

Construcción de Puentes de
concreto mediante el
Sistema de Lanzamiento
por Incrementos Sucesivos

MEXPRESA





A mediados de los años 70' durante un viaje de trabajo por Alemania, tuvimos la oportunidad de presenciar el movimiento de un puente en construcción por el Sistema de Lanzamiento.

Desde aquel momento se nos creó una obsesión: el reto técnico de poder realizar en México uno equivalente.

Cinco años después, en los inicios de los 80 ' y luchando contra el mayor obstáculo posible - la tradición de tantos años -, se empujaba con todo éxito en Tula, el primer puente de este tipo, logrando con ello en México, no sólo introducir esta tecnología, sino iniciar una nueva época de apertura a los sistemas modernos de construcción de puentes.

Por lo anterior deseo agradecer especialmente a quienes, desde un principio, me tuvieron la confianza, e hicieron posible iniciar el sistema en nuestro país.

I.C. Eduardo Barousse
I.C. Horacio Zambrano
Dr. Leonardo Fernández
Dr. Javier Manterola
Dipl. -Ing Werner Eberspächer (+)
Dipl. -Vwt. Wolfgang Eberspächer

Subdirector General de Construcción , Ferronales.
Director General de Carreteras Federales, S.C.T.
Carlos Fernández Casado, S.A. Madrid, España
Carlos Fernández Casado, S.A. Madrid, España
Eberspächer GmbH. Stuttgart, Alemania
Eberspächer GmbH. Stuttgart, Alemania

Se desea así mismo expresar el agradecimiento y colaboración a los contratistas ejecutores de las obras de este tipo que hasta la fecha se han construido: Constructora Maíz Mier, S.A., Preesforzados Nacionales, S.A y Grupo Mexicano de Desarrollo, S.A.

Juan del Avellano
Ingeniero Civil

Introducción



El documento que a continuación se presenta tiene como objeto, introducir al ingeniero en forma muy general, al conocimiento del sistema de construcción de puentes más tecnificado, simple y económico que existe actualmente en el mundo, es decir el de LANZAMIENTO POR INCREMENTOS SUCESIVOS (Empujado).

Este procedimiento fue desarrollado y perfeccionado en Alemania en los años 70' e introducido en México por la

empresa Mexicana de Presfuerzo, S.A de C.V en 1979 en la construcción del puente "Río Tula" para la Dirección de Construcción de Vías Férreas, de la S.C.T.

Es relevante mencionar que a la fecha se han construido en el país con todo éxito, los siguientes puentes con este sistema:

Río Tula : 496 m
Dir. General de Vías Férreas

Atoyac : 496 m
Dir. General de Vías Férreas

Badiraguato : 224 m
Dir. General de Carreteras Federales

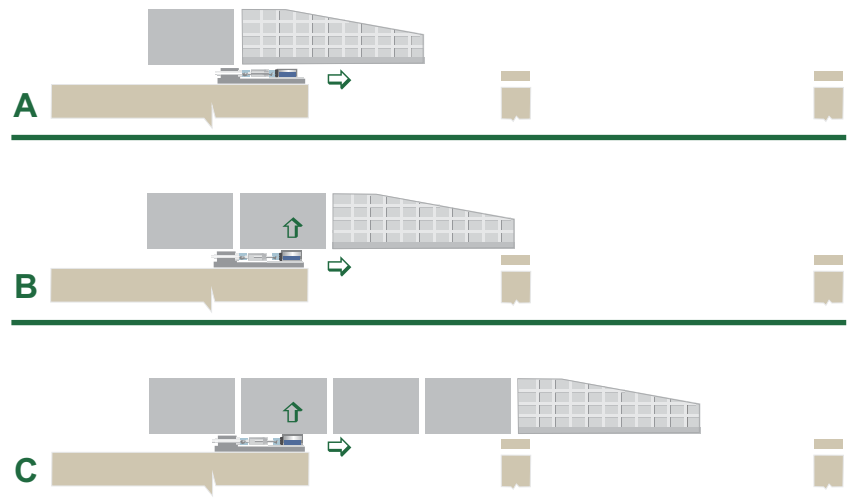
La Marquesa : 340 m
Dir. General de Carreteras Federales

Atenquique I y II : 320 y 438 m
Dir. General de Carreteras Federales

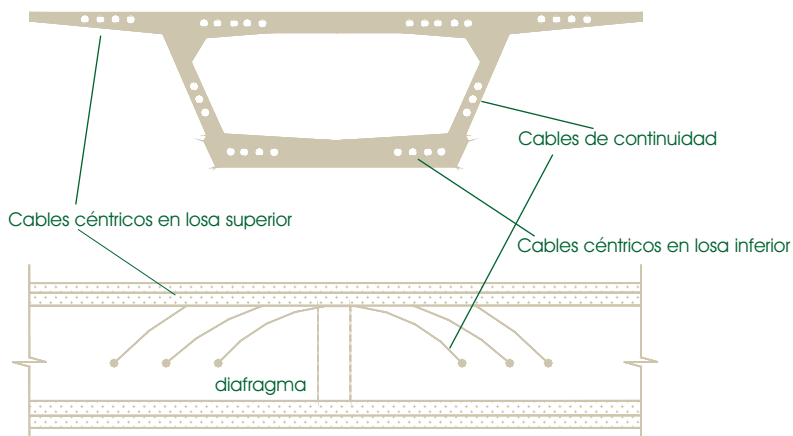
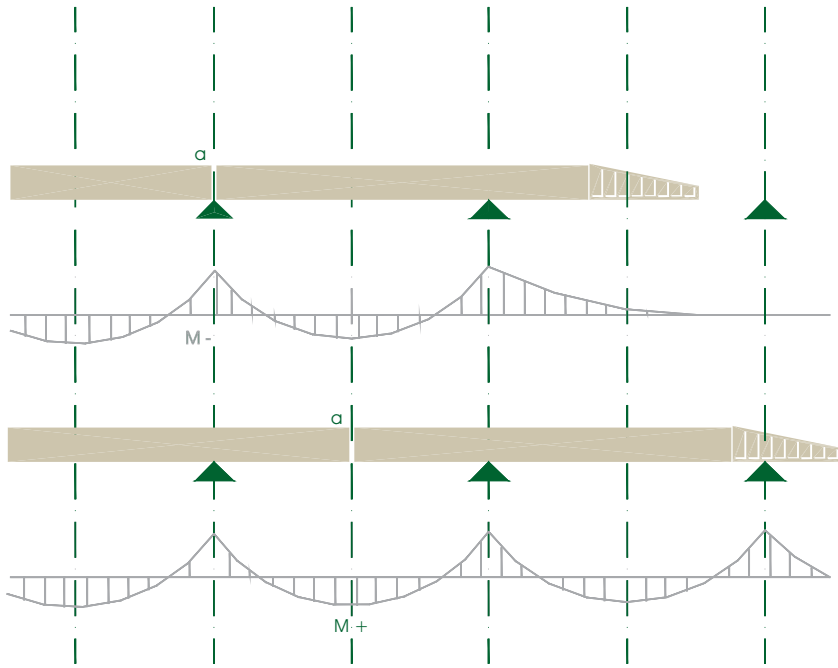
Huixquilucan : 318 m
Gov. del Edo de México

La superestructura se fabrica en tramos de dovelas de una determinada longitud en un Parque de Prefabricación atrás de un estribo en el eje del puente.

Cada dovela subsecuente se cuela directamente contra la anterior en un molde fijo, de tal forma que, cuando el concreto ha endurecido y ha sido presforzado, la estructura resultante se avanza por medio de unos dispositivos hidráulicos especiales.



Procedimiento Constructivo



Habiendo comprendido la IDEA BASICA anterior, queremos ahora explicar el comportamiento estructural del puente en sus fases, tanto de construcción como terminado, a fin de definir el EQUIPO AUXILIAR necesario para su construcción, así como la definición de sus componentes para la operación.

Durante el lanzamiento del puente, la superestructura está sujeta continuamente a cambios en la ley de momentos flexionantes correspondientes a los máximos de peso propio, de tal forma que cualquier sección transversal se mueve de zonas de momentos positivos a zonas de momentos negativos y viceversa, ocurriendo que los esfuerzos de tensión se presentan alternadamente en la parte superior e inferior de cada sección.

La consecuencia de este hecho es disponer de un presfuerzo constante y recto, alojado en las fibras superiores e inferiores de la estructura, que sea capaz de soportar la gran amplitud de momentos exigida por la envolvente, al moverse el puente por todas las pilas durante la construcción.

A este presfuerzo se le denomina CENTRICO.

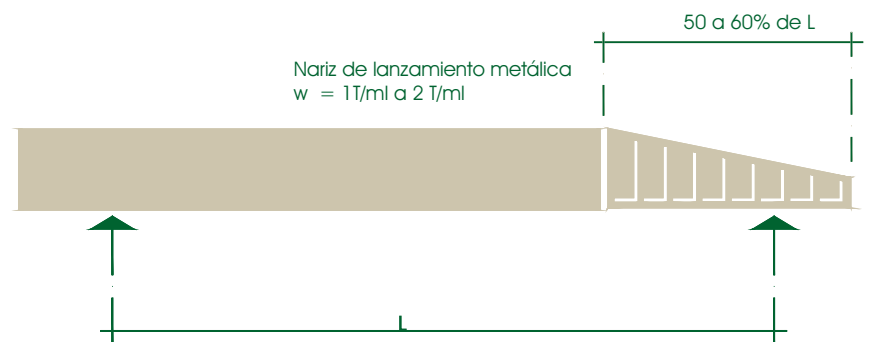
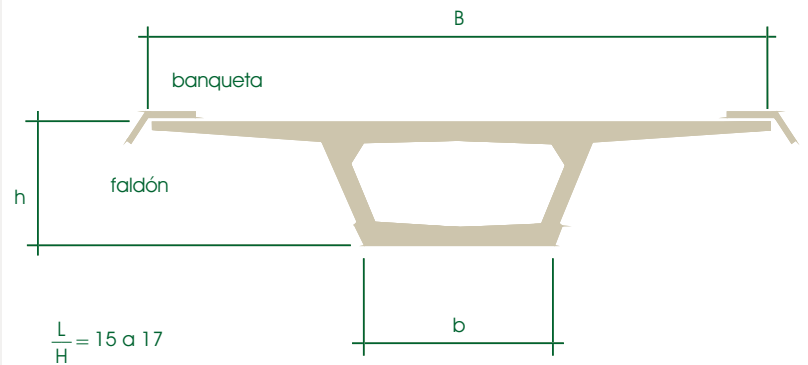
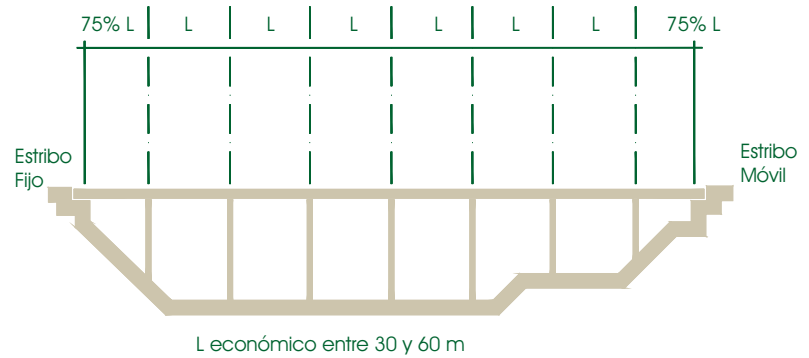
Al terminar el empujado se le añadirán otras familias de cables de CONTINUIDAD, que compensarán los momentos negativos de sobrecarga vehicular, no absorbidos por el presfuerzo CENTRICO.

La superestructura será de sección cajón, con una relación de esbeltez de 15 a 17, siendo el primer valor para claros mayores y el segundo valor para claros menores.

Los claros más usuales utilizados en este sistema oscilan entre 30 y 60 m. Cabe mencionar que es muy ventajoso desde el punto de vista de diseño que todos los claros sean iguales, excepto los extremos que no deberán exceder al 75% de los claros tipos.

Por otra parte en la construcción se presenta un problema muy específico del sistema en cuestión, cuando un claro entero esta en voladizo durante las fases de empujado. En este caso el momento flexionante máximo será precisamente $PL/2$, siendo P la carga de peso propio que constituye la carga más importante del puente. Esta situación es totalmente inadmisibles para un planteamiento económico del procedimiento, por lo cual se dispondrá de un elemento metálico denominado NARIZ DE LANZAMIENTO, sujeto a la parte delantera de la estructura, cuya misión será evitar la ménsula de concreto en el vano, ya que la NARIZ alcanza la siguiente pila cuando el concreto de la superestructura no ha adquirido suficiente longitud para producir una ley de momentos flexionantes elevada.

El tamaño de la NARIZ DE LANZAMIENTO se plantea económicamente entre 50% y 60% del claro libre, siendo el primer valor más usual para puentes de ferrocarril y el segundo valor para puentes carreteros.



Equipo Auxiliar Necesario

Parque de Fabricación

Los elementos auxiliares necesarios para la construcción de un puente por este sistema son:

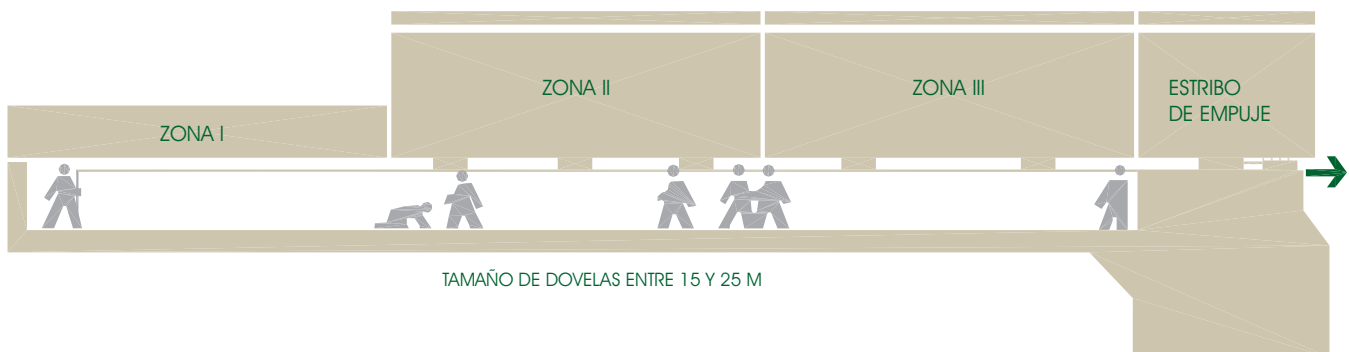
- Parque de Prefabricación
- Nariz de Lanzamiento
- Sistema de Empujado
- Apoyos Deslizantes

Se compone de tres partes o zonas:

Zona I : Donde se fabrica la parte inferior del cajón, o sea la losa de fondo

Zona II : Donde se fabrica la parte superior del cajón, o sea las almas y vuelos

Zona III: Es una transición entre la Zona II y el Estribo de Empuje, cuyo objeto es que el puente tenga suficiente longitud y contrapeso para que éste no vuelque antes de que la Nariz alcance la primera pila



El tamaño de la dovela y en consecuencia el del molde suele variar entre 15 y 25 m, dependiendo esto realmente de la longitud total del puente. Si éste es muy largo, se justificará una mayor longitud de molde y viceversa.

Los moldes para la fabricación de la dovela, tanto en la Zona I, como en la Zona II, deberán ser

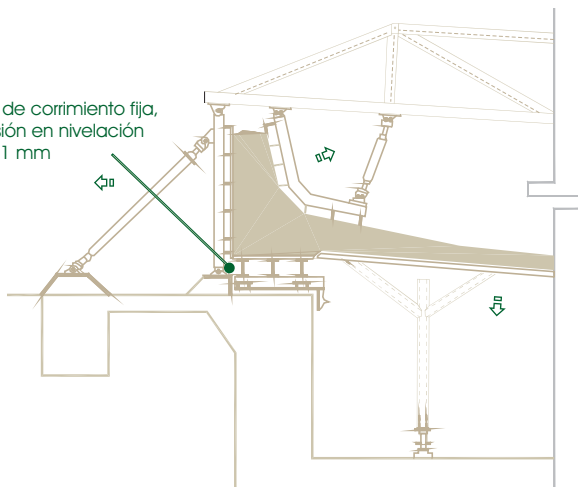
autocolapsables y móviles a fin de facilitar las maniobras de encofrado y desencofrado sistemático en el Parque de Fabricación.

Es especialmente importante la suela metálica en la Zona I, que constituye el encofrado inferior del patín, cuya nivelación deberá realizarse con una precisión de 0.5 a 1 mm. Este patín servirá

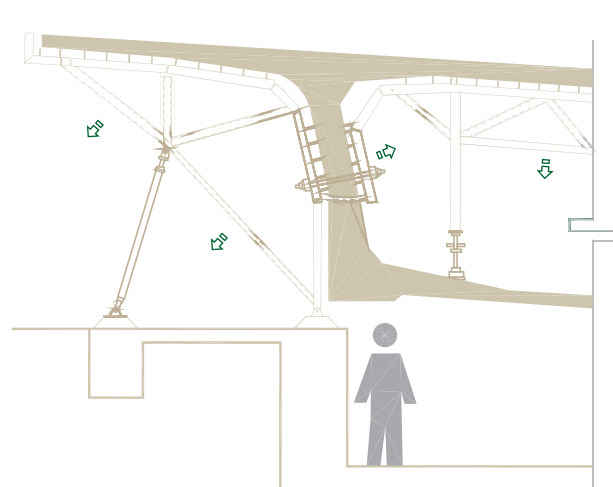
para deslizar el puente, sobre los apoyos y cuanto mayor sea el error en la nivelación, mayor será la fuerza de empuje necesaria, por el incremento de rozamiento y , en el caso de que ambos patines sean diferentes, existirá una tendencia a la desviación lateral del puente durante el empujado.



Suela de corrimiento fija,
precisión en nivelación
0.5 a 1 mm



MOLDES AUTOCOLAPSABLES EN ZONA I



MOLDES AUTOCOLAPSABLES EN ZONA II

Nariz de Lanzamiento

Es una estructura metálica normal, de preferencia fabricada en varias secciones para facilitar su transporte a la obra. Deberá unirse "in situ" con tornillos calibrados o bien con soldadura que garantice ausencia movimientos relativos entre las secciones.

El patín inferior de las vigas metálicas debe ser previsto, en su parte exterior, de una ala vertical que sirve de encarrilador del puente sobre los topes laterales de los apoyos deslizantes.

El arriostramiento transversal

entre las dos almas o vigas metálicas no debe cubrir más que las necesidades al pandeo de los patines superior e inferior.

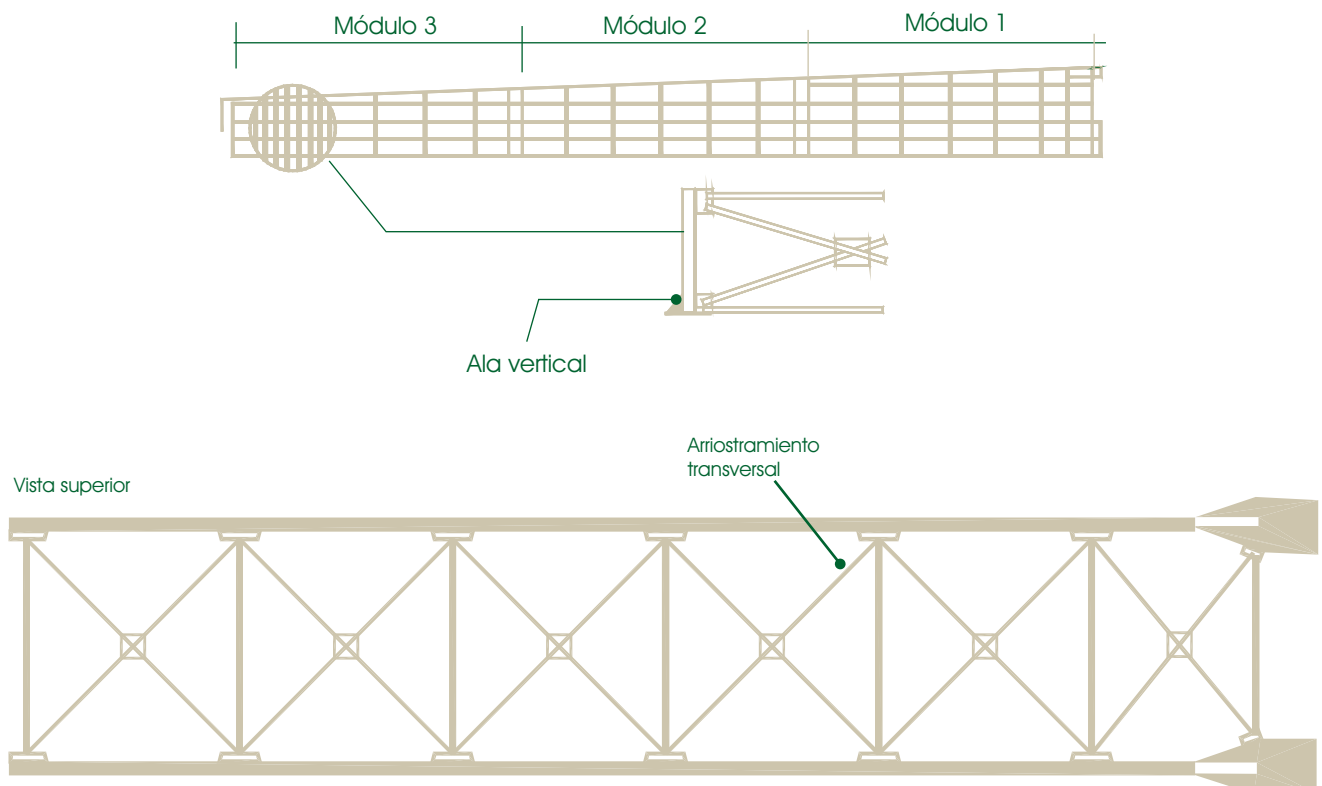
En la parte delantera de la nariz, en la zona de aproximación a las pilas, se instalarán unos gatos especiales, cuyo objetivo es recuperar la flecha de peso propio que toma la ménsula al llegar a la pila.

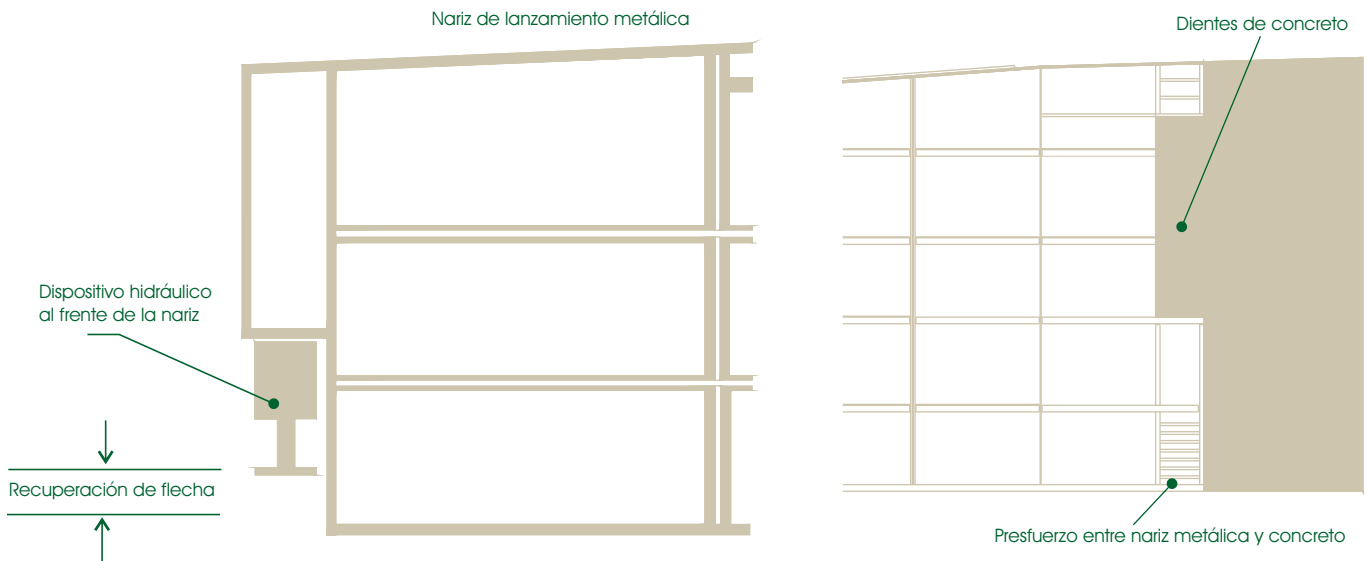
En la parte trasera se efectúa la unión de la nariz con el concreto de la superestructura. Esa unión deberá ser capaz de transmitir

la flexión y el cortante producido por la reacción de la pila en la nariz.

La flexión es de dos tipos: flexión negativa que corresponde al peso propio de la Nariz y que es la más pequeña. Flexión positiva, que corresponde a la reacción de la pila y que es la más importante.

Ambas flexiones se toman con **presfuerzo** a la superestructura. El cortante se transmite a través de los dientes de concreto dejados en la superestructura.





Sistema de Empujado

Actualmente con la alta tecnología hidráulica, el sistema de empujado está totalmente controlado y cabe mencionar en este documento, que su depuración operativa tiene al menos 20 años, por lo que nuestra sugerencia es no tratar de inventar algo diferente a lo existente y concentrar los esfuerzos en una buena planeación de obra.

Los equipos modernos de empuje se componen de un cilindro vertical que levanta el puente, conectado a unos cilindros horizontales que lo

empujan.

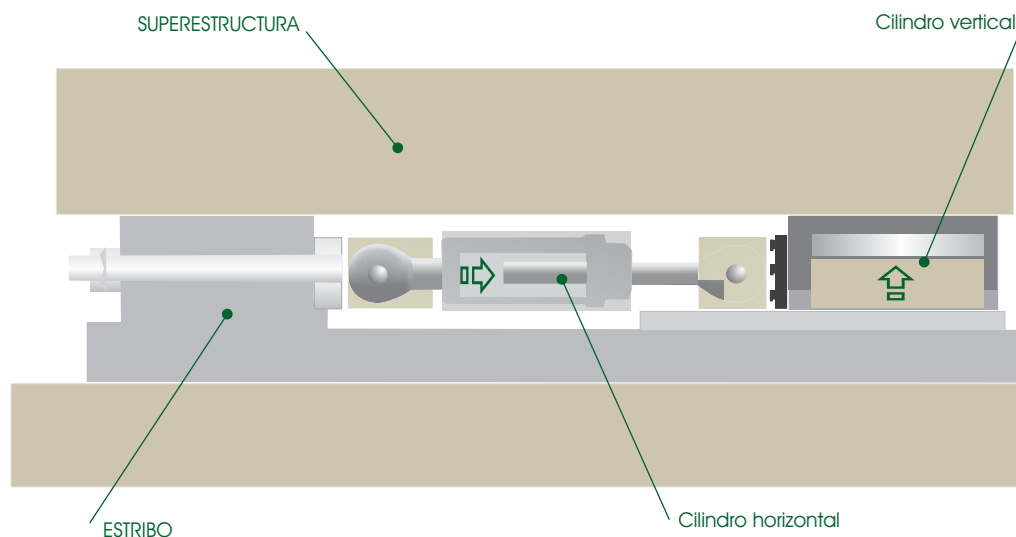
El cilindro vertical asciende 4 ó 5 mm, con lo que recibe una gran carga vertical y en consecuencia transmite una carga horizontal por el rozamiento que existe con el concreto.

A continuación se ponen en marcha los cilindros horizontales que empujan hacia adelante movilizándolo al conjunto cilindro vertical más puente, del orden de 25 cm. Al terminar este ciclo el cilindro vertical descende, se libera del puente y el conjunto horizontal

se retrae llevando consigo al cilindro vertical.

Este ciclo tarda aprox. 2 min y el lanzamiento de una dovela del puente de 20 m es del orden de 3 horas.

El equipo de lanzamiento permite, además de mover el puente hacia adelante, regresarlo a voluntad. Esta operación complementaria es absolutamente indispensable en la ejecución de la obra, para poder corregir ciertos errores en el alineamiento, al aproximar la nariz a las pilas o ante cualquier maniobra falsa.



Apoyos Deslizantes

En todos los puntos donde el puente se apoya, ya sean pilas, estribos y la Zona III, en el Parque de Prefabricación, se dispondrán Apoyos Deslizantes.

Estos apoyos están formados por un bloque de concreto fuertemente armado de 15 a 35 cm de espesor y perfectamente nivelado, sobre el que se asienta una chapa de acero inoxidable especial tensada. Sobre esta chapa se disponen unas ALMOHADILLAS de

neopreno-teflón de 10 a 13 mm de espesor.

La parte de neopreno va en contacto con el concreto de la losa inferior y la de teflón con el acero inoxidable. En su movimiento, el puente arrastra la almohadilla hacia adelante hasta que la expulsa y puede volver a introducirse por detrás.

Lateralmente se provee en el apoyo una guía metálica y almohadillas verticales, para encarrilar al puente en su movimiento longitudinal.

El coeficiente de rozamiento

entre teflón y acero inoxidable suele ser del 5%, sin embargo, al aplicarle al teflón silicón y mantenerlo limpio de polvo y pequeñas incrustaciones, el rozamiento baja hasta 1% ó 2%.

Una vez que el proceso de lanzamiento ha terminado se levanta el puente con gatos especiales de tamaño reducido, apoyados en unos nichos en la parte superior de las pilas y se sustituyen los apoyos provisionales por definitivos.



Situación definitiva del puente

En operación el puente será una estructura continua, apoyada sobre pilas y estribos, básicamente con dos restricciones, una longitudinal y otra transversal.

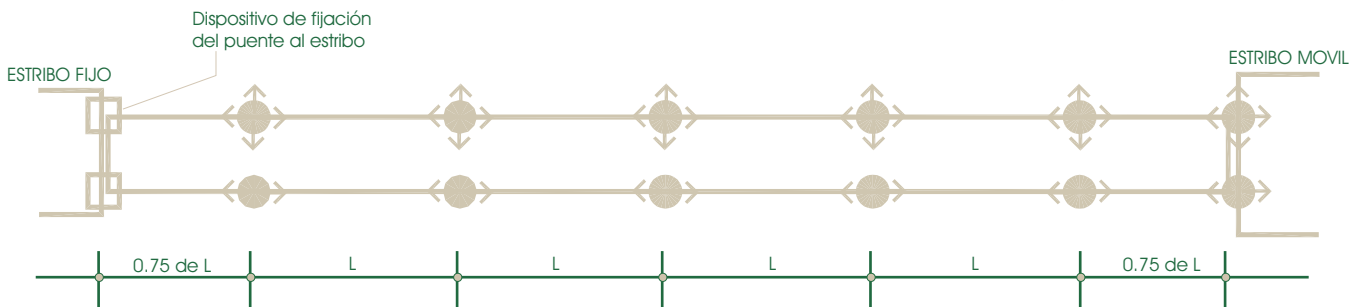
La restricción longitudinal se hará fijando el puente al estribo, normalmente al de empuje, por comodidad y economía.

La fijación tendrá como objetivo transmitir al terreno las fuerzas actuantes

longitudinales, tales como sismo, frenaje y deformaciones por temperatura; de allí que se deberá revisar el estribo en cuestión para soportar estas sollicitaciones, o bien mediante algún artificio adicional complementar su capacidad. En forma práctica esto se resuelve mediante un sistema de anclas presforzadas que fijan el estribo al terreno natural aumentando su capacidad.

La restricción transversal tiene por objetivo impedir que la estructura se desplace en esa dirección, básicamente por las acciones del viento y sismo. Esta restricción se logra mediante guías laterales integradas en los apoyos definitivos. A estos apoyos se les denomina unidireccionales, ya que permiten el movimiento longitudinal del puente para no inducir momentos a las pilas y restringen el movimiento transversal.

- ↔ Apoyos unidireccionales
- ↕ Apoyos multidireccionales





Ciclo de Trabajo

La enorme ventaja del sistema en cuestión, es probablemente la racionalización de todas las actividades involucradas en la ejecución del puente, ya que éstas pueden ser controladas separadamente por el constructor, sin que un frente determinado se convierta necesariamente en actividad crítica.

Para cumplir con la afirmación anterior nos permitimos sugerir la siguiente secuencia de actividades:

- Preparación del Equipo Auxiliar necesario, tal como moldes, nariz de lanzamiento, apoyos deslizantes y definitivos y el sistema de lanzamiento.
- Construcción del parque de prefabricación y estribo de empuje.
- Construcción de las pilas, como frente independiente, iniciando necesariamente por el cadenamamiento

en el sentido del empujado del puente y acabando en el estribo opuesto al de empuje.

- Instalación del equipo auxiliar
- Iniciación del ciclo semanal de fabricación de dovelas con las operaciones que se detallan en el esquema inferior
- Desmontaje de la nariz de lanzamiento
- Colado de diafragmas
- Tensado de cables de continuidad e inyectado de ductos
- Amarre longitudinal del puente
- Colocación de Apoyos Definitivos.
- Colocación de Juntas de Calzada o Dilatación

ACTIVIDAD		L	M	M	J	V	S	D
1	Aflojar moldes en zonas I y II	■						
2	Tensado de cables		■					
3	Operación de lanzamiento			■				
4	Ajuste de moldes en zonas I y II			■				
5	Colocación de acero de refuerzo y de presfuerzo zonas I y II			■	■	■		
6	Colado zona I y II					■		
7	Fraguado del concreto						■	■



Conclusiones

Estamos convencidos que el sistema de LANZAMIENTO POR INCREMENTOS SUCESIVOS, dentro de su rango de aplicación, es actualmente la mejor solución técnica y económica para construir puentes; sin embargo también hemos mencionado que, la elección del tipo de puente, está compuesta por un sinnúmero de variables, para encasillarse sólo a un procedimiento de construcción, es por ello que nuestra empresa estudia constantemente nuevas alternativas de ejecución para satisfacer ampliamente las demandas del constructor.



Puente Atenquique I



Puente Huixquilucan



Puente Atoyac



MEXPRESA

Av Nativitas 429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México
Tel: +(52)(55) 5334 0330 • Fax + (52)(55) 5334 0331
E-mail mexpresa@mexpresa.com