

Proyecto del puente sobre el rio Cuiabá

Design of bridge over Cuiabá river

Ma. Fernanda Quintana¹⁸, Franklin Gratão¹⁹, Raquel Moura²⁰

Recibido: Junio 2010

Aceptado: Septiembre 2010

Resumen.- Los puentes en ménsulas o volados sucesivos consisten en dos voladizos, constituidos por dovelas consecutivas, que parten de dos pilas adyacentes, uniéndose en el centro por vigas apoyadas (sistema Gerber) o por una dovela de cierre. Este tipo de puentes presenta diversas soluciones constructivas en arco o viga de acero u hormigón, generalmente salvan grandes luces sin necesidad de estructuras auxiliares. Los puentes construidos por voladizos sucesivos presentan dificultades especiales en cuanto a cálculo. El volumen de cálculos necesarios es mucho mayor que para otros tipos de obras menores. Existe un número importante de secciones que hay que verificar, así como la evolución del esquema estático de la obra. El proyecto de este tipo de obras debe integrar también el factor tiempo, por causa de la duración de la construcción, durante la que comienzan ya a aparecer las propiedades no elásticas de los materiales puestos en obra. Los efectos de la fluencia del hormigón y de la relajación de los aceros plantean delicados problemas de contra flecha de los voladizos y de redistribución de esfuerzos en las estructuras que se hacen continuas (MATHIVAT). Por esta razón, creemos relevante la presentación de las consideraciones y cálculos realizados para la elaboración del proyecto del Puente sobre el Rio Cuiabá.

Palabras clave: Puentes, puentes en voladizos sucesivos, concepción.

Summary.- *The Cantilever bridges consist of two spans formed by consecutive segments that originate from two adjacent columns, brought together in the middle by Gerber girder or by a closing segment. These kinds of bridges present several constructive solutions, such as steel structures or concrete arch girder, generally saving great amount of spans with no need of any spare structures. Bridges built with the cantilevered method demand a special care as far as calculation is concerned. The complexity of calculation is greater than the one required for any other kind of minor construction. There are important sections to be checked, as well as the evolution of the static scheme of the construction. These kind of projects must take into account the time factor, because of the fact that during construction non-elastic properties of the materias involved start to develop. The concrete creep and the steel relaxation imply deflections problems and redistribution of tension on the structures. Therefore, we believe on the relevance of showing the considerations and calculations as part of the project elaboration of the bridge over Cuiaba river.*

Keywords: *Bridges, Cantilever bridges, conception.*

¹⁸ Ing. Civ. Graduada (Universidad de Montevideo). Mestre Universidade de São Paulo. São Paulo (Brazil) fernanda.quintana@gmail.com

¹⁹ Ingeniero. Universidade Federal de Matto Grosso. Matto Grosso (Brazil)

²⁰ Arquitecta. Universidade Paulista. São Paulo (Brazil)

1. Introducción y objetivos.- Los puentes en ménsulas o voladizos sucesivos consisten en dos voladizos, constituidos por dovelas consecutivas, que parten de dos pilas adyacentes, uniéndose en el centro por vigas apoyadas (sistema Gerber) o por una dovela de cierre. Este tipo de puentes presenta diversas construcciones en arco o viga de acero u hormigón, generalmente salvan grandes luces sin necesidad de estructuras auxiliares.

Los puentes construidos por voladizos sucesivos presentan dificultades especiales en cuanto a cálculo. El volumen de cálculos necesarios es mucho mayor que para otros tipos de obras. Existe un número importante de secciones que hay que verificar, así como la evolución del esquema estático de la obra. El proyecto de este tipo de obras debe integrar también el factor tiempo, por causa de la duración de la construcción, durante la que comienzan ya a aparecer las propiedades no elásticas de los materiales puestos en obra. Los efectos de la fluencia del hormigón y de la relajación de los aceros plantean delicados problemas de contraflecha de los voladizos y de redistribución de esfuerzos en las estructuras que se hacen continuas [15].

El método de los voladizos sucesivos fue elaborado por Emilio Baumgart para la construcción en concreto armado, del tramo central del Puente Herval, sobre el Río del Peixe, Santa Catarina, en 1930. Este tipo de obra en concreto armado no tuvo gran desarrollo, debido a la alta aradura necesaria para asegurar la resistencia de los voladizos y el control de fisuración en el tablero. Con el surgimiento de la técnica de protensión, hubo avances grandes. Actualmente, la mayor parte de los grandes puentes protendidos son construidos por el método de los voladizos sucesivos. Además de la evidente economía por no utilizar cimbras, se suma la ventaja de que las eventuales circulaciones (transito o agua) no precisan ser interrumpidas [14].

El método consiste en la construcción del puente, simétricamente, en voladizos sucesivos (dovelas), a partir de un trecho inicial (dovela de partida). Este trecho es construido sobre pilares para posibilitar la instalación de un carro de lanzamiento. Puede ser empotrado en el pilar o simplemente apoyado, caso en que es necesario el montaje de soportes temporarios. En seguida, son construidas las dovelas, simétricamente, a partir de este trecho inicial, cuyos encofrados son sustentados por un carro de lanzamiento, como muestra la Figura XI. Las dovelas son células de altura variable, que pueden ser coladas in situ o premoldeadas. Cada dovela se mantiene sujeta a la anterior, ya ejecutada, por medio de cables de pretensado.

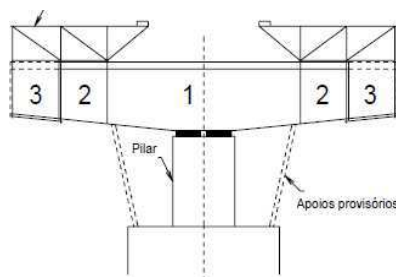


Figura VI: Inicio de la construcción por voladizos sucesivos

2. Definición de las características geométricas y físicas.- En la bibliografía existen varias referencias sobre la definición de las características geométricas y físicas de los puentes de voladizos sucesivos [14, 15, 16].

Utilizando a guía de diseño de puentes en hormigón pretensado construidos por el método de voladizos sucesivos [15], abordamos algunos ítems importantes que fueron utilizados en la realización de este puente.

Distribución de vanos o luces: El final de los vanos son generalmente mas largos que la mitad del vano central, esta suma de longitud representa 10 a 20% de largo de la luz central.



Figura VII: Punte solo con voladizo

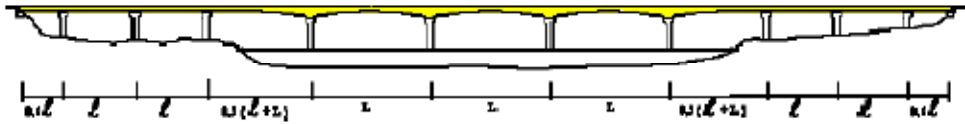


Figura VIII: Combinación con puente voladizo e puente isostático (dimensiones genéricas)

Profundidad parabólica variable: Cuando las luces son de 65m/70m los voladizos están sometidos a solicitaciones altas, esto requiere que la profundidad en los apoyos sea mayor que en el medio del vano. Generalmente esta variación es en forma de parábola; recordando que los voladizos deben ser simétricos para garantizar la estabilidad durante la construcción.

A partir de estudios estadísticos, se desarrollaron algunas fórmulas para definir la altura de la sección en el medio y en los apoyos. Consideramos h_p la altura en los apoyos, h_c la altura en el medio del vano y l la longitud entre apoyos, como muestra la Figura XIV.

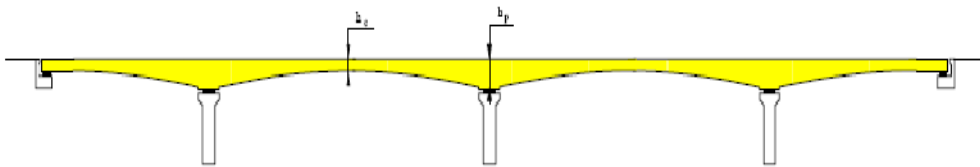


Figura IX: Profundidad parabólica variable

En los apoyos: $\frac{l}{h_p} = 14 + \frac{l}{45}$ (1)

En el medio del vano: $\frac{l}{h_c} = 19 + \frac{l}{7}$ (2)

Sección transversal: Para la sección transversal varias formulas de pre-dimensionamiento también fueron desarrolladas; estas están detalladas en los siguientes capítulos. Lo más importante es conseguir alojar toda la armadura pasiva y activa.

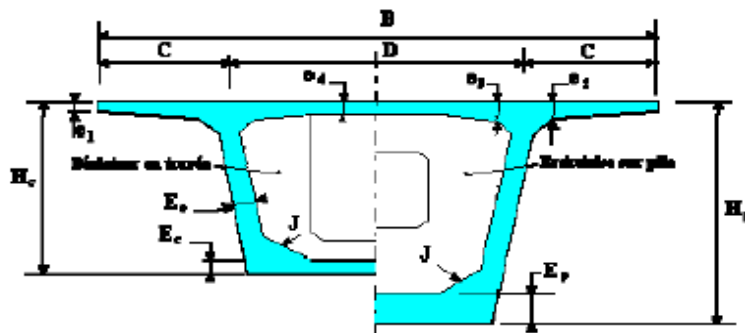


Figura X: Parámetros para la definición de la sección (a la izquierda sección en el medio del puente a la derecha sección en el apoyo) - esquema de representación típica

Antes de comenzar a diseñar la sección, se debe tener una noción de donde y como estarán dispuestos los cables de pretensado, así como también la diagramación de las barras de acero.

Los tipos de cables que estarán en la sección son: cables de voladizo (dispuestos en cada dovela) y cables internos de continuidad. Los cables de voladizo resisten los momentos negativos dados en la parte de construcción de las dovelas (debidos a gradientes térmicos y propiedades intrínsecas del material); están localizados en las ménsulas superiores entre la losa superior y las almas. Los cables internos de continuidad resisten los momentos positivos que surgen en la construcción del puente, están localizados en las ménsulas inferiores entre la losa inferior y las almas.

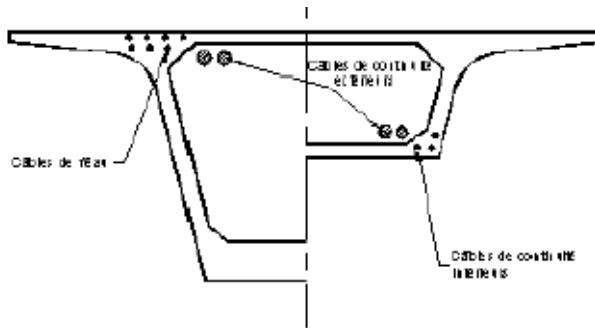


Figura XI: Definición de los cables de pretensión

2.1 Losa superior.- En una sección celular simple, las almas están localizadas a $\frac{1}{4}$ del ancho total: $C \approx \frac{B}{4}$ (3). Se recomienda que el espesor para puentes vehiculares sea mayor o igual a 25cm. Próximo a los apoyos esta dimensión aumenta para $\frac{1}{7}$ a $\frac{1}{8}$ del ancho del voladizo para e_2 . Otras recomendaciones son las siguientes:

$$e_4 = \frac{D}{25} \text{ o } \frac{D}{30} \quad (4),$$

$$e_3 = 0,1m + \frac{D}{25} \quad (5)$$

Generalmente también se verifica que: $e_3 > e_2 - 0,1m$ y $e_3 > 1,5e_4$ (6)

2.2 Almas.- Generalmente los cables están localizados en las ménsulas superiores, pero en el caso de los cables de voladizo (cables negativos) en anclaje de salida está ubicado en las almas. Considerando que L =longitud del vano, entonces el espesor E_a de las dos almas es de:

$$E_a = \frac{L}{275} + 1,25 \frac{B}{L} - 0,125 \quad (7)$$

2.3 Losa inferior.- La dimensión de la losa inferior es menor en los apoyos y va aumentando conforme se acerca a los apoyos. La losa acompaña la variación del puente, ya sea lineal, parabólica o de cuarto grado.

En la sección central la losa debe ser lo mas fina posible: 20 a 25cm, para bajar el peso propio de la estructura. Debido al fenómeno de corrosión y los esfuerzos internos de la estructura, se recomienda que el espesor no sea menor que $\frac{1}{3}$ del espesor de las almas, para que la superestructura sea indiferente a las deformaciones transversales.

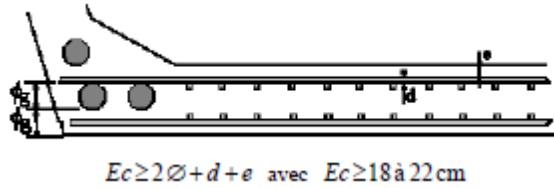


Figura XII: Detalle de la losa inferior

La máxima dimensión E_p de la losa inferior, en los apoyos, está limitada a los esfuerzos de compresión en servicio de la fibra inferior. Este valor varía de 35 a 80cm o a veces más. Generalmente, se adopta un margen de seguridad para la tensión máxima de manera de limitar la redistribución debido a la fluencia.

2.4 Ménsulas.- Las ménsulas superiores deben cumplir algunas funciones que determinan sus dimensiones:

- Cuanto mas finas las losas, mayores los esfuerzos transversales
- El formato de embudo facilita el hormigonado
- Alojjar los cables de voladizos para asegurar su recubrimiento
- Afinar los nodos entre las almas y las losas superiores, permitiendo absorber los esfuerzos debidos a la distribución de los cables de voladizo.

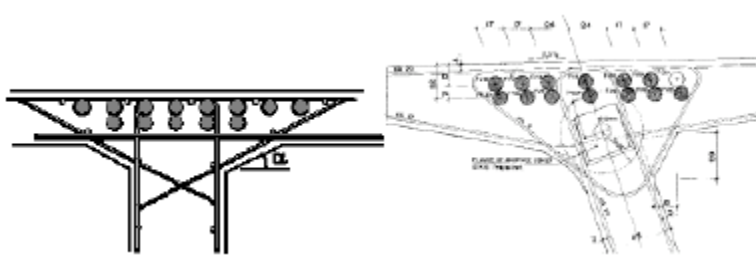


Figura XIII: Detalle de ménsula superior

En resumen, la forma interna de las ménsulas debe ser inclinada a unos 30° a 45° para facilitar el hormigonado, en cambio su forma externa puede seguir padrones estéticos.

Las ménsulas inferiores tienen una inclinación de 40° a 45° , también para facilitar el hormigonado. Cuando la losa inferior es ancha esta inclinación cae para 15° o menos.

Cuando los cables internos de continuidad (positivos) no están totalmente alojados en esta región, surgen los llamados nichos, ellos son el, anclaje de salida de los cables.



Figura XIV: Detalle de nichos de protensión

Es importante destacar que todas las fórmulas empíricas de este capítulo son recomendaciones elaboradas a partir de la experiencia y ensayos de prueba. Pueden existir casos especiales, en donde surgen nuevas medidas.

3. Generalidades del puente sobre el rio Cuiabá.- Cuiabá es la capital del estado de Mato Grosso. Debido a que la Copa del Mundo será realizada en Brasil, varias obras de expansión y mejora de la red vial están siendo realizadas. La duplicación del puente Mário Andrezza, sobre el rio Cuiabá, será la primera obra de movilidad urbana en la región para la Copa del Mundo.

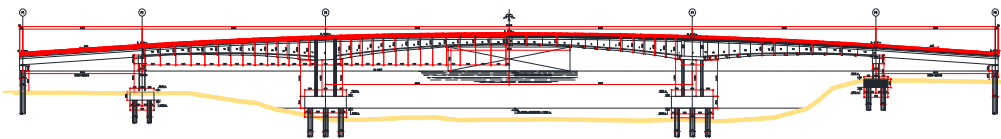
Respetando las exigencias ambientales y viales del lugar fue definida la característica mas importante de la obra: su sistema estructural, voladizos sucesivos.



Figura XV: Localización de Cuiabá en relación a Brasil y América del Sur

Utilizando las reglas de concepción anteriormente detalladas (destacar que en este artículos son abordadas solamente los ítems más relevantes) definimos la geometría del puente. Debido al cauce del Rio Cuiabá consideramos que el vano central debe ser de 120m, por tanto los vanos laterales son de 60m.

Las secciones transversales de la superestructura respetan las fórmulas anteriores como muestran las figuras. Las secciones de los pilares y bloques de fundación fueron concebidas para las solicitaciones existentes. A continuación son presentadas las secciones más importantes del puente.



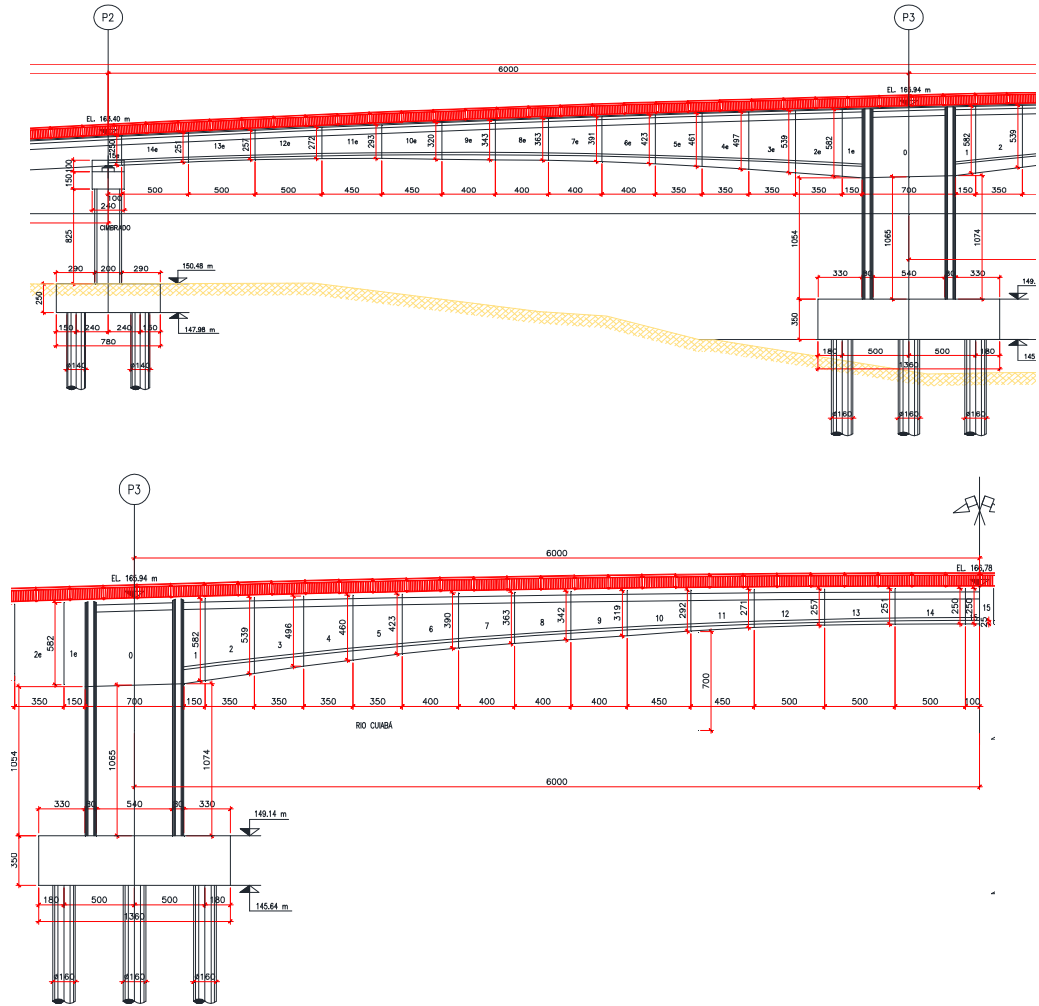


Figura XVI: Mitad de la elevación del Puente sobre El Rio Cuiabá

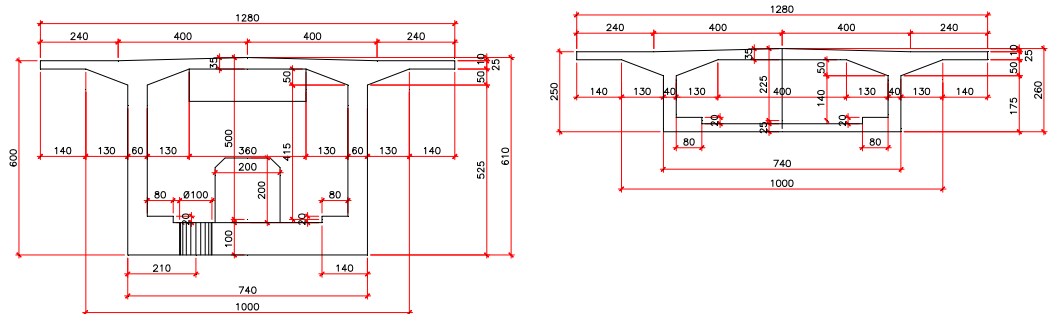


Figura XVII: Secciones en el apoyo y la mitad del puente respectivamente

Los materiales utilizados son:

Hormigón (según la NBR 6118)		Acero (según la NBR 6118)	
Superestructura	$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$	CA-50:	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Pilares, estribos,	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	CP-190RB:	$f_{yk} = 1900 \text{ MPa}$
Bloques, pilones	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$		

Tabla I: Lista de materiales utilizados

4. Modelo, cargas y cálculo del puente.-

4.1. Modelo.- El desarrollo de este tipo de estructuras fue dado principalmente por el avance de los programas de cálculo. Para el cálculo de puentes en voladizos sucesivos son necesarias varias verificaciones que requieren de un conocimiento técnico más avanzado.

En el mercado existen algunos programas de cálculo, los más destacados en el momento son: SAP 2000, CSI Bridge, MIDAS y STRAP. Algunos poseen mas capacidades que otros, pero en líneas generales todas facilitan el cálculo, llevando en consideración la alteración del material a través del tiempo. Los fenómenos que deben de ser considerados son: pérdidas de la fuerza de los cables de pretensado, retracción y fluencia.

Utilizando los programas de cálculo podemos modelar la estructura completa y obtener los diagramas de solicitaciones tanto en la situación final como en la de servicio.

Además de la geometría y propiedades intrínsecas del material (donde también son considerados los cambios a través del tiempo)

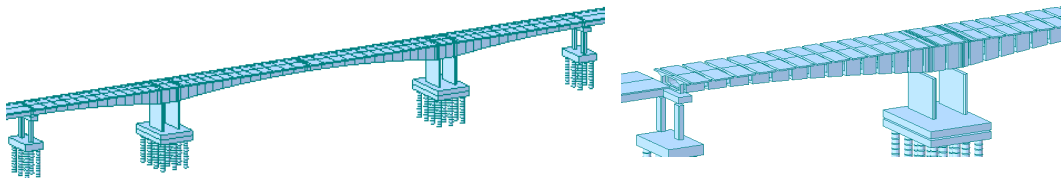


Figura XVIII: Vistas del Puente sobre el Rio Cuiabá

Los cables de pretensado son elementos que también pueden ser insertados en el modelo. Informando la carga que cada uno soporta, así como también los coeficientes referentes a las pérdidas de la fuerza de pretensado, podemos obtener las solicitaciones debidas al pretensado en el estado final del puente y en durante su construcción.

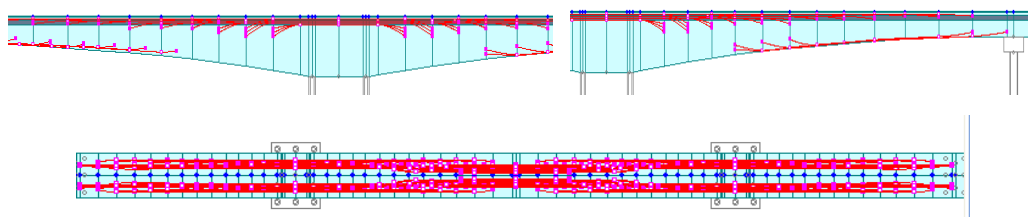


Figura XIX: Vistas general de los cables en la elevación y planta

En este caso, los diagramas presentados son de los programas MIDAS y STRAP. Es importante destacar que para el cálculo de este puente fueron utilizadas las normas vigentes de la región [1, 2, 3, 4, 5,6].

4.2. Cargas.- En los puentes tenemos dos grupos de cargas: permanentes y móviles. Las permanentes son las cargas que actúan durante toda la historia del puente, mientras que las móviles, son cargas eventuales (tren tipo, viento, etc.). En este tipo de puentes también tenemos las cargas durante la construcción, que generalmente son debidas a maquinaria utilizada en el servicio. Además de estas clasificaciones de cargas, existe una clasificación más: cargas verticales y cargas horizontales.

4.2.1. Cargas permanentes (vertical)

- **Peso propio:** El peso propio generalmente es calculado automáticamente por el programa basado en las propiedades geométricas de las secciones modeladas. Todas las demás características que no estén incluidas en la geometría del modelo deben ser introducidas manualmente.
- **Pavimento, Defensas, Postes, Barandas (vertical):** El pavimento y las defensas son cargas permanentes pero no son debidas a las características del puente. Usualmente el pavimento es flexible, las barandas son metálicas y todos los tipos de defensas y postes son de hormigón armado.

4.2.2. Cargas móviles (verticales)

- **Tren tipo:** El tren tipo utilizado es un vehículo de 45 ton y una carga distribuida de 500kg/m² en la región de tránsito y 300kg/m² en la faja de peatones; estos valores son de acuerdo a la norma brasileña. Los programas analizan la carga móvil a través de líneas y superficies de influencia. Definiendo fajas de tránsito podemos localizar la carga de tren tipo. Así, podemos colocar el tren tipo en la posición más crítica para determinado elemento estructural, tanto para las fuerzas axiales, momento flector, momento de torsión, cortante o tensiones.

Debido a la dimensión de la obra, se calcula el coeficiente de impacto dado por la fórmula: $\phi = 1,4 - 0,007 \times \text{vano}$. Es importante destacar que el coeficiente de impacto puede ser tomado en cuenta antes o después de obtener las solicitaciones, ya que puede ser considerado como otro coeficiente de cálculo.

Consideramos el primer modelo, como modelo lineal, por tanto definimos cuatro líneas de tránsito

- a) TB lateral– línea excéntrica en la cual será aplicada la carga distribuida y el tren tipo referidos a la mitad del tablero, de ambos lados.
 - b) Mult lateral– línea excéntrica en la cual será aplicada la carga distribuida de la faja de peatones.
 - c) TB. cen. lat. – línea centrada en la cual será aplicada la carga distribuida y el tren tipo referidos al ancho integral del tablero de la sección cajón.
- **Frenado y Aceleración (horizontal):** Consideramos el frenado como 10% del peso del vehículo y la aceleración es el 5% de la carga distribuida. El mayor valor de los dos es el que cargará la estructura. Esta carga puede ser distribuida en el tablero o puede estar concentrada en el medio del vano.

- **Viento (horizontal):** Generalmente el viento en las estructuras de puentes era determinado de la siguiente manera: 100 kg/m en la estructura cargada y 150kg/m en la estructura descargada. Por tanto, la presión del viento era 100 y 150 kg/m. Actualmente la presión del viento es calculada según las normas de viento de la región.
- **Retracción y Fluencia (horizontal):** Para las cargas de retracción y fluencia consideramos ciertos parámetros que varían según la norma utilizada. Los programas de cálculo actuales consideran estos fenómenos a lo largo del tiempo, de esta forma se puede analizar la situación de servicio del puente. En este caso las cargas fueron consideradas automáticamente por el programa luego de haber introducido los parámetros correspondientes.
- **Temperatura (horizontal):** La carga de temperatura respeta la norma de cada país, según el ítem 11.4.2.1 de la NBR 6118 $\Delta T = \pm 10^\circ \text{C}$.

4.2.3. Cargas Constructivas.- El “carro” utilizado para la construcción de las dovelas, es un reticulado metálico que se desliza en la estructura ya hormigonada para construir la próxima dovela. Las cargas son determinadas por el fabricante de encofrado, pero de acuerdo con la forma puede determinarse una carga de proyecto.

Este reticulado provoca un momento binario en el tablero dado por la carga de la nueva dovela en la existente. Según la recomendación del fabricante, en este caso, el “carro” tiene un peso total de 50tf con un binario de 8m (el primero apoyado a 50cm de la extremidad de la dovela). Consideramos que toda la carga del “carro” está aplicada en la mitad de los 6m (a favor de la seguridad), tenemos un binario de 68,75tf y 18,75tf. Si el tamaño de dovelas cambia, también cambiarán las fuerzas aplicadas.

Para cada etapa constructiva fue introducida la carga del “carro”, como muestra la Figura XXV.

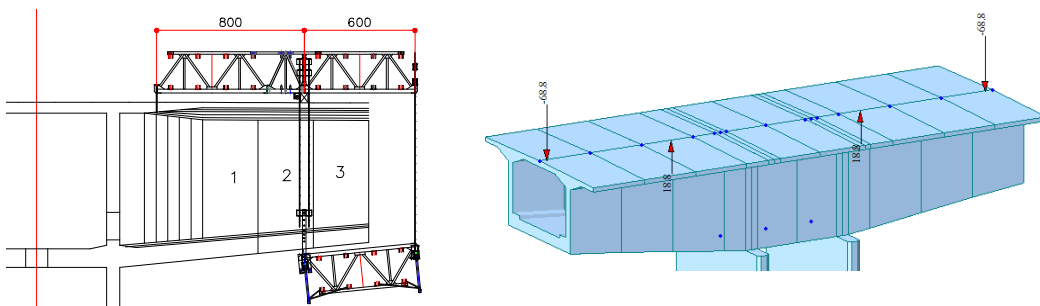


Figura XX: Vistas del Puente sobre el Río Cuiabá

Estas fuerzas pueden ser recalculadas posteriormente, pero no tendrán una gran influencia en el dimensionamiento de la estructura. Además de la carga del “carro” existe la carga del hormigón fresco referente a la construcción de cada dovela.

4.3. Cálculo del Puente.- Los ítems que fueron abordados para la elaboración de la memoria de cálculo del puente fueron:

- 4.3.1. Cálculos referentes a la superestructura
 - 4.3.1.1. Análisis de tensiones de la sección cajón
 - 4.3.1.2. Verificación de la ruptura (ELU-según la norma brasileña):
 - 4.3.1.2.1. Verificación del momento flector negativo (apoyo)
 - 4.3.1.2.1. Verificación del momento flector positivo (en el medio del vano)
 - 4.3.1.3. Dimensionamiento a cortante y torsión de las almas

- 4.3.1.4. Verificación de la “armadura de costura” en la unión alma-mesa
- 4.3.1.5. Dimensionamiento de las losas superior e inferior con ayuda de modelos locales
- 4.3.1.6. Verificación de las vigas transversales
- 4.3.1.7. Armaduras de las cabezas de pretensado.
- 4.3.1.8. Dimensionamiento de los nichos intermediarios de pretensado
- 4.3.2. Cálculos referentes a la meso e infraestructura
 - 4.3.2.1. Verificación de las vigas transversales
 - 4.3.2.2. Verificación de los pilares
 - 4.3.2.3. Verificación de los bloques de fundación
 - 4.3.2.4. Verificación de los pilones

La bibliografía utilizada para el estudio de cada uno de estos ítems está citada en el ítem 5.2 [7, 8, 9, 10, 11, 12,13]

Cada uno de estos ítems es analizado cuidadosamente para obtener la armadura de toda la estructura. Las tensiones debidas a las solicitaciones son verificadas en todas las secciones. Además, estas son verificadas a la ruptura, o sea, el estado limite último, considerando los coeficientes de mayor ración correspondientes (1,35 para cargas permanentes y 1,5 para cargas móviles).

La “armadura de costura” es una armadura alojada en la unión del alma y la mesa, proveniente de las solicitaciones de cortante y momento de las secciones.

Las losas son dimensionadas con otro modelo de cálculo, donde son detallados elementos en forma de placa (simulando la losa). Las cargas son iguales a las explicadas en ítems anteriores, con la condición que solo serán utilizadas las cargas verticales. En este caso, el tren tipo no solo se mueve en el sentido longitudinal, sino que también se mueve en el sentido transversal para estudiar los efectos locales.

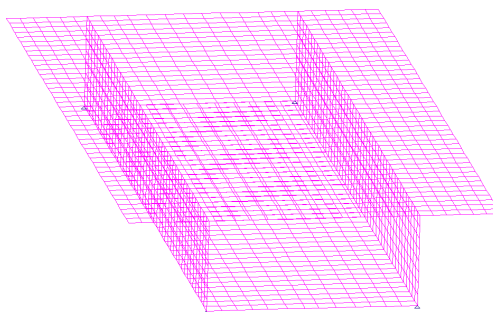


Figura XXI: Vistas del modelo de cálculo para efectos locales

Las cabezas de pretensado son las extremidades de las secciones cajón. Allí, un número considerable de cables tienen sus anclajes activos, por causa de esos esfuerzos es realizado un cálculo especial. Lo mismo sucede con los nichos de pretensado, ellos están a lo largo del puente dentro de la sección celular o sección cajón. En cada uno, sale uno o mas cables sometidos a una fuerza de compresión; estos elementos estructurales son dimensionados para resistir esta fuerza.

La situación en servicio es una parte importante del cálculo, en esta, nuevos diagramas de solicitaciones son obtenidos para verificación de las secciones. Como ya fue detallado anteriormente, los programas de cálculo permiten montar este sistema constructivo teniendo en cuenta cargas diferenciadas para cada etapa así como también la variación del material a lo largo del tiempo.

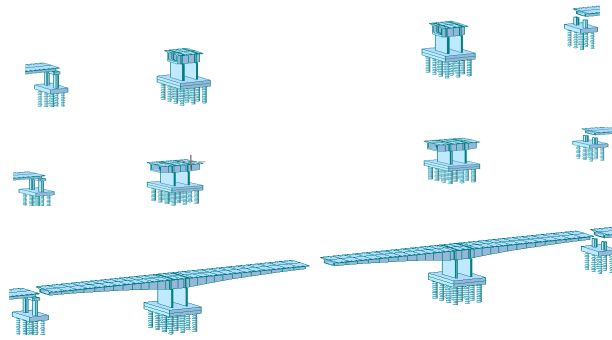


Figura XXII: Algumas etapas constructivas del Puente sobre el Rio Cuiabá Vistas del Puente sobre el Rio Cuiabá

5. Referencias

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: projeto e execução de fundações: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado: especificação. Rio de Janeiro, 1996.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: ações e segurança nas estruturas: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- [7] FUSCO, Péricles Brasiliense. Técnicas de armar as estruturas de concreto. 1.ed. São Paulo: Pini, 1995. 382p.
- [8] LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. Construções de concreto, volume 2: casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado. 2.ed Tradução: José Luís Escosteguy Merino. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1978. 174p.
- [9] LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. Construções de concreto, volume 3: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. 3.ed Tradução: José de Moura Villas Boas. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1978. 288p.
- [10] LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. Construções de concreto, volume 6: princípios básicos da construção de pontes de concreto. 1.ed Tradução: José Luís Escosteguy Merino. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1979. 241p.
- [11] MONTOYA, P. et al. Hormigón armado. 7.ed. Barcelona: 1973. 705p.
- [12] PFEIL, Walter. Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 433p.
- [13] RÜSCH, Hubert. Fahrbahnplatten von Straßenbrücken. Berlin: Ernst, 1981.
- [14] GASPAR, Ricardo. Dimensionamento das almas de pontes celulares. São Paulo, 2003.
- [15] The "Les outils" Collection – Sétra. Prestressed concrete bridges built using the cantilever method – Design guide. São Paulo, 2003.
- [16] MATHIVAT, J. Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos. John Wiley & Sons Ltd, 1983.