0.42
40	2.16	0.28	0.37714286
45	2.04	0.24	0.35142857
49	2.0016	0.208	0.3432
50	2	0.2	0.34285714



La dimensión L3 es requerida para el modelamiento en SAP en la herramienta de bridge.

Al igual que sus dimensiones, apoyos y cargas que para el proceso constructivo desvariaba en cierta proporción de un voladizo al otro según lo dicho en el capítulo 2 y las aproximaciones que nos proporciona Jacques Mathivat en su libro, que nos proporciona el caso más crítico para hallar el pre-esforzado. Adicionando los casos de carga y sus combinaciones, nombradas anteriormente, se modeló cada una de los tramos (dovelas) y se verifican los momentos más críticos para hallar el pre-esforzado.

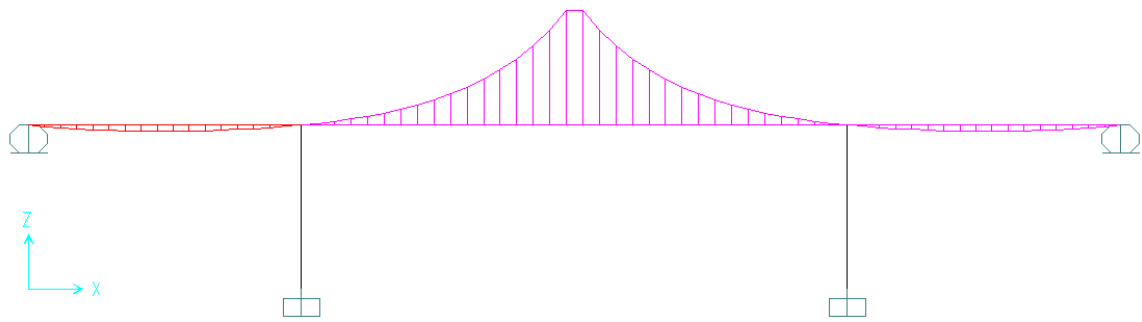
Luego de tener los cables a utilizar, su fuerza y momento (dada la excentricidad), se procedió al montaje de la parte final de cada tramo.

Para la última fase se modificaron los voladizos con el fin de analizar los voladizos simétricos, es decir, que tuvieran la misma dimensión a lado y lado de la pila para el tensado de los cables como originalmente se realiza en la construcción.

Tiempo de servicio

En tiempo de servicio la estructura se modeló inicialmente de una forma completa, teniendo en cuenta: las cargas por peso propio, carga viva, cargas de accesorios (carpeta asfáltica, andenes, barandas y demás), carga de impacto, cargas dinámicas y sísmicas. La carga de viento no se empleó, dado que las combinaciones de carga usadas con sismo, no poseen cargas de viento.

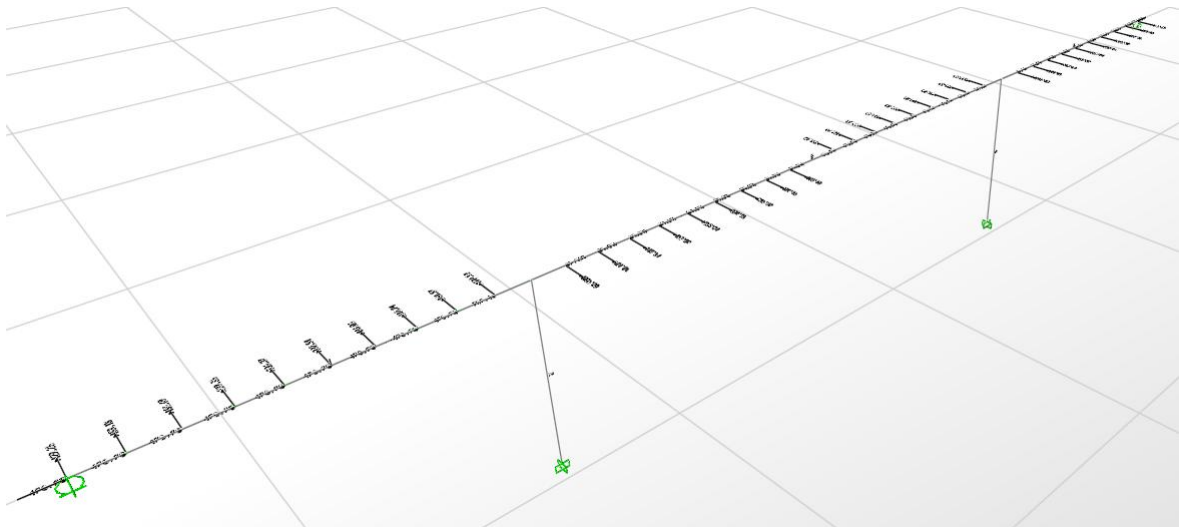
Fue necesario conocer las líneas de influencia de las cargas vivas que podrían afectar la estructura, para ello se obtuvo los puntos más críticos de las luces en sus diferentes combinaciones. Se realiza la modelación en el programa donde él mismo, arroja las líneas de influencia al igual que facilita sus máximos.



Para impacto se toma una de las cargas mas criticas que indica la norma, con camiones c-40-95 que proporciona una carga viva distribuida de $w=1.14$ ton/m y una carga concentrada $P= 12$ ton/m, en los puntos más críticos de la línea de influencia. Esta carga viva es modificada por las cargas de impacto y sus diferentes combinaciones que darán varias simulaciones.

En la parte sísmica se tuvo en cuenta las diferentes combinaciones en todos los sentidos basados en las distintas posibilidades que ofrece la norma y por ello mismo no se incluyeron cargas de viento, dado que los grupos en donde se concentran cargas fuertes por sismo no es necesario el análisis por viento.

Inicialmente, se modelo la estructura para el análisis respectivo del pre-esforzado que contrarresta la deflexión que produce en cada vano, luego, se buscaron los momentos máximos requeridos por cargas vivas, se halló el respectivo pre-esforzado para esta etapa del puente y se procedió al montaje de los cables en SAP, para ver los resultados que se deben comparar con el proceso constructivo



ANEXO 3

CALCULO DE CARGAS

CARGA POR ACCESORIOS

Para los cálculos de cargas por accesorios se tomaron los diferentes coeficientes y pesos que nos muestra las normas así:

Carpeta asfáltica: peso específico= 2.2 ton/m^3 , espesor de la capa 0.05 m

$$\text{Carga distribuida por capa asfáltica} = 0.05 * 2.2 * 17.3 = 1.903 \text{ ton/m}$$

Baranda vehicular: 0.2 ton/m

$$\text{Carga distribuida por barandaje} = 0.2 * 2 = 0.4 \text{ ton/m}$$

Baranda peatonal: 0.1 ton/m

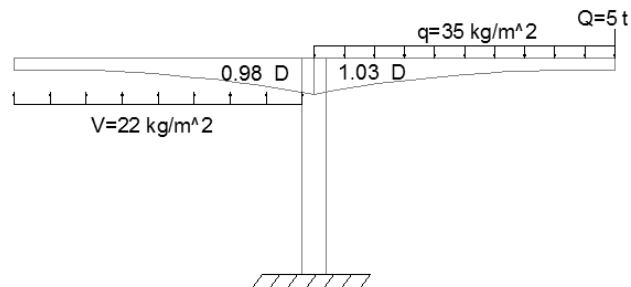
$$\text{Carga distribuida por barandaje} = 0.1 * 2 = 0.2 \text{ ton/m}$$

$$\text{Total accesorios} = 2.503 \text{ ton/m}$$

CARGAS DINAMICAS

Las cargas dinámicas fueron basadas según la código colombiano de puentes, usando camiones c 40-95 se tomaron cargas distribuidas de $w= 1.14 \text{ ton/m}$ a lo largo del puente y una carga puntual en los puntos críticos para cada combinación según las líneas de fluencia de $P= 12 \text{ ton}$

CARGAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO



Estas cargas se tomaron de:

$Q = 5 \text{ ton}$ simulando el carro de avance en el extremo del voladizo

$q = 35 \text{ kg/m}^2$ simulando las cargas por equipos y herramientas sobre el tablero

$V = 22 \text{ kg/m}^2$ cargas de viento critico que producen mayor volcamiento de la estructura.

Los pesos propios de los voladizos son modificados por los coeficientes que aparecen en la figura, de tal forma que simulen de forma realista cierta tendencia al volcamiento, según estudios realizados anteriormente y que son propuestos en el texto de Jacques Mathivat.

CARGAS POR SISMO

Para introducir el efecto del sismo solamente basta con hacer el espectro de sismo e introducirlo al programa.

Espectro de sismo:

Usando los pasos y especificaciones del CCP-A.3.5.2.5 obtenemos:

INTRODUCIR "A" Y "S"	
A	0,25
S	1

Tm	Sam	Sam, (LIMITES)	Tm	Sam	Sam, (LIMITES)
0	0,2	0,2	3,1	0,141106426	0,141106426
0,1	0,3	0,3	3,2	0,138151181	0,138151181
0,2	0,4	0,4	3,3	0,135345959	0,135345959
0,3	0,5	0,5	3,4	0,132678935	0,132678935
0,4	0,552604725	0,5	3,5	0,130139527	0,130139527
0,5	0,476220316	0,476220316	3,6	0,127718239	0,127718239
0,6	0,421716333	0,421716333	3,7	0,125406517	0,125406517
0,7	0,380530286	0,380530286	3,8	0,123196638	0,123196638
0,8	0,348119163	0,348119163	3,9	0,121081609	0,121081609
0,9	0,321829795	0,321829795	4	0,118117598	0,118117598
1	0,3	0,3	4,1	0,114292076	0,114292076
1,1	0,281530941	0,281530941	4,2	0,110678231	0,110678231
1,2	0,265664642	0,265664642	4,3	0,107259719	0,107259719
1,3	0,251859896	0,251859896	4,4	0,104021799	0,104021799
1,4	0,239719059	0,239719059	4,5	0,100951144	0,100951144
1,5	0,228942849	0,228942849	4,6	0,098035677	0,098035677
1,6	0,21930133	0,21930133	4,7	0,095264433	0,095264433
1,7	0,210614681	0,210614681	4,8	0,09262743	0,09262743
1,8	0,202740067	0,202740067	4,9	0,090115568	0,090115568
1,9	0,195562473	0,195562473	5	0,087720532	0,087720532
2	0,188988157	0,188988157	5,1	0,085434712	0,085434712
2,1	0,182939881	0,182939881	5,2	0,08325113	0,083333333
2,2	0,177353379	0,177353379	5,3	0,081163376	0,083333333
2,3	0,172174712	0,172174712	5,4	0,079165553	0,083333333
2,4	0,167358238	0,167358238	5,5	0,077252227	0,083333333
2,5	0,162865057	0,162865057	5,6	0,075418385	0,083333333
2,6	0,158661792	0,158661792	5,7	0,073659391	0,083333333
2,7	0,154719628	0,154719628	5,8	0,071970956	0,083333333
2,8	0,151013544	0,151013544	5,9	0,070349106	0,083333333
2,9	0,147521705	0,147521705	6	0,068790151	0,083333333
3	0,144224957	0,144224957			



ANEXO 4

TABLAS DE ANALISIS EN TIEMPO DE SERVICIO Y SU VERIFICACION.

HIPOTESIS CARGA VIVA

		MOMENTOS (Ton-m)					HIPERESTATICO
TRAMO	PESO PROPIO	ACCESORIOS	VIVA		M_{CRc}	POR CABLE ₁	
						CON CIERRE	
VANO LATERAL	0	0	0	0	0	-0.033212945	129.25
	5	1039.84	85.05	293.94	-188.42	-0.665930496	-108.2
	10	1496.11	107.53	525.86	-376.85	-1.861000067	-5.78
	15	1345.08	67.43	695.76	-565.27	-3.913735019	-243.24
	20	563.08	-35.23	803.65	-753.7	-7.347831462	-241.34
	25	-873.77	-200.47	849.53	-942.12	-13.15145219	-172.42
	30	-2989.07	-428.29	702.83	-1130.55	-22.33085752	-17.33
	35	-5806.57	-718.69	494.11	-1318.97	-36.84626617	238.27
	40	-9350.01	-1071.66	223.38	-1507.4	-59.18736627	1365.13
	45	-13643.11	-1487.21	-109.36	-1790.94	-91.94796571	1127.68
50	-18709.6	-1965.32	-504.13	-2368.33	-138.5822412	2699.72	
VANO CENTRAL	50	-24036.21	-2598.24	-79.09	-3210.09	-138.5822412	4231.96
	55	-18158.23	-2003.8	-79.09	-2538.91	-91.94796571	4231.96
	60	-13043.26	-1471.94	-79.09	-1929.07	-59.18736627	2422.46
	65	-8657.31	-1002.64	-79.09	-1380.54	-36.84626617	1670.89
	70	-4966.4	-595.91	-79.09	-893.34	-22.33085752	158.15
	75	-1936.53	-251.79	-79.09	-467.47	-13.15145219	565.09
	80	466.26	29.83	88.98	-102.93	-7.347831462	172.55
	85	2275.99	248.85	344.22	-79.09	-3.913735019	-133.82
	90	3526.65	405.3	545.99	-79.09	-1.861000067	-373.17
	94.99	4252.21	499.19	707.09	-79.09	-0.665930496	-559.86
95.01	4252.21	499.19	707.09	-79.09	-0.665930496	-559.86	
99	4477.43	529.25	791.09	-79.09	-79.09	-713.04	
100	4486.66	530.5	805.78	-79.09	-0.033212945	-713.04	

ESFUERZOS CABLE 1 (Ton/m ²)						
esfuerzo del preesforzado				Σ PRESFORZADO1		
TRAMO	esfuerzo producido por la fuerza	esfuerzo producido por el momento arriba	esfuerzo producido por el momento abajo	Σ ARRIBA	Σ BAJO	
	0	0	0	0	0	
VANO LATERAL	5	181.3274793	2.268014133	-4.15802591	183.5954935	177.1694534
	10	231.5378696	3.991039655	-6.921170035	235.5289093	224.6166996
	15	275.7514663	7.157663658	-11.61132105	282.9091299	264.1401452
	20	313.5619293	12.44064862	-19.13945941	326.002578	294.4224699
	25	346.1706424	21.31539512	-31.09951092	367.4860375	315.0711315
	30	373.6230599	34.9678966	-49.15067983	408.5909565	324.47238
	35	396.3515096	55.97303221	-75.96340085	452.3245418	320.3881087
	40	415.5421402	87.21638128	-114.6651916	502.7585214	300.8769485
	45	470.4712977	142.9869664	-184.1971838	613.4582641	286.2741139
	50	443.9300267	203.6966268	-298.8736533	647.6266535	145.0563734
VANO CENTRAL	50	443.9300267	203.6966268	-298.8736533	647.6266535	145.0563734
	55	470.4712977	142.9869664	-184.1971838	613.4582641	286.2741139
	60	415.5421402	87.21638128	-114.6651916	502.7585214	300.8769485
	65	396.3515096	55.97303221	-75.96340085	452.3245418	320.3881087
	70	373.6230599	34.9678966	-49.15067983	408.5909565	324.47238
	75	346.1706424	21.31539512	-31.09951092	367.4860375	315.0711315
	80	313.5619293	12.44064862	-19.13945941	326.002578	294.4224699
	85	275.7514663	7.157663658	-11.61132105	282.9091299	264.1401452
	90	231.5378696	3.991039655	-6.921170035	235.5289093	224.6166996
	94.99	181.3274793	2.268014133	-4.15802591	183.5954935	177.1694534
	95.01	181.3274793	2.268014133	-4.15802591	183.5954935	177.1694534
	99	124.662642	1.258652841	-2.461776879	125.9212949	122.2008652
	100	0	0	0	0	0

PESO PROPIO (Ton/m ²)						
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m ²)				Σ TOTAL		
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	¿NECESITA CABLE?	
	0	0	0	0	NO	
VANO LATERAL	5	5.13184454	-9.408381657	188.727338	167.7610718	NO
	10	7.995717088	-13.86599039	243.5246264	210.7507092	NO
	15	8.044736842	-13.05035088	290.9538668	251.0897944	NO
	20	3.810784148	-5.862744843	329.8133621	288.5597251	NO
	25	-6.778148407	9.889429643	360.7078891	324.9605611	NO
	30	-26.49786188	37.24524642	382.0930946	361.7176265	NO
	35	-58.93570324	79.98416868	393.3888385	400.3722774	NO
	40	-108.503297	142.6515428	394.2552244	443.5284913	NO
	45	-179.6797901	231.4652318	433.7784741	517.7393457	NO
	50	-296.1771326	434.5655745	351.4495209	579.6219478	NO
VANO CENTRAL	50	-380.4985545	558.2860888	267.128099	703.3424621	NO
	55	-239.1439309	308.0675092	374.3143333	594.3416232	NO
	60	-151.3620535	198.9988419	351.3964679	499.8757904	NO
	65	-87.870232	119.2524577	364.4543098	439.6405664	NO
	70	-44.02673114	61.88372699	364.5642253	386.356107	NO
	75	-15.02236027	21.91786991	352.4636772	336.9890014	NO
	80	3.155530683	-4.854662589	329.1581086	289.5678073	NO
	85	13.61238038	-22.08230595	296.5215103	242.0578393	NO
	90	18.84760858	-32.68509336	254.3765179	191.9316062	NO
	94.99	20.98561382	-38.47362533	204.5811073	138.6958281	NO
	95.01	20.98561382	-38.47362533	204.5811073	138.6958281	NO
	99	21.02224953	-41.11704688	146.9435444	81.08381828	NO
	100	20.78018941	-41.25022674	20.78018941	-41.25022674	SI

PESO PROPIO+CABLE1 (Ton/m2)						
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m2)					Σ TOTAL	¿NECESITA CABLE?
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0.598627817	-1.18832089	0.598627817	-1.18832089	SI
	5	4.597853177	-8.429397491	188.1933466	168.7400559	NO
	10	7.964826816	-13.81242119	243.4937361	210.8042784	NO
	15	6.589952153	-10.69036683	289.4990821	253.4497784	NO
	20	2.177455587	-3.349931672	328.1800335	291.0725383	NO
	25	-8.115672411	11.84089909	359.3703651	326.9120305	NO
	30	-26.65149092	37.46118654	381.9394655	361.9335666	NO
	35	-56.51730304	76.70205413	395.8072387	397.0901629	NO
	40	-92.66148445	121.8239821	410.097037	422.7009306	NO
	45	-164.8282419	212.3333247	448.6300223	498.6074387	NO
50	-253.4399641	371.8595106	394.1866895	516.9158839	NO	
VANO CENTRAL	50	-313.5056857	459.9908752	334.1209678	605.0472485	NO
	55	-183.4090079	236.269246	430.0492562	522.54336	NO
	60	-123.2503299	162.0397738	379.5081916	462.9167223	NO
	65	-70.91098115	96.23633156	381.4135606	416.6244403	NO
	70	-42.62474428	59.9131021	365.9662122	384.3854821	NO
	75	-10.63875374	15.52211611	356.8472838	330.5932476	NO
	80	4.323305785	-6.651239669	330.3258837	287.7712303	NO
	85	12.81202153	-20.78394604	295.7211515	243.3561992	NO
	90	16.85326208	-29.22654309	252.3821714	195.3901565	NO
	94.99	18.22257866	-33.40806087	201.8180721	143.7613926	NO
	95.01	18.22257866	-33.40806087	201.8180721	143.7613926	NO
	99	17.67441276	-34.56907202	143.5957076	87.63179315	NO
	100	17.47770911	-34.69455689	17.47770911	-34.69455689	SI

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS (Ton/m2)						
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m2)					Σ TOTAL	¿NECESITA CABLE?
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0.598627817	-1.18832089	0.598627817	-1.18832089	SI
	5	5.017594078	-9.198922476	188.6130875	167.970531	NO
	10	8.53950345	-14.80901231	244.0684127	209.8076873	NO
	15	6.993241627	-11.34459197	289.9023716	252.7955533	NO
	20	1.939027787	-2.983119672	327.9416057	291.4393503	NO
	25	-9.670790361	14.10984167	357.8152471	329.1809731	NO
	30	-30.44824685	42.79788544	378.1427096	367.2702655	NO
	35	-63.81188497	86.60184389	388.5126568	406.9899526	NO
	40	-105.0976897	138.1741199	397.6608318	439.0510685	NO
	45	-184.414801	237.5649183	429.0434631	523.8390323	NO
50	-284.5514171	417.5077561	363.0752364	562.5641295	NO	
VANO CENTRAL	50	-354.6364033	520.3398756	292.9902502	665.3962489	NO
	55	-209.7990585	270.2651628	403.6592056	556.5392767	NO
	60	-140.3316317	184.4969168	362.4268897	485.3738653	NO
	65	-81.08760754	110.0474674	371.2369342	430.4355761	NO
	70	-47.90743785	67.33842663	360.6835186	391.8108067	NO
	75	-12.5919794	18.37190437	354.8940581	333.4430358	NO
	80	4.52518774	-6.961827292	330.5277657	287.4606426	NO
	85	14.30035885	-23.19835991	297.2094888	240.9417853	NO
	90	19.01932215	-32.98287512	254.5482314	191.6338245	NO
	94.99	20.68619371	-37.92468846	204.2816872	139.244765	NO
	95.01	20.68619371	-37.92468846	204.2816872	139.244765	NO
	99	20.15932611	-39.42927018	146.080621	82.77159499	NO
	100	19.9347463	-39.57195908	19.9347463	-39.57195908	SI

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO (Ton/m2)						
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m2)			Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0.59847399	-1.188015531	0.59847399	-1.188015531	SI
	5	5.014307561	-9.192897195	188.609801	167.9765562	NO
	10	8.529557637	-14.79176451	244.0584669	209.8249351	NO
	15	6.969834121	-11.3066198	289.8789641	252.8335254	NO
	20	1.889299507	-2.906614627	327.8918775	291.5158553	NO
	25	-9.772810909	14.25869133	357.7132266	329.3298228	NO
	30	-30.64620809	43.07613864	377.9447484	367.5485187	NO
	35	-64.18586834	87.10939274	388.1386734	407.4975015	NO
	40	-105.7845365	139.0771317	396.973985	439.9540802	NO
	45	-185.6257559	239.1248821	427.8325082	525.398996	NO
VANO CENTRAL	50	-286.7452048	420.7265888	360.8814487	565.7829621	NO
	50	-356.830191	523.5587082	290.7964625	668.6150816	NO
	55	-211.0100135	271.8251265	402.4482507	558.0992405	NO
	60	-141.0184785	185.3999286	361.7400429	486.2768771	NO
	65	-81.46159091	110.5550162	370.8629509	430.943125	NO
	70	-48.10539908	67.61667983	360.4855574	392.0890599	NO
	75	-12.69399995	18.52075402	354.7920375	333.5918855	NO
	80	4.47545946	-6.885322247	330.4780374	287.5371477	NO
	85	14.27695135	-23.16038774	297.1860813	240.9797575	NO
	90	19.00937634	-32.96562732	254.5382856	191.6510723	NO
	94.99	20.68290719	-37.91866318	204.2784007	139.2507902	NO
	95.01	20.68290719	-37.91866318	204.2784007	139.2507902	NO
	99	20.15932611	-39.42927018	146.080621	82.77159499	NO
	100	19.93459247	-39.57165372	19.93459247	-39.57165372	SI

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+VIVA 1						
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m2)			Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0.59847399	-1.188015531	0.59847399	-1.188015531	SI
	5	6.464967647	-11.85244069	190.0604611	165.3170127	NO
	10	11.33993106	-19.66545007	246.8688403	204.9512495	NO
	15	11.13107814	-18.05708232	294.0402081	246.0830629	NO
	20	7.32820105	-11.27415546	333.330779	283.1483145	NO
	25	-3.182700907	4.643612799	364.3033366	319.7147443	NO
	30	-24.41567743	34.3185396	384.175279	358.7909196	NO
	35	-59.17073542	80.30314093	393.1538064	400.6912497	NO
	40	-103.1922968	135.6690603	399.5662246	436.5460088	NO
	45	-187.0660274	240.9802536	426.3922368	527.2543676	NO
VANO CENTRAL	50	-294.725695	432.4359542	352.9009586	577.4923275	NO
	50	-358.0822033	525.3957219	289.5444502	670.4520953	NO
	55	-212.0516289	273.1669456	401.4066352	559.4410595	NO
	60	-141.9362878	186.6065915	360.8222337	487.4835401	NO
	65	-82.26434103	111.6444628	370.0602008	432.0325715	NO
	70	-48.80652549	68.60217918	359.784431	393.0745592	NO
	75	-13.30752955	19.41590376	354.178508	334.4870352	NO
	80	5.077653773	-7.811775035	331.0802317	286.6106949	NO
	85	16.3356834	-26.50010863	299.2448133	237.6400366	NO
	90	21.92733128	-38.0258783	257.4562406	186.5908213	NO
	94.99	24.17255556	-44.31635185	207.768049	132.8531016	NO
	95.01	24.17255556	-44.31635185	207.768049	132.8531016	NO
	99	23.87362011	-46.69399227	149.794915	75.5068729	NO
	100	23.66660271	-46.97997253	23.66660271	-46.97997253	SI

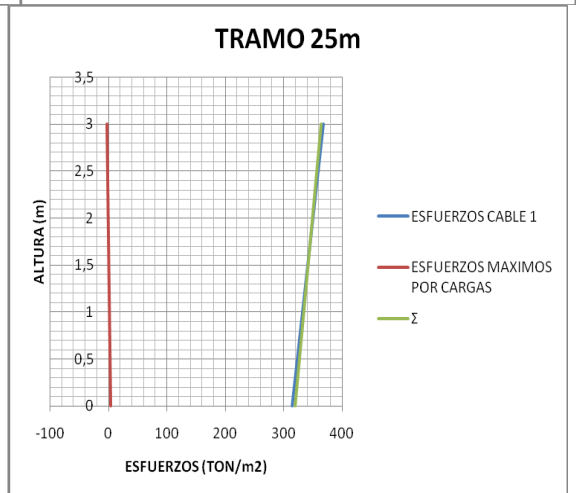
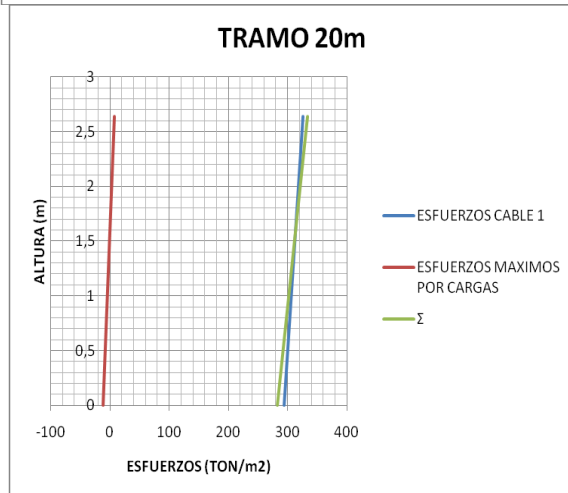
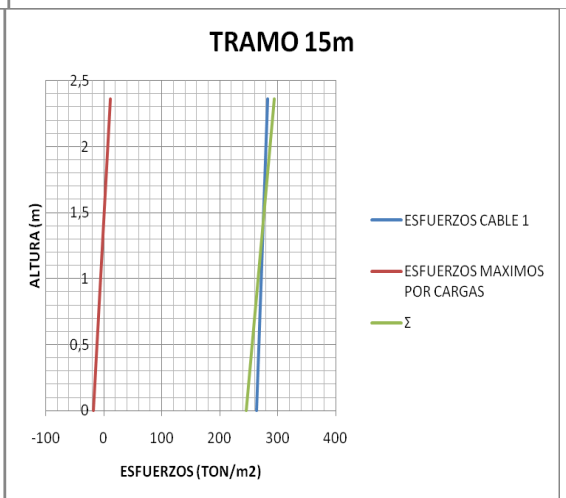
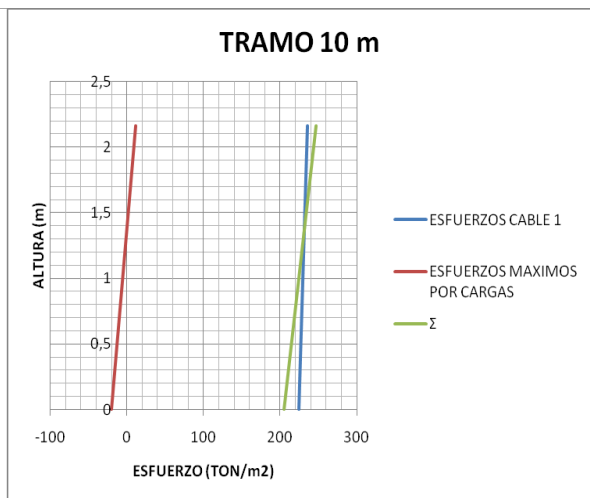
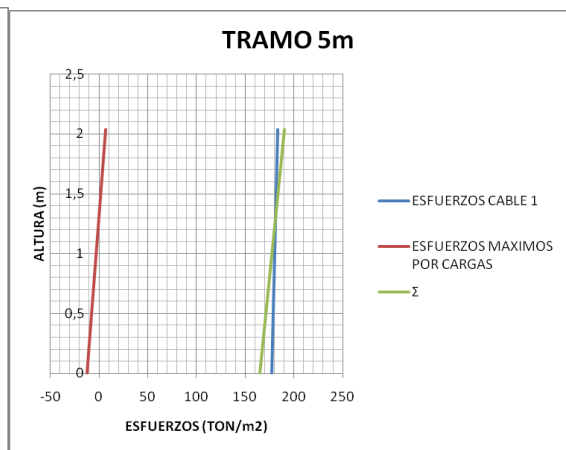
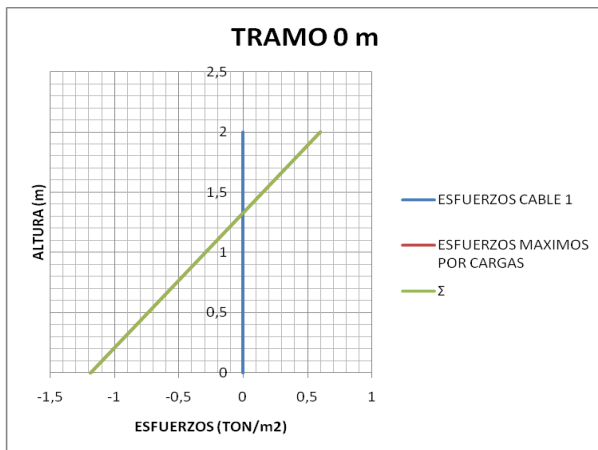
PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+VIVA						2
ESFUERZO EN EL CONCRETO (Ton/m2)			Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0.59847399	-1.188015531	0.59847399	-1.188015531	SI
	5	4.084412434	-7.488089463	187.6799059	169.681364	NO
	10	6.515543972	-11.2991079	242.0444533	213.3175917	NO
	15	3.589032685	-5.822208578	286.4981626	258.3179367	NO
	20	-3.211552969	4.940850721	322.791025	299.3633207	NO
	25	-17.08117487	24.92171415	350.4048626	339.9928456	NO
	30	-40.66844167	57.1633341	367.9225148	381.6357141	NO
	35	-77.57319072	105.2779017	374.7513511	425.6660104	NO
	40	-123.2773381	162.075282	379.4811834	462.9522306	NO
	45	-209.2124399	269.5094749	404.2458243	555.7835889	NO
50	-324.2363959	475.7354979	323.3902576	620.7918713	NO	
VANO CENTRAL	50	-407.6466303	598.1190732	239.9800233	743.1754466	NO
	55	-244.447464	314.8995715	369.0108001	601.1736855	NO
	60	-163.4045995	214.8314278	339.3539219	515.7083763	NO
	65	-95.47383837	129.5716378	356.8507034	449.9597465	NO
	70	-56.02478536	78.74812488	352.5661711	403.2205049	NO
	75	-16.320333	23.8116334	351.1657045	338.8827649	NO
	80	3.778855048	-5.813623151	329.781433	288.6088468	NO
	85	13.80392503	-22.39303394	296.713055	241.7471113	NO
	90	18.58669267	-32.23261893	254.1156019	192.3840807	NO
	94.99	20.29258023	-37.20306376	203.8880737	139.9663897	NO
95.01	20.29258023	-37.20306376	203.8880737	139.9663897	NO	
99	19.78798591	-38.70297245	145.7092808	83.49789272	NO	
100	19.5682832	-38.84450247	19.5682832	-38.84450247	SI	

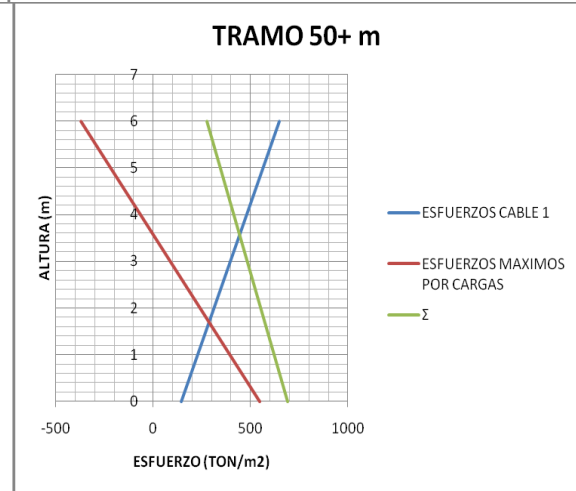
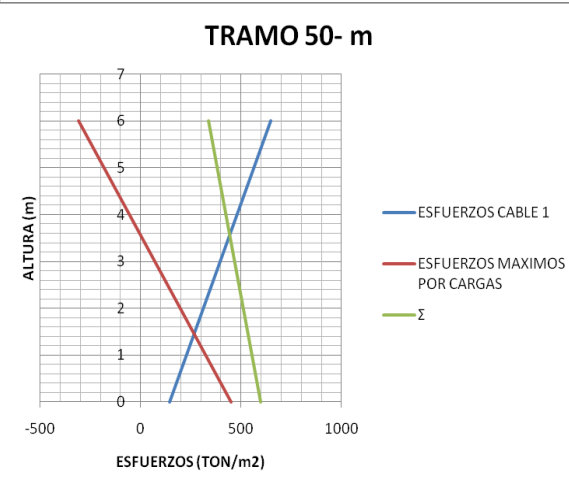
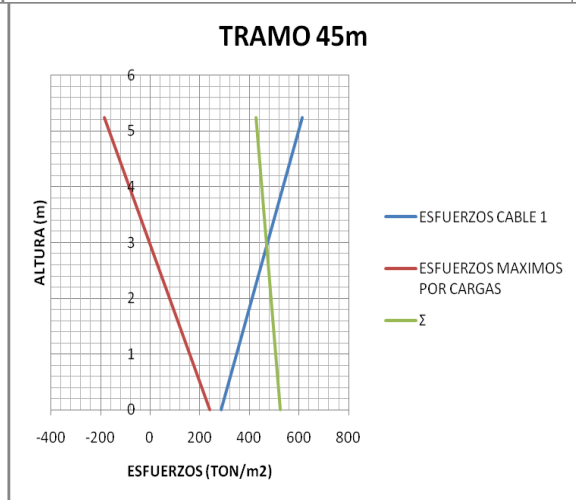
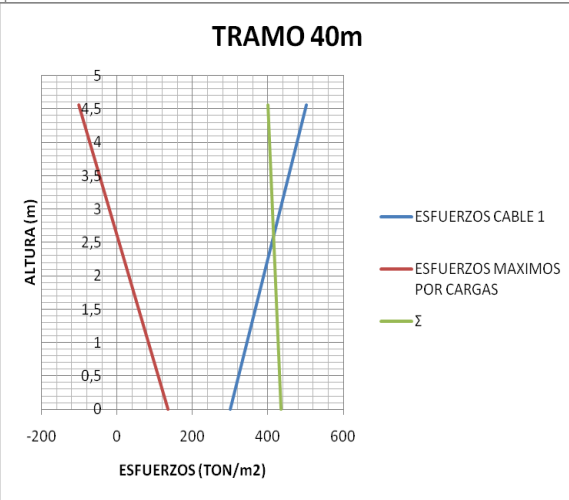
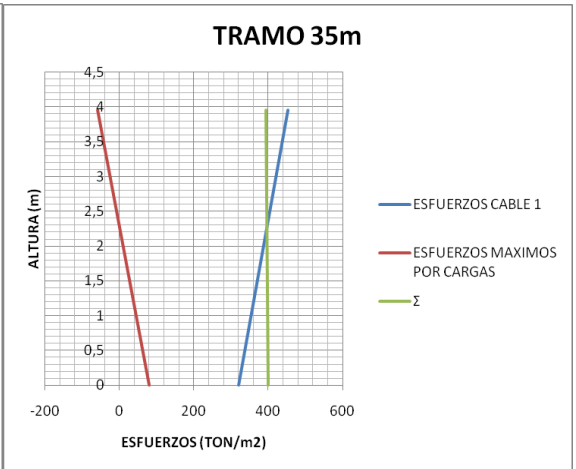
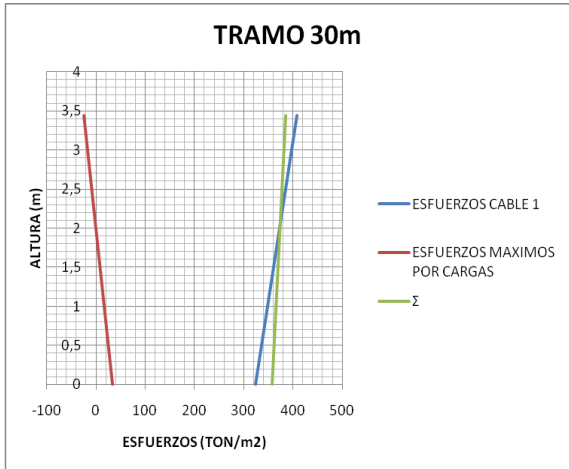
"Necesita cable a 100 m en el tramo (vano central) en 0 m es muy pequeño no requiere cables"

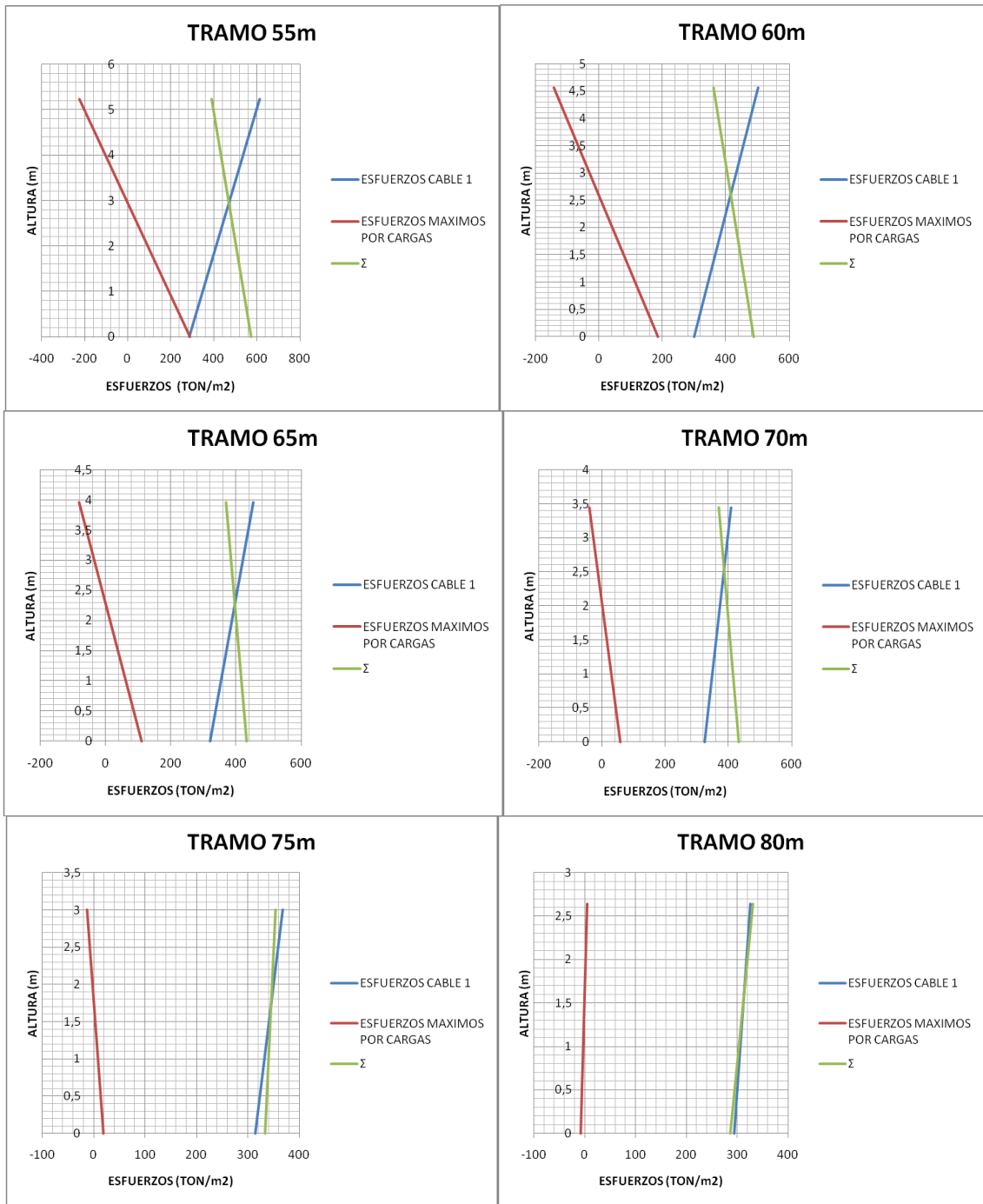
	TRAMO	ALTURA	<u>ESFUERZOS CABLE 1 (Ton/m2)</u>		ESFUERZOS MAXIMOS POR CARGAS (Ton/m2)		ESFUERZOS POR CABLE 2 (Ton/m2)				Σ (Ton/m2)	
			ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ESFUERZOS POR CABLE2 PRODUCIDOS POR LA FUERZA		ESFUERZOS POR CABLE2 PRODUCIDOS POR EL		ARRIBA	ABAJO
							ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	2	0	0	0.59847399	-1.188015531	0	0	0	0	0.59847399	-1.18801553
	5	2.04	183.5954935	177.1694534	6.464967647	-11.85244069	0	0	0	0	190.060461	165.317013
	10	2.16	235.5289093	224.6166996	11.33993106	-19.66545007	0	0	0	0	246.86884	204.95125
	15	2.36	282.9091299	264.1401452	11.13107814	-18.05708232	0	0	0	0	294.040208	246.083063
	20	2.64	326.002578	294.4224699	7.32820105	-11.27415546	0	0	0	0	333.330779	283.148314
	25	3	367.4860375	315.0711315	-3.182700907	4.643612799	0	0	0	0	364.303337	319.714744
	30	3.44	408.5909565	324.47238	-24.41567743	34.3185396	0	0	0	0	384.175279	358.79092
	35	3.96	452.3245418	320.3881087	-59.17073542	80.30314093	0	0	0	0	393.153806	400.69125
	40	4.56	502.7585214	300.8769485	-103.1922968	135.6690603	0	0	0	0	399.566225	436.546009
	45	5.24	613.4582641	286.2741139	-187.0660274	240.9802536	0	0	0	0	426.392237	527.254368
VANO CENTRAL	50	6	647.6266535	145.0563734	-294.725695	432.4359542	0	0	0	0	352.900959	577.492328
	50	6	647.6266535	145.0563734	-358.0822033	525.3957219	0	0	0	0	289.54445	670.452095
	55	5.24	613.4582641	286.2741139	-212.0516289	273.1669456	0	0	0	0	401.406635	559.44106
	60	4.56	502.7585214	300.8769485	-141.9362878	186.6065915	0	0	0	0	360.822234	487.48354
	65	3.96	452.3245418	320.3881087	-82.26434103	111.6444628	0	0	0	0	370.060201	432.032572
	70	3.44	408.5909565	324.47238	-48.80652549	68.60217918	0	0	0	0	359.784431	393.074559
	75	3	367.4860375	315.0711315	-13.30752955	19.41590376	0	0	0	0	354.178508	334.487035
	80	2.64	326.002578	294.4224699	5.077653773	-7.811775035	0	0	0	0	331.080232	286.610695
	85	2.36	282.9091299	264.1401452	16.3356834	-26.50010863	0	0	0	0	299.244813	237.640037
	90	2.16	235.5289093	224.6166996	21.92733128	-38.0258783	0	0	0	0	257.456241	186.590821
	94.99	2.04	183.5954935	177.1694534	24.17255556	-44.31635185	0	0	0	0	207.768049	132.853102
95.01	2.04	183.5954935	177.1694534	24.17255556	-44.31635185	49.7761708	49.7761708	-1.98451237	3.63827267	255.559707	186.267545	
99	2.01	125.9212949	122.2008652	23.87362011	-46.69399227	51.33167614	51.33167614	-1.90648886	3.72886792	199.220102	130.567417	
100	2	0	0	23.66660271	-46.97997253	51.66805671	51.66805671	-1.88065976	3.73324997	73.4539997	8.42133415	

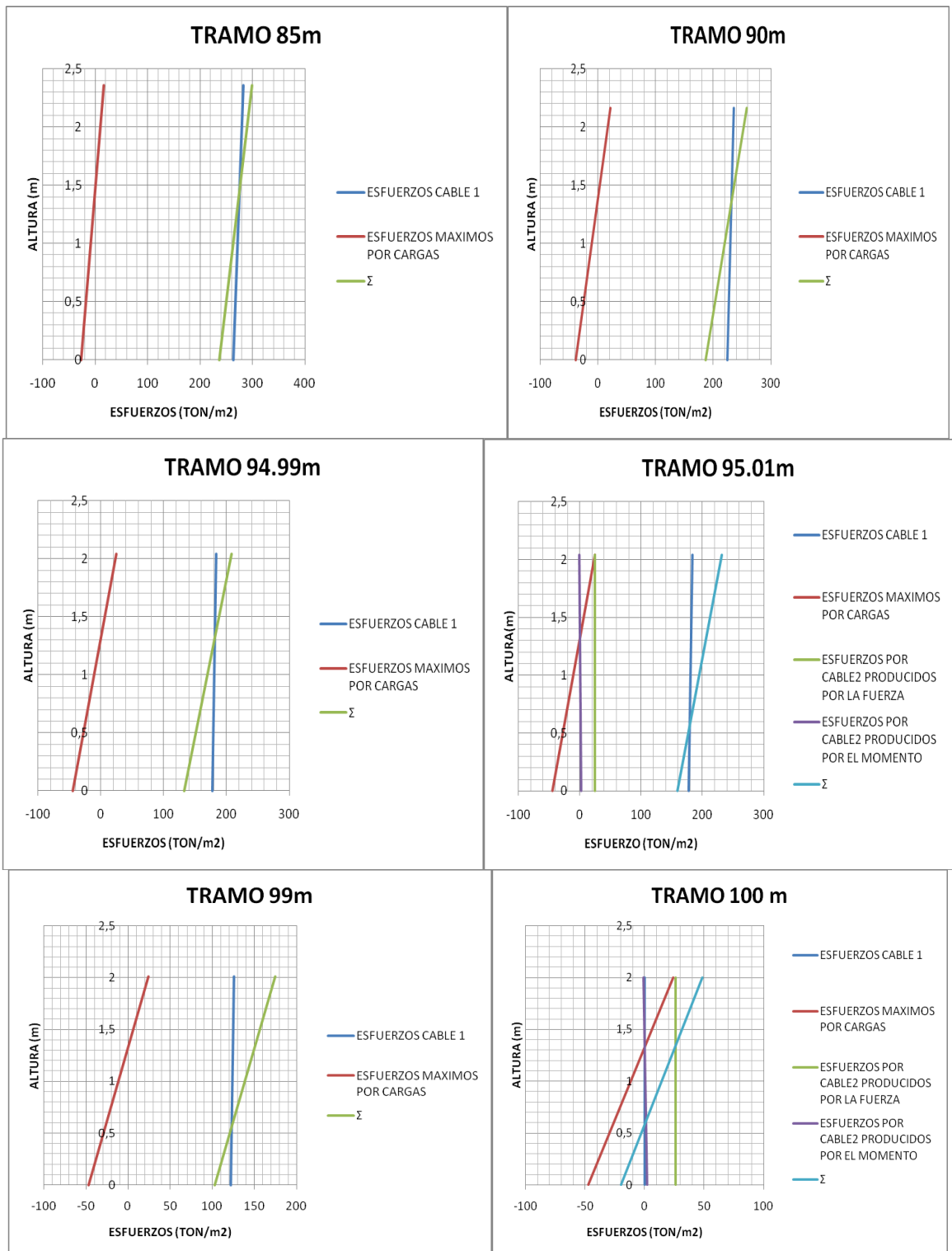
¿ESFUERZOS A COMPRESION?				
TRAMO	ESTADO2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5
VANO LATERAL	0	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	15	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	20	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	30	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	40	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
VANO CENTRAL	50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	75	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	80	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	90	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	94.99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	95.01	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

RESISTENCIA MAXIMA A COMPRESION $\sigma \leq 0,4f'c$									
TRAMO	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5	ESTADO 5	ESTADO 5	ESTADO 5	ESTADO 5
VANO LATERAL	0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	15	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	20	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	30	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	40	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
VANO CENTRAL	50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	75	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	80	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	90	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	94.99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	95.01	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE









HIPOTESIS CARGA POR SISMO

	TRAMO	ALTURA (m)	Ycg (m)	AREA (m ²)	C1 (m)	C2 (m)	INERCIA (m ⁴)	e (m) SERVICIO	e (CONSTRUCCION)	#CABLES DE ESTADO CONSTRUCTIVO
VANO LATERAL	0	2	1,33	7,63	0,67	1,33	144,66	1,03	0,27	0
	5	2,04	1,32	7,92	0,72	1,32	145,89	1,02	0,32	6
	10	2,16	1,37	8,27	0,79	1,37	147,82	1,07	0,39	8
	15	2,36	1,46	8,68	0,9	1,46	150,48	1,16	0,5	10
	20	2,64	1,6	9,16	1,04	1,6	153,67	1,3	0,64	12
	25	3	1,78	9,68	1,22	1,78	157,27	1,48	0,82	14
	30	3,44	2,01	10,25	1,43	2,01	161,31	1,71	1,03	16
	35	3,96	2,28	10,87	1,68	2,28	165,52	1,98	1,28	18
	40	4,56	2,59	11,52	1,97	2,59	169,76	2,29	1,57	20
	45	5,24	2,95	12,21	2,29	2,95	173,88	2,65	1,89	24
50	6	3,36	12,94	2,29	3,36	144,66	3,06	2,24	24	
VANO CENTRAL	50	6	3,36	12,94	2,29	3,36	144,66	3,06	2,24	24
	55	5,24	2,95	12,21	2,29	2,95	173,88	2,65	1,89	24
	60	4,56	2,59	11,52	1,97	2,59	169,76	2,29	1,57	20
	65	3,96	2,28	10,87	1,68	2,28	165,52	1,98	1,28	18
	70	3,44	2,01	10,25	1,43	2,01	161,31	1,71	1,03	16
	75	3	1,78	9,68	1,22	1,78	157,27	1,48	0,82	14
	80	2,64	1,6	9,16	1,04	1,6	153,67	1,3	0,64	12
	85	2,36	1,46	8,68	0,9	1,46	150,48	1,16	0,5	10
	90	2,16	1,37	8,27	0,79	1,37	147,82	1,07	0,39	8
	94,99	2,04	1,32	7,92	0,72	1,32	145,89	1,02	0,32	6
95,01	2,04	1,32	7,92	0,72	1,32	145,89	1,02	0,32	6	
99	2,01	1,33	7,68	0,68	1,33	144,83	1,03	0,28	4	
100	2	1,33	7,63	0,67	1,33	144,66	1,03	0,27	0	

esfuerzo de 1 toron= 14,0795455 Ton/toron

ESFUERZOS CABLE 1						
<i>esfuerzo del preesforzado</i>						
Σ PRESFORZADO1						
TRAMO	esfuerzo producido por la fuerza	esfuerzo producido por el momento arriba	esfuerzo producido por el momento abajo	Σ ARRIBA	Σ BAJO	
VANO LATERAL	0	0	0	0	0	
	5	181,3274793	2,268014133	-4,15802591	183,5954935	177,1694534
	10	231,5378696	3,991039655	-6,921170035	235,5289093	224,6166996
	15	275,7514663	7,157663658	-11,61132105	282,9091299	264,1401452
	20	313,5619293	12,44064862	-19,13945941	326,002578	294,4224699
	25	346,1706424	21,31539512	-31,09951092	367,4860375	315,0711315
	30	373,6230599	34,9678966	-49,15067983	408,5909565	324,47238
	35	396,3515096	55,97303221	-75,96340085	452,3245418	320,3881087
	40	415,5421402	87,21638128	-114,6651916	502,7585214	300,8769485
	45	470,4712977	142,9869664	-184,1971838	613,4582641	286,2741139
50	443,9300267	203,6966268	-298,8736533	647,6266535	145,0563734	
VANO CENTRAL	50	443,9300267	203,6966268	-298,8736533	647,6266535	145,0563734
	55	470,4712977	142,9869664	-184,1971838	613,4582641	286,2741139
	60	415,5421402	87,21638128	-114,6651916	502,7585214	300,8769485
	65	396,3515096	55,97303221	-75,96340085	452,3245418	320,3881087
	70	373,6230599	34,9678966	-49,15067983	408,5909565	324,47238
	75	346,1706424	21,31539512	-31,09951092	367,4860375	315,0711315
	80	313,5619293	12,44064862	-19,13945941	326,002578	294,4224699
	85	275,7514663	7,157663658	-11,61132105	282,9091299	264,1401452
	90	231,5378696	3,991039655	-6,921170035	235,5289093	224,6166996
	94,99	181,3274793	2,268014133	-4,15802591	183,5954935	177,1694534
95,01	181,3274793	2,268014133	-4,15802591	183,5954935	177,1694534	
99	124,662642	1,258652841	-2,461776879	125,9212949	122,2008652	
100	0	0	0	0	0	

PESO PROPIO						
		ESFUERZO EN EL CONCRETO			Σ TOTAL	
	TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	¿NECESITA CABLE?
VANO LATERAL	0	0	0	0	0	NO
	5	5,13184454	-9,408381657	188,727338	167,7610718	NO
	10	7,995717088	-13,86599039	243,5246264	210,7507092	NO
	15	8,044736842	-13,05035088	290,9538668	251,0897944	NO
	20	3,810784148	-5,862744843	329,8133621	288,5597251	NO
	25	-6,778148407	9,889429643	360,7078891	324,9605611	NO
	30	-26,49786188	37,24524642	382,0930946	361,7176265	NO
	35	-58,93570324	79,98416868	393,3888385	400,3722774	NO
	40	-108,503297	142,6515428	394,2552244	443,5284913	NO
	45	-179,6797901	231,4652318	433,7784741	517,7393457	NO
	50	-296,1771326	434,5655745	351,4495209	579,6219478	NO
VANO CENTRAL	50	-380,4985545	558,2860888	267,128099	703,3424621	NO
	55	-239,1439309	308,0675092	374,3143333	594,3416232	NO
	60	-151,3620535	198,9988419	351,3964679	499,8757904	NO
	65	-87,870232	119,2524577	364,4543098	439,6405664	NO
	70	-44,02673114	61,88372699	364,5642253	386,356107	NO
	75	-15,02236027	21,91786991	352,4636772	336,9890014	NO
	80	3,155530683	-4,854662589	329,1581086	289,5678073	NO
	85	13,61238038	-22,08230595	296,5215103	242,0578393	NO
	90	18,84760858	-32,68509336	254,3765179	191,9316062	NO
	94,99	20,98561382	-38,47362533	204,5811073	138,6958281	NO
	95,01	20,98561382	-38,47362533	204,5811073	138,6958281	NO
99	21,02224953	-41,11704688	146,9435444	81,08381828	NO	
100	20,78018941	-41,25022674	20,78018941	-41,25022674	SI	

PESO PROPIO+CABLE1						
		ESFUERZO EN EL CONCRETO			Σ TOTAL	
	TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	¿NECESITA CABLE?
VANO LATERAL	0	0,598627817	-1,18832089	0,598627817	-1,18832089	SI
	5	4,645379395	-8,516528892	188,2408729	168,6529245	NO
	10	8,067705317	-13,99083074	243,5966146	210,6258689	NO
	15	6,762799043	-10,97076289	289,671929	253,1693823	NO
	20	2,438216958	-3,751103013	328,4407949	290,6713669	NO
	25	-7,742077955	11,29581866	359,7439595	326,3669501	NO
	30	-26,13927593	36,74122001	382,4516805	361,2136	NO
	35	-55,83300145	75,77335911	396,4915403	396,1614678	NO
	40	-91,76734861	120,6484431	410,9911728	421,5253916	NO
	45	-163,6866661	210,8627358	449,7715981	497,1368497	NO
	50	-266,2375909	390,6368146	381,3890626	535,693188	NO
VANO CENTRAL	50	-327,3398756	480,2890751	320,286778	625,3454484	NO
	55	-194,9184046	251,0957614	418,5398595	537,3698754	NO
	60	-122,8924434	161,5692531	379,866078	462,4462016	NO
	65	-70,59796037	95,81151764	381,7265814	416,1996264	NO
	70	-34,37292356	48,31438906	374,2180329	372,7867691	NO
	75	-10,39951675	15,17306543	357,0865207	330,2441969	NO
	80	4,532023167	-6,972343333	330,5346011	287,4501266	NO
	85	12,9965311	-21,08326156	295,905661	243,0568837	NO
	90	17,01813489	-29,51246178	252,5470442	195,1042378	NO
	94,99	18,37483035	-33,68718898	201,9703238	143,4822645	NO
	95,01	18,37483035	-33,68718898	201,9703238	143,4822645	NO
99	17,81925844	-34,85237313	143,7405533	87,34849204	NO	
100	17,62059242	-34,97819093	17,62059242	-34,97819093	SI	

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS						
TRAMO	ESFUERZO EN EL CONCRETO		Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0,598627817	-1,18832089	0,598627817	-1,18832089	SI
	5	5,065120296	-9,286053876	188,6606138	167,8833996	NO
	10	8,642381951	-14,98742186	244,1712912	209,6292777	NO
	15	7,166088517	-11,62498804	290,0752185	252,5151572	NO
	20	2,199789159	-3,384291013	328,2023671	291,0381789	NO
	25	-9,297195905	13,56476124	358,1888416	328,6358927	NO
	30	-29,93603186	42,07791891	378,6549246	366,5502989	NO
	35	-63,12758337	85,67314886	389,1969584	406,0612576	NO
	40	-104,2035538	136,9985809	398,5549676	437,8755295	NO
	45	-183,2732252	236,0943294	430,1850389	522,3684434	NO
50	-297,349044	436,2850601	350,2776096	581,3414335	NO	
VANO CENTRAL	50	-368,4705931	540,6380755	279,1560604	685,6944489	NO
	55	-221,3084553	285,0916782	392,1498089	571,3657921	NO
	60	-139,9737453	184,0263961	362,7847761	484,9033446	NO
	65	-80,77458676	109,6226535	371,549955	430,0107622	NO
	70	-39,65561713	55,73971359	368,9353393	380,2120936	NO
	75	-12,35274242	18,02285369	355,1332951	333,0939851	NO
	80	4,733905121	-7,282930956	330,7364831	287,139539	NO
	85	14,48486842	-23,49767544	297,3939984	240,6424698	NO
	90	19,18419497	-33,2687938	254,7131042	191,3479058	NO
	94,99	20,8384454	-38,20381657	204,4339389	138,9656369	NO
95,01	20,8384454	-38,20381657	204,4339389	138,9656369	NO	
99	20,30417179	-39,71257129	146,2254667	82,48829388	NO	
100	20,07762961	-39,85559311	20,07762961	-39,85559311	SI	

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO						
TRAMO	ESFUERZO EN EL CONCRETO		Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0,59847399	-1,188015531	0,59847399	-1,188015531	SI
	5	5,061833779	-9,280028595	188,6573273	167,8894248	NO
	10	8,632436138	-14,97017406	244,1613454	209,6465255	NO
	15	7,142681011	-11,58701586	290,0518109	252,5531294	NO
	20	2,150060879	-3,307785968	328,1526388	291,114684	NO
	25	-9,399216454	13,71361089	358,086821	328,7847423	NO
	30	-30,1339931	42,35617211	378,4569634	366,8285521	NO
	35	-63,50156674	86,18069772	388,822975	406,5688064	NO
	40	-104,8904006	137,9015927	397,8681208	438,7785412	NO
	45	-184,4841801	237,6542932	428,974084	523,9284071	NO
50	-299,5428317	439,5038928	348,0838218	584,5602662	NO	
VANO CENTRAL	50	-370,6643808	543,8569081	276,9622727	688,9132815	NO
	55	-222,5194102	286,6516419	390,938854	572,9257559	NO
	60	-140,6605921	184,9294079	362,0979294	485,8063564	NO
	65	-81,14857013	110,1302023	371,1759717	430,518311	NO
	70	-39,85357837	56,01796679	368,7373781	380,4903468	NO
	75	-12,45476297	18,17170334	355,0312745	333,2428348	NO
	80	4,684176842	-7,20642591	330,6867548	287,216044	NO
	85	14,46146091	-23,45970326	297,3705908	240,680442	NO
	90	19,17424915	-33,251546	254,7031584	191,3651536	NO
	94,99	20,83515889	-38,19779129	204,4306524	138,9716621	NO
95,01	20,83515889	-38,19779129	204,4306524	138,9716621	NO	
99	20,30417179	-39,71257129	146,2254667	82,48829388	NO	
100	20,07747579	-39,85528776	20,07747579	-39,85528776	SI	

PESO PROPIO+CABLE1+ACCESORIOS+FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO+SISMO						1
ESFUERZO EN EL CONCRETO			Σ TOTAL		¿NECESITA CABLE?	
TRAMO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
VANO LATERAL	0	0,59847399	-1,188015531	0,59847399	-1,188015531	SI
	5	8,326633286	-15,26549436	191,9221268	161,9039591	NO
	10	15,70336903	-27,23242477	251,2322783	197,3842748	NO
	15	19,01235804	-30,84226972	301,921488	233,2978755	NO
	20	20,05854009	-30,85929244	346,061118	263,5631775	NO
	25	16,25972549	-23,72320605	383,745763	291,3479254	NO
	30	5,052818633	-7,102213603	413,6437751	317,3701664	NO
	35	-16,5001361	22,39304185	435,8244057	342,7811506	NO
	40	-43,47527929	57,15785449	459,2832421	358,034803	NO
	45	-106,0720936	136,6430901	507,3861705	422,917204	NO
50	-194,8198938	285,8492764	452,8067598	430,9056498	NO	
VANO CENTRAL	50	-284,7043725	417,7321798	362,922281	562,7885532	NO
	55	-158,3355357	203,9693582	455,1227285	490,2434721	NO
	60	-90,55034173	119,0484188	412,2081797	419,9253673	NO
	65	-42,93841546	58,27356384	409,3861263	378,6616726	NO
	70	-11,36279416	15,97147991	397,2281623	340,4438599	NO
	75	8,239235889	-12,02118023	375,7252734	303,0499512	NO
	80	19,09569243	-29,37798835	345,0982704	265,0444816	NO
	85	24,07425996	-39,05379949	306,9833899	225,0863457	NO
	90	25,17989521	-43,66640055	260,7088045	180,950299	NO
	94,99	24,57003859	-45,04507075	208,1655321	132,1243827	NO
95,01	24,57003859	-45,04507075	208,1655321	132,1243827	NO	
99	22,75424705	-44,50463026	148,6755419	77,69623491	NO	
100	22,4509135	-44,56673874	22,4509135	-44,56673874	SI	

TRAMO	CERO	ALTURA	ESFUERZOS CABLE 1		ESFUERZOS MAXIMOS POR CARGAS		ESFUERZOS POR CABLE 2				Σ			
			ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ESFUERZOS POR CABLE2 PRODUCIDOS POR LA FUERZA		ESFUERZOS POR CABLE2 PRODUCIDOS POR EL		ARRIBA	ABAJO		
							ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO				
VANO LATERAL	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,59847399	-1,188015531
	5	0	2,04	183,5954935	177,1694534	8,326633286	-15,26549436	0	0	0	0	0	191,922127	161,903959
	10	0	2,16	235,5289093	224,6166996	15,70336903	-27,23242477	0	0	0	0	0	251,232278	197,384275
	15	0	2,36	282,9091299	264,1401452	19,01235804	-30,84226972	0	0	0	0	0	301,921488	233,297876
	20	0	2,64	326,002578	294,4224699	20,05854009	-30,85929244	0	0	0	0	0	346,061118	263,563177
	25	0	3	367,4860375	315,0711315	16,25972549	-23,72320605	0	0	0	0	0	383,745763	291,347925
	30	0	3,44	408,5909565	324,47238	5,052818633	-7,102213603	0	0	0	0	0	413,643775	317,370166
	35	0	3,96	452,3245418	320,3881087	-16,5001361	22,39304185	0	0	0	0	0	435,824406	342,781151
	40	0	4,56	502,7585214	300,8769485	-43,47527929	57,15785449	0	0	0	0	0	459,283242	358,034803
	45	0	5,24	613,4582641	286,2741139	-106,0720936	136,6430901	0	0	0	0	0	507,386171	422,917204
50	0	6	647,6266535	145,0563734	-194,8198938	285,8492764	0	0	0	0	0	452,806676	430,90565	
VANO CENTRAL	50	0	6	647,6266535	145,0563734	-284,7043725	417,7321798	0	0	0	0	0	362,922281	562,788553
	55	0	5,24	613,4582641	286,2741139	-158,3355357	203,9693582	0	0	0	0	0	455,122728	490,243472
	60	0	4,56	502,7585214	300,8769485	-90,55034173	119,0484188	0	0	0	0	0	412,20818	419,925367
	65	0	3,96	452,3245418	320,3881087	-42,93841546	58,27356384	0	0	0	0	0	409,386126	378,661673
	70	0	3,44	408,5909565	324,47238	-11,36279416	15,97147991	0	0	0	0	0	397,228162	340,44386
	75	0	3	367,4860375	315,0711315	8,239235889	-12,02118023	0	0	0	0	0	375,725273	303,049951
	80	0	2,64	326,002578	294,4224699	19,09569243	-29,37798835	0	0	0	0	0	345,09827	265,044482
	85	0	2,36	282,9091299	264,1401452	24,07425996	-39,05379949	0	0	0	0	0	306,98339	225,086346
	90	0	2,16	235,5289093	224,6166996	25,17989521	-43,66640055	0	0	0	0	0	260,708804	180,950299
	94,99	0	2,04	183,5954935	177,1694534	24,57003859	-45,04507075	0	0	0	0	0	208,165532	132,124383
95,01	0	2,04	183,5954935	177,1694534	24,57003859	-45,04507075	24,8880854	24,8880854	-0,992256183	1,81913634	232,061361	158,831604		
99	0	2,01	125,9212949	122,2008652	22,75424705	-44,50463026	25,66583807	25,66583807	-0,953244431	1,86443396	173,388136	105,226507		
100	0	2	0	0	22,4509135	-44,56673874	25,83402836	25,83402836	-0,94032988	1,86662499	47,344612	-16,8660854		

TRAMO	RESITENCIA MAXIMA A COMPRESION $\sigma <= 0,4f'c$												
	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5	ESTADO 6	ESTADO 7	ESTADO 8	ESTADO 9	ESTADO 10			
VANO LATERAL	0	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	10	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	15	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	20	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	30	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	40	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
VANO CENTRAL	50	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	60	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	70	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	75	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	80	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	90	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	94,99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
95,01	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
99	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	

