

DANIEL DEMBER JIMÉNEZ HUALPA

UB10439SCI17421

Segunda Fase

Bridges

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY

HONOLULU, HAWAII

WINTER 2011

BRIDGES

RESUMEN DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES	Pág. 2
2. FILOSOFÍA – MÉTODO DE DISEÑO POR ESTADOS LÍMITES Y CARGAS DE DISEÑO	Pág. 5
3. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL	Pág. 11
4. PUENTES DE CONCRETO ARMADO	Pág. 12
5. PUENTES PRE - ESFORZADOS	Pág. 13
6. PUENTES POST - ESFORZADOS	Pág. 17
7. PUENTES METÁLICOS	Pág. 20
8. CONCLUSIONES	Pág. 27
9. BIBLIOGRAFÍA	Pág. 29

1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES

Una estructura puede decirse que es un proceso creativo basado en el conocimiento de los principios de estática, dinámica, mecánica de materiales y un análisis estructural; El engranaje de piezas y análisis matemáticos se armonizan, uniéndose ordenadamente, con la finalidad de cumplir o desempeñar una aplicación definida. Esta puede servir para saltar un espacio como un río, una carretera etc. En el caso de los puentes, su estructura de estas además de desempeñar el propósito para lo cual se las ha creado, también deben contar con un nivel de seguridad prudente y un comportamiento apropiado para el escenario y función que van a cumplir, así como cumplir fines estéticos y costos acordes a los requeridos económicamente.

Diseñar una estructura no es sencillo; en su solución, un calculista usa su intuición y experiencia basándose en el análisis y la experimentación. Diseñar un puente significa contemplar los diferentes o problemas de aplicación según los claros; pueden afirmarse que no tienen solución única, sino una solución razonable. Por ejemplo, los estudios de geotecnia serán muy importantes y quizás haya que complementarlas con estudios hidráulicos para conocer los niveles máximos que pueden alcanzar el agua o golpes de los caudales.

El diseño arquitectónico no es muy importante en este tipo de obra porque la forma del puente es el resultado por lo general de la estructura seleccionada.

DISEÑO ESTRUCTURAL

Esta etapa puede dividirse en tres partes: estructuración, análisis y dimensionamiento.

ESTRUCTURACIÓN

En la estructuración se establece la geometría general de la obra, respetando el diseño arquitectónico; se fijan los claros de las vigas la separación y altura de los soportes, columnas, estribos, el tipo de cimentación y protecciones. Del mismo modo, se define el tipo de puente que se va construir y los tipos de materiales.

Esta etapa también es denominada “configuración estructural”. Es la parte más subjetiva del proyecto estructural y aquella en que la experiencia, buen juicio e intuición del ingeniero juegan el papel más importante; una estructura mal concebida presentará problemas independientemente de que tan bien o de con que precisión se hagan las etapas de análisis y dimensionamiento.

Durante esta etapa, es necesario hacer algunas estimaciones preliminares del tamaño de los miembros estructurales tanto para estimar su peso propio como para calcular sus rigideces relativas, las cuales se requieren en la parte del análisis. Estas estimaciones pueden hacerse utilizando procedimientos simplificados de análisis y dimensionamiento o únicamente con base en la experiencia del contratista.

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

En esta etapa, nos referimos a la determinación y a la disgregación de las piezas de una unidad o un todo, y nos permite conocer sus fundamentos o componentes. Por ende, se puede tener claro que el análisis es la separación de la estructura en sus elementos constitutivos y la determinación del efecto de las cargas aplicadas a la estructura en cada elemento,

Cualquier estructura es un todo continuo, pero para fines de análisis se puede dividir en distintos miembros, como serían las barras de una armadura en las pilas; estribos, sistemas de piso y cables, en un puente colgante.

Una vez dividida la estructura en sus distintos miembros, la determinación del efecto de las cargas en cada miembro se lleva a cabo calculando las acciones internas producidas por esas cargas. Es decir, las fuerzas en el eje, fuerzas de corte, los momentos de flexión, y los momentos torsores en cada miembro; del mismo modo, las deformaciones de cada elemento y de la estructura completa serán calculadas.

DIMENSIONAMIENTO

La tercera parte de la etapa del diseño estructural se refiere al dimensionamiento de los miembros estructurales. A partir de las acciones internas calculadas en el análisis estructural, se dimensionan miembros que puedan resistir dichas acciones dentro de condiciones de servicio aceptables.

Para el caso de dimensionar una estructura de concreto de un puente, será necesario determinar el tamaño de los elementos estructurales, el acero longitudinal y transversal, detallar los anclajes y traslapes, revisar deflexiones y agrietamientos, etc.

Puede suceder que una vez terminada la parte de dimensionamiento, los miembros de la estructura resulten de un tamaño diferente al supuesto en la parte de estructuración. Si se presenta esta situación, puede ser necesario hacer un nuevo ciclo de la etapa de diseño estructural, ya que las cargas muertas y las rigideces relativas de los miembros estructurales han cambiado. La decisión de hacer un nuevo ciclo, o los que sean necesarios dependerá de la diferencia de los resultados del dimensionamiento con valores supuestos y algunos otros factores. Por ejemplo, si las cargas vivas son mucho mayores que las muertas, el peso propio tendrá una menor importancia en la carga total; si se subestimaron los tamaños de todos los miembros, sus rigideces relativas, que son las que importan en el análisis, cambiarán un poco. El buen juicio del proyectista, jugará un papel determinante en la decisión correspondiente para el desarrollo de un proyecto.

En nuestro país, son muchas las condiciones que se deben tomar al momento de analizar y diseñar puentes, la peligrosidad y la vulnerabilidad sísmica, las cargas que soportan estas estructuras como: cargas vivas, accidentales, de impacto, etc. El mal diseño de estas cargas producirá daños en el concreto y el acero. Por otro lado, el tipo de cimentaciones también es importante ya que conforma la raíz del puente, sosteniendo en el suelo toda la estructura; un mal diseño podría ocasionar daños como la socavación.

2. FILOSOFÍA – MÉTODO DE DISEÑO POR ESTADOS LÍMITES Y CARGAS DE DISEÑO

FILOSOFÍA

Las filosofías de diseño son alternativas de diseño de una estructura; y en ellas, se puede presentar recomendaciones basadas en investigaciones preliminares o anteriores con el objeto de aplicar a los diseños de estructuras que se presenten, las filosofías más conocidas son: La filosofía de trabajo (WSD) y diseño por factores carga (LFD), la filosofía ASD y la filosofía LRFD (Diseño por factor de resistencia de carga).

La filosofía de WSD se utilizó en los años sesenta, llamada **diseño por tensiones de trabajo (WSD)**. Esta filosofía que establece que las tensiones calculadas no estén por encima de las tensiones admisibles.

La filosofía conocida como LFD, desde inicios de los años setenta, toma en cuenta ciertos variables como tipos de carga; entre ellas, considera a cargas vehiculares, cargas de viento, etc. Este método también es conocido como **diseño por factores de carga (LFD)**.

La filosofía ASD, bajo este criterio se diseña de manera tal que las tensiones calculadas por efectos de las cargas de servicio no superen los valores máximos en las especificaciones. Es un método de **diseño que trabaja en función de las Tensiones Admisibles** que son una fracción de las tensiones cedentes del material. Esta filosofía está basada en el análisis elástico de las estructuras, donde los miembros deben ser diseñados para comportarse elásticamente.

Finalmente, la filosofía del diseño LRFD es una herramienta disponible más racional que el ASD. En efecto, permite cambios más fácilmente, puede ser adaptado para solicitaciones no consideradas y permite compatibilizar diseños con distintos materiales. Del mismo modo, provee también un nivel más uniforme de confiabilidad y es consistente con el método de diseño para concreto reforzado ACI-318. A esta filosofía se le llama **método de diseño por estado de límites**.

METODO DE DISEÑO POR ESTADOS DE LÍMITES Y CARGAS DE DISEÑO

Al inicio, se diseñaban las estructuras utilizando esfuerzos de trabajo; sin embargo, estas restringían el esfuerzo normal de una parte del esfuerzo de fluencia de cualquier material.

A este diseño se le llama “diseño por elasticidad”. (Ver fig. 1 del ejemplo)

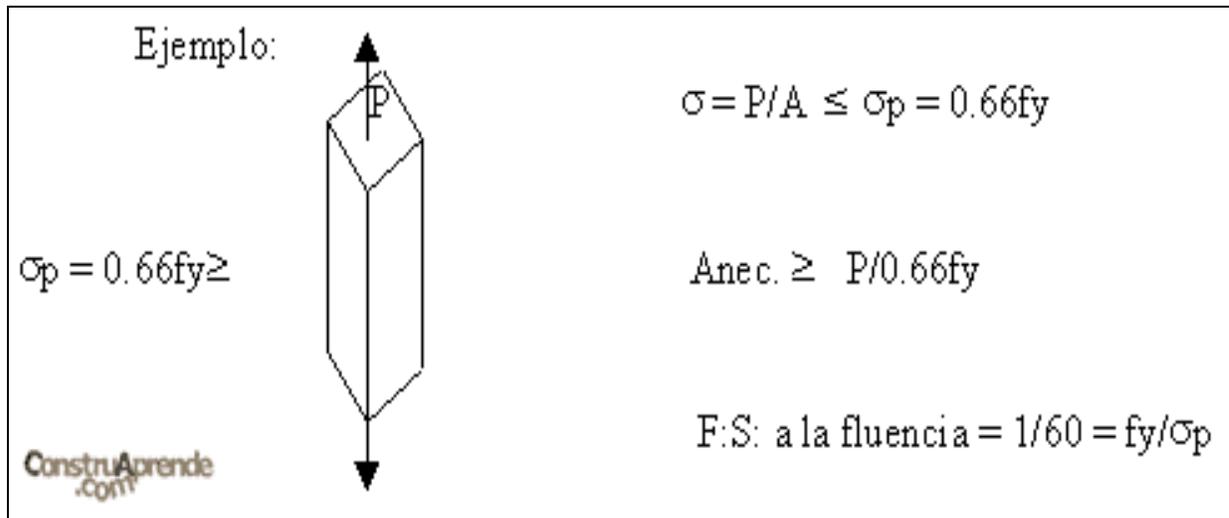


Fig., 1¹

Es importante destacar que un diseño plástico es aquel que resulta de: diseñar utilizando el esfuerzo resistente del material (acero) que se encuentra sobre su punto fluente; el resultado será trabajar con la fuerza resistente de ruptura del material. (Figura 02)

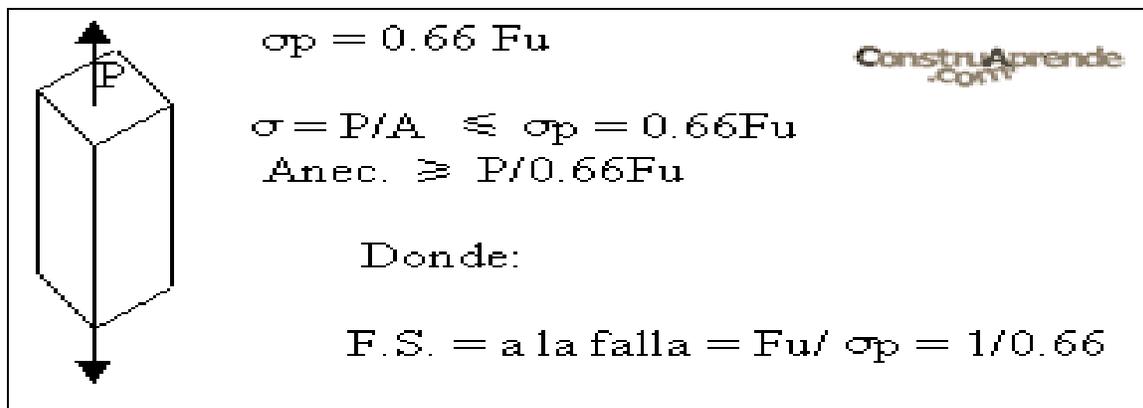


Fig. 2²

¹ METODOS DE DISEÑO-CivilGeeks - www.construaprende.com

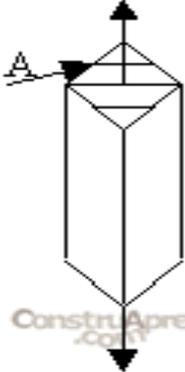
² METODOS DE DISEÑO- CivilGeeks - www.construaprende.com

DISEÑO PLÁSTICO

Hoy, se diseñan las estructuras tomando por separado las cargas P multiplicadas por un coeficiente de carga denominado "**F_c**", cuyo valor es mayor a 1. Sin embargo, la resistencia de la estructura (F.S.) se logra nominativamente teniendo en cuenta la resistencia última a la falla (**R_n**); se logra obtener mejorías en costos en sus secciones, minimizándolo con factores de resistencia "**F_r**"

F_r <> F_cP; El Factor de Seguridad (FS) es igual FC.

EJEMPLO: P



ConstruAprende .com

$$F_r = 0.75$$
$$F_c = 1.4$$
$$R_t = A F_u$$
$$1.4P \leq 0.75 A F_u$$
$$A \geq 1.4P / 0.75 F_u = 1.86 P / F_u$$

F. S. a la falla = 1.86

ConstruAprende .com

Fig. 3³

Según las últimas investigaciones, el nombre real del "Diseño plástico" debe ser "Diseño de acuerdo a factores de resistencia y carga", puesto que si para los diseños utilizamos el esfuerzo de fluencia (F_y) en vez de tomar la resistencia a la ruptura (F_u) obtendremos una representación elástica. (Figura 4)

³ METODOS DE DISEÑO-CivilGeeks- www.construaprende.com

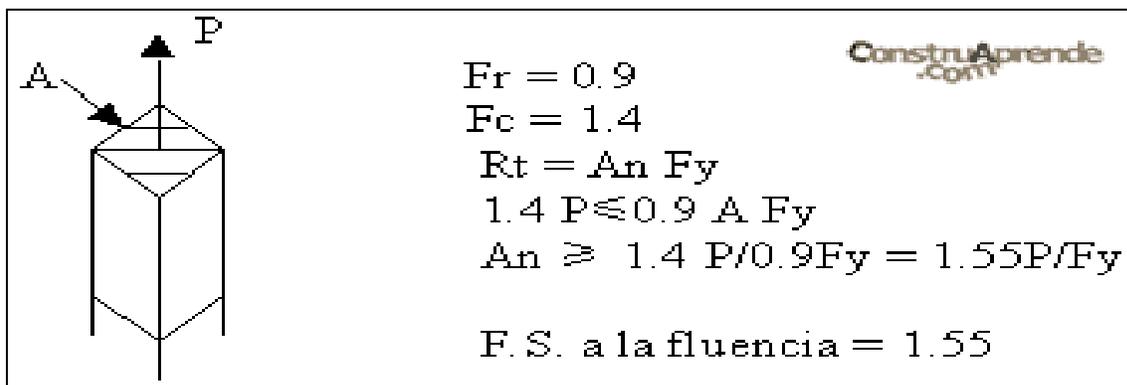


Fig. 4⁴

La filosofía del método del diseño LRFD comprende el diseño por estados límite y estos estados son los siguientes:

*Diseños por estados límite de falla; este diseño se realiza tomando en cuenta los esfuerzos que confirman la resistencia mecánica de las secciones estructurales frente al colapso.

*Diseño por estado de límite de servicio, este diseño toma en cuenta la inclusión de las deflexiones, la revisión de movimientos vibratorios, desplazamientos por temperatura y otras consecuencias en las estructuras con la finalidad que no perturben ni afecten su actividad para el cual fue diseñado.

COEFICIENTES DE CARGA:

Son valores numéricos necesarios debido a existencia de incertidumbres en diseños; sirven para estimar en los cálculos de diseño valores adicionales para minimizar futuras consecuencias de las estructuras.

Cuadro: COEFICIENTES DE CARGA

Cargas - LRFD ⁵	COMBINACIONES DE CARGA USUALES ⁶
Dead (D)	Carga Muerta última: 1,40 Carga Muerta
Live (L)	Carga Viva última: 1,20 Carga Muerta + 1,60 Carga Viva

⁴ METODOS DE DISEÑO-CivilGeeks- www.construaprende.com

⁵ METODOS DE DISEÑO-CivilGeeks- www.construaprende.com

⁶ METODOS DE DISEÑO-CivilGeeks- www.construaprende.com

Eólica (W)	Carga Eólica última: 1,20 Carga Muerta +1,30 Carga de Viento + 0,50 Carga Viva
Carga por terremotos (E)	Carga por terremotos última: 1,20 D + 1,50 E + 0,50 L
Carga por precipitación fluvial	Rain (R)
Carga última total	Última (U)
Combinaciones de carga frecuentes	
Combinación con cargas muertas	Carga Muerta x (1,40 ó 1,50) Carga Muerta Máxima
Combinación con cargas vivas	Carga Viva x (1,40 ó 1,50) (Carga Muerta Máxima + Carga Viva Máxima)
Investigación por condición límite de servicio	
Deformaciones, Reverberaciones	Carga Muerta Medida + Carga Viva Medida

- *Composiciones frecuentes.
- **Composiciones eventuales.
- ***Consideraciones de giro.

CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA:

Es importante cuestionar una hipótesis para establecer claramente la resistencia última de una estructura. Además, el diseño debe considerar la resistencia de los materiales, el modelaje de cada elemento, mano de obra, proximidad de los análisis, etc.

3. MODELAMIENTO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

La meta primordial en todo procedimiento de análisis estructural y modelos es brindar el procedimiento numérico más sencillo de tal forma se pueda implementar un adecuado diseño. Es importante que el modelo represente las interrelaciones propias de cada elemento de la estructura⁷.

Confeccionar un modelo geométrico de estructura es considerar una simetría entre las masas, un engranaje de piezas conectivas tomando en cuenta las limitaciones y dificultades. Las partes de la estructura deben estar perfectamente sincronizados; entre los pilares, estribos, vigas y losas o soportes, deben considerarse que sus desplazamientos horizontales deben ser libres, sus apoyos nodales deben ser calculados con libertad de análisis, de tal manera que generen confianza en sus movimientos. Las cargas soportadas en sus elementos deben calcularse asociadas a su masa, guardar una simetría entre sus partes; sus elementos de soporte y cimentación por muy complejas que sean deben simplificarse su modelaje en común acuerdo con la naturaleza y su objetivo principal.

OPCIONES DE MODELAJE

1.- Modelos globales

Este tipo de modelos globales son puentes empleados preferentemente con parámetros de respuesta sísmica, cuya finalidad es fijar desplazamientos elásticos, movimientos y fuerzas iguales en sus partes. Este sistema de puentes se caracteriza primordialmente por su valor analítico global al contribuir en su proceso para comprobar los parámetros de todas sus subestructuras en su cobertura general, consideración que no tienen otros modelos. Ver fig.5

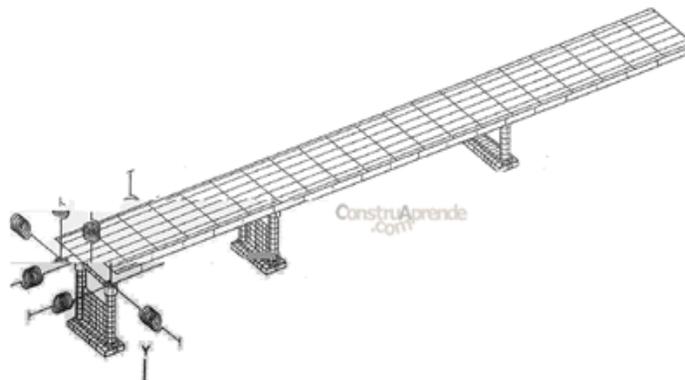


Figura. 5. Modelamiento general de un puente recto.⁸

⁷ Manual de Diseño de Puentes por www.singenieria.com

⁸ Manual de Diseño de Puentes por www.singenieria.com

2.- Modelo por análisis de pórtico

Estos tipos de modelo se asientan en pórtico aislados, protegiéndose a una respuesta sísmica, porque sus particularidades de respuesta dinámica sobre sus marcos permiten evaluarlos con exactitud bien aproximada. Presenta facilidad de entendimiento en sus análisis y un mayor juicio para conocer sus características en las secciones del puente.

Las fuerzas de los pórticos contiguos son consideradas en forma de resorte, típico modelo con características elásticas lineales como veremos en esta afirmación:

“La inter-relación con los pórticos contiguos está relacionada a una evaluación de resortes en los pórticos; es importante destacar que estos son representados frecuentemente con propiedades lineales y no plásticas.

Otro análisis frecuentemente utilizado es considerar un grupo de marcos; se realiza un análisis de los movimientos característicos de los miembros y uniones del grupo. El resultado de la evaluación de los elementos intermedios es el que brindará los resultados más representativos.”

Ver figura 6

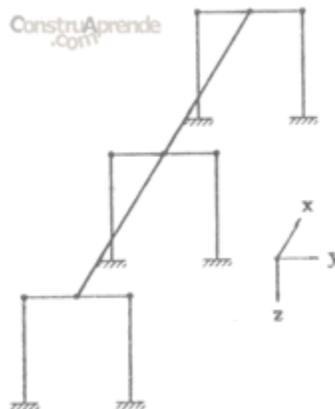


Figura. 6 Puente. Pórticos representativos modelados.⁹

3.- Modelamiento de vigas

Estos se usan preferentemente para establecer la rigidez real y efectiva; estos deben además considerar las consecuencias de flexibilidad de los cimientos; también, pueden combinarse con el modelaje tipo pórticos en la superestructura

Lo importante es conocer que casi todas las superestructuras de puentes muestren buena rigidez en sus elementos. Adicionalmente, permite darnos cuenta como un cálculo bien aproximado supone movimientos de cuerpo rígido en la superestructura lo que hace más fácil la combinación de modelos de vigas.

⁹ Manual de Diseño de Puentes por www.ssingenieria.com

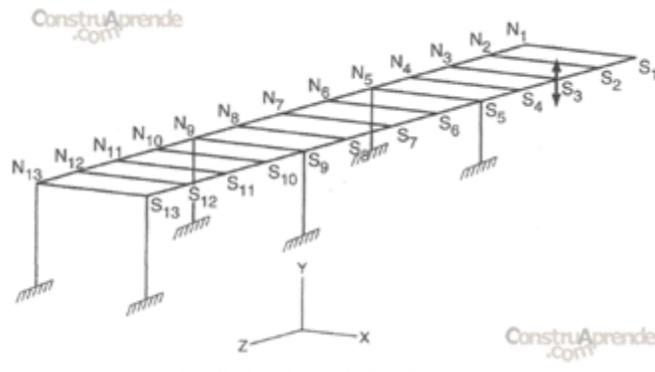


Figura 7. Puente. Modelamiento de vigas.¹⁰

4. PUENTES DE CONCRETO ARMADO

DEFINICIÓN DE PUENTE:

Son estructuras que permiten soslayar un óbice o accidente paisajístico. En efecto, el escollo puede ser definido por un meandro, un cañón, un río, etc.

CARÁCTERÍSTICAS DE LOS PUENTES DE CONCRETO ARMADO

Estos puentes se montan de una forma muy rápida; permiten en muchas oportunidades elementos pre-fabricados. Algunas otras características de estos puentes: es posible superar distancias mayores que en puentes de piedra, son mucho más resistente que puentes pétreos, los costos relacionados a mantenimiento son muy bajos, son idóneos a condiciones atmosféricas adversas.

¹⁰ Manual de Diseño de Puentes por www.ssingenieria.com

ESTADOS LÍMITE

Es importante conocerlos para saber si algún miembro de un puente es funcional o no. Según LRFD, existen cuatro estados límite: estado de serviciabilidad, estado de fatiga, estado de resistencia y estado de extremidad.

FACTORES DE DISEÑO DE UN PUENTE DE CONCRETO ARMADO

El factor crucial en un puente es la longitud total del puente, denominada luz. En efecto, la inercia de la sección típica de un puente depende de la luz. En efecto, es importante contar con la mayor inercia y el menor peso posible. Como consecuencia, las secciones T y cajón son grandes ejemplos de este tipo de puentes.



Figura 8. Puente de Concreto Armado

5. CONCRETO PRESFORZADO

Se considera a Eugene Freyssinet como el padre del concreto pre - esforzado. Él pensó que el pre - esfuerzo podría ser muy útil al tener disponibilidad de acero de alta resistencia con concreto de alta calidad. Estos materiales fueron progresando lentamente y fue en 1928 cuando logró conseguir una patente de estos y publicar su libro; sin embargo los ingenieros de esa época supusieron que era una idea novelesca ya que nunca alcanzaría éxito.

El pre - esforzado ha hecho posible la creación de estructuras que sin este método no se hubieran podido lograr. Sin embargo, existe un número limitado de medios con los cuales se puede tensar y anclar las varillas y los cables, por lo que el panorama de innovación tiene que ser lento por ahora. Existe todavía mucho por hacer en el trabajo detallado de refinar el pre - esfuerzo y aún más para extender su uso.



Figura 9. Puente de Concreto Pre-esforzado

Dos de las aplicaciones más importantes que tiene el pre - esforzado se han realizado y desarrollado al construir grandes estructuras marítimas (puertos, terminales fuera de la costa, plataformas fijas y flotantes para la producción del petróleo) y estaciones de energía nuclear.

Asimismo, es posible que el concreto pre - esforzado incremente su participación en la construcción de puentes y los defensores del concreto de alta resistencia compitan con los defensores del concreto aligerado sobre la mejor forma de construcción.

Al concreto pre - esforzado también se le conoce como pre-comprimido; esto significa que antes de empezar su vida de trabajo, se le aplican esfuerzos de compresión en aquellas zonas donde se desarrollarán esfuerzos de tensión bajo cargas de trabajo.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UNA VIGA

El concreto es muy resistente ante la compresión, pero débil en tensión; en efecto, considere una viga de concreto simple soportando una carga:

Al incrementar la carga, la viga se deflexiona ligeramente y después falla repentinamente. Bajo la carga, los esfuerzos en la viga serán de compresión en las fibras superiores, y de tensión en las inferiores.

Es probable que la viga se agriete en su parte inferior y sufra rupturas, aún con cargas relativamente pequeñas, debido a la baja resistencia del concreto a la tensión. Existen dos formas de contrarrestarla: con EL empleo de refuerzos o pre - esforzado.

En el concreto reforzado, en las zonas donde se desarrollarán esfuerzos de tensión bajo la carga, debe de colocarse refuerzo en forma de varillas de acero. El refuerzo absorbe toda la tensión y si se limita el esfuerzo con el acero, el agrietamiento en el concreto se mantendrá dentro de los límites permisibles.

En el concreto pre – esforzado, los esfuerzos de compresión introducidos en las zonas donde se desarrollan los esfuerzos de tensión bajo la carga resistirán o anularán estos esfuerzos de tensión. En este caso, el concreto reacciona como si tuviese una alta resistencia a la tensión propia y en tanto que los esfuerzos de tensión no excedan a los esfuerzos de pre compresión, no se presentarán agrietamientos en la parte inferior.

Un ejemplo sería alzar un montículo de ladrillos acomodados verticalmente, si la fuerza de compresión se aplica en un punto que esté por encima de la mitad de los ladrillos, este tenderá a separarse por debajo, en cambio, si la fuerza se le aplica por debajo de la mitad del montículo no tenderá a separarse y se le podrá poner más peso encima aplicando más compresión al montículo.

Este ejemplo se aplica cuando necesitamos salvar un claro grande, se detienen las piezas de concreto prefabricado con una obra falsa, esta se quita al terminar y si se tiene compresión en el concreto este es capaz de resistir cargas encima.

La flexión es tan sólo una de las condiciones que se deben de tomar en cuenta, otra de estas condiciones es la fuerza cortante; esta se desarrolla en la viga debido a fuerzas de tensión diagonales y provocarán grietas en la viga, especialmente cerca de los puntos de apoyo. Con el concreto pre - esforzado se puede calcular esta tensión diagonal y hacer que la fuerza de compresión sea mayor que la tensión diagonal.

Una viga pre - esforzada sujeta a carga experimenta una flexión y la compresión interna disminuye gradualmente. Al retirar la carga, se restituye la compresión y la viga regresa a su condición original, demostrando la resiliencia del concreto pre - esforzado. Más aún, las pruebas han demostrado que puede efectuarse un número virtualmente ilimitado de dichas inversiones de carga, sin afectar la capacidad de la viga para soportar la carga de

trabajo o reducir su capacidad de carga última. En otras palabras, el pre - esforzado dota a la viga de una gran resistencia a la fatiga.

Si las cargas de trabajo de los esfuerzos de tensión ocasionados por la misma no exceden del pre - esfuerzo el concreto, no se agrietará en la zona de tensión, pero si sobrepasa la carga de trabajo y los esfuerzos de tensión resultan mayores que el pre - esfuerzo, surgirán grietas. Sin embargo, si esta carga se retira, el concreto pre - esforzado tiende a desaparecer estas grietas, las cuales no aparecen bajo las cargas de trabajo.

ELEMENTOS DE PRE-TENSADO

Por lo general los tendones son los elementos fundamentales utilizados en el pre-tensado; se forman de alambre de alta resistencia, torones o varillas, que se colocan aisladamente o formando cables. Existen dos métodos básicos para usar tendones: pretensado y pos tensado.

En el pretensado, primero se tensa al acero entre los muertos de anclaje y en moldes que dan la forma al elemento. Cuando el concreto ha alcanzado suficiente resistencia a la compresión, se libera al acero de los muertos de anclaje. Transfiriendo la fuerza al concreto a través de la adherencia existente entre ambos.

RESISTENCIAS DE CONCRETO PRE – ESFORZADO

Usualmente, en proyectos se solicita una resistencia entre 210 - 350kg/cm² a los 28 días en los puentes para el concreto pre - esforzado, comparándolo con el concreto reforzado que alcanza 170kg/cm² aproximadamente.

Es importante destacar que un concreto con mayor resistencia no se expone a las fisuras por contracción como si lo está el concreto de menor resistencia cuando se aplica el pre - esfuerzo.

Para cumplir con lo pedido por el proyecto, debemos de seguir las especificaciones técnicas.

6. POST-TENSADO

El equipo que se requiere para el post- tensado depende del sistema que se utilice. En Inglaterra, existen varios sistemas en operación cuya lista en orden alfabético proporciona el nombre comercial del sistema y el tipo de tendón empleado.



Figura 9. Puente post - tensado

Es conveniente agrupar los sistemas mediante el método que se adopta para el anclaje de los tendones, y aquí tenemos ya sea un sistema de tuerca enroscada o a base de cuña. En la primera categoría, se encuentran BBRV, Dividag y Macalloy. Todos los demás sistemas emplean cuñas.

BBRV

Este sistema está clasificado como de tuerca roscada debido a que, en la parte media baja del rango de fuerzas disponibles, existe una contratuerca que se apoya en una placa de acero y que transmite la compresión al concreto. En la parte media superior del rango de fuerzas, el esfuerzo se transmite por medio de calzas metálicas que se insertan entre el ancla de tensado y la placa de apoyo. En todos los casos el elemento básico consiste en un cilindro de acero con un cierto número de agujero axiales taladrados que acomodan los alambres por separado. El anclaje de cada alambre se efectúa mediante una cabeza redonda preformada.

Las cabezas redondas se forman en ambos extremos del alambre después de haber pasado a través del cabezal del anclaje. La longitud del cable es por lo tanto fija y debe determinarse en forma precisa, de tal manera que cuando el cable ha sido tensado el cabezal de anclaje quede en posición correcta en relación a la placa de apoyo.

Todo el cable, incluyendo la camisa preformada y los anclajes en ambos extremos, se deben ensamblar en el taller y ser transportados posteriormente a la obra siempre y cuando se pueda realizar, si no es posible determinar la longitud del cable, las cabezas redondas en un extremo se forman en la obra con el empleo de una máquina portátil.

Dividag

Este sistema utiliza como tendón a una barra de acero de aleación. Se emplean 2 tipos de barras: lisa y corrugada. En la barra lisa, las roscas están laminadas en frío únicamente en los extremos de la barra; y la otra, tiene corrugaciones laminadas en los lados de su longitud.

Macalloy

El pre - esforzado Macalloy consiste en un sistema de barras lisas con roscas laminadas en sus extremos. La fuerza se transmite al concreto por medio de una tuerca roscada que se comprime contra roladas de acero colocadas sobre una placa sólida de acero que distribuye el esfuerzo, o sobre una camisa acostillada de hierro forjado, o una placa de acero taladrada que está situada en un anclaje muerto proporcionando fuerzas de tensado desde 23 hasta 350 toneladas.

En todos los sistemas de tuercas roscadas, la carga se puede aplicar por intervalos para ajustarse a los requisitos de diseño de construcción, y las pérdidas pueden compensarse en cualquier momento antes de introducir la lechada. El anclaje es totalmente positivo sin que exista pérdida del pre - esfuerzo en la transferencia de carga del gato a la tuerca.

ELEMENTOS EN EL POST-TENSADO: TORDONES

En el post- tensado, primero se coloca al concreto fresco dentro del molde y se deja endurecer previo a la aplicación del pre - esfuerzo. El acero puede colocarse en posición

con un determinado perfil, quedando ahogado en el concreto, para evitar la adherencia se introduce el acero dentro de una camisa metálica protectora; o bien puede dejarse ductos en el concreto, pasando el acero a través de ellos una vez que ha tenido lugar el endurecimiento. En cuanto se ha alcanzado la resistencia requerida del concreto, se tensa el acero contra los extremos del elemento y se ancla, quedando así el concreto en compresión. El perfil curvo del acero permite la distribución efectiva del pre - esfuerzo dentro de la sección, de acuerdo con lo dispuesto por el proyectista.

7. PUENTES METÁLICOS

Los puentes metálicos son estructuras imponentes que se construyen con rapidez. Sin embargo, tiene un alto costo y además se encuentran sometidos al deterioro por intemperie, gases y humos de las ciudades y fabricas. Por ello, su mantenimiento es caro.

El acero es el material más importante desde finales del siglo XIX para la construcción de puentes metálicos. En un principio, su uso fue escaso por su alto costo. Años después, el material bajo drásticamente su precio. Realizándose impresionantes monumentos de acero. Por ejemplo, El puente Lupo, ubicado en China; y su estructura forma un imponente arco de acero, y tiene una extensión de 3,90 Kilómetros. Por otro lado, el puente George, también una de las obras trascendentales ubicado en el estado norteamericano de Virginia Occidental; tiene una extensión de más 920 metros. Otro buen ejemplo es el puente Tjörn que conecta Suecia con la isla Tjörn. Su extensión es de 664 metros. Y fue inaugurado en 1981.

CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Materiales:

Certificados de calidad de origen del material en cuanto a posición química y resistencia.

Ensayos de tensión, análisis químico.

Verificar la homogeneidad del material por medio de ultrasonido y medición de espesores de algunas láminas.

Calidad:

Cumpliendo con las especificaciones, la calidad del producto (control de cronogramas, materiales, fabricación, embalaje y montaje).

Ensamble:

Consiste en el armado y soldadura de un elemento principal que se compone de platabandas, almas, atiesadores, cartelas, ángulos de conexión, etc.

Pre-ensamble:

Rectificar longitud total y camber o contraflecha del puente

Corregir defectos e imprecisiones por el proceso de preparación y soldadura del material

Confirmar el ensamble adecuado y ajuste de uniones de campo, estampe del soldador.

Revisión detallada dimensional

Como procedimiento adicional se elabora un plano indicativo donde se asigna la numeración de los extremos de los elementos principales que van a ser conectados en el pre-ensamble y en el montaje, recomendable para que no exista confusión debido a que únicamente se ensamblarán los extremos que tengan la misma identificación.

Montaje:

Es el más importante del proceso constructivo, se compone: transporte, armado en sí de la estructura, soldadura, pulido, control e inspección.

TRANSPORTE:

El transporte de los elementos estructurales hacia su sitio final se lo efectúa por medio de grandes camiones, tráileres, en tanto que el transporte interno se lo efectúa con ayuda de grúas, plumas o tecles, con las respectivas instrucciones de seguridad especificadas por la compañía a cargo del levantamiento de la estructura. El transporte debería realizarse fuera de horarios de trabajo de los soldadores.

ARMADO O MONTAJE:

En el armado se construyen los cordones de soldaduras provisionales como paso previo para la soldadura definitiva de las juntas.

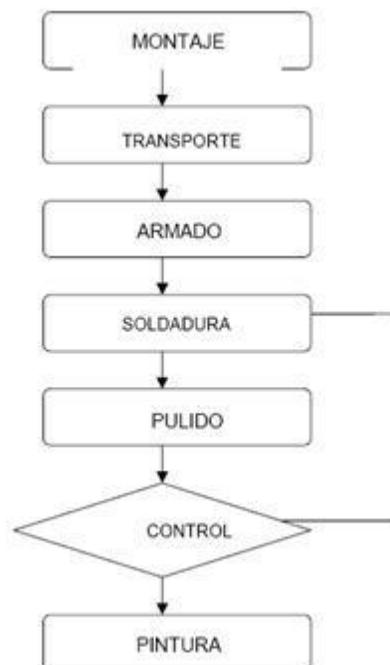
SOLDADURA:

Dentro de los procesos señalados este sin duda es el más importante debido a que la soldadura es una forma de unión.

CONTROL:

Se puede efectuar ensayos para verificar la calidad del acero antes de efectuar la construcción, determinando la calidad (límite de fluencia, tracción, tracción y compresión), el control de la calidad en las uniones durante la prefabricación y el montaje, se comprueba además que el material de aporte sea el correcto, que se usen los voltajes o amperajes adecuados, posiciones de soldadura, y que se cumplan los espesores.

DIAGRAMA DE PROCESOS DE MONTAJE PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS.



LIMPIEZA Y PINTURA:

Limpieza de las superficies de acero realizadas en planta con chorro de arena.

La pintura anticorrosiva o imprimante aplicada en planta (cromato de zinc fenólica con 3mm de espesor) y una pintura de acabado aplicada luego del montaje (aluminio extra - reflectivo).

FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA:

CLASIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA:

Láminas (para vigas de rigidez, cajón, cartelas, atiesadores), Pernos alta resistencia (para conexiones), Ángulos (para arriostramientos), Ejes (para apoyos de pasadores).

PREPARACIÓN DEL MATERIAL:

Consiste en el trazado, corte, perforación e identificación de cada elemento con su numeración respectiva indicando la posición, número de plano y obra respectiva.

Almacenamiento y embalaje adecuados dependiendo el medio.

Ambiental: diagnóstico físico, biótico y socioeconómico de la zona de influencia del proyecto.

Aspectos estéticos:

Diseño paisajístico

Creatividad

Arquitectura

Armonía con el medio ambiente

Textura

Color

Confiabilidad

Ensayos:

Se realizan ensayos no destructivos tanto en planta como en montaje para garantizar la calidad de la soldadura la cual se inspecciona por: radiografía, ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, se evalúa la calidad de soldaduras a inspeccionar.

Inspección:

A compresión y tracción de los elementos.

De la soldadura que conectan elementos principales y secundarios.

De calidad: uso de láminas y perfiles de acuerdo a especificaciones, cortes, biselado, perforado.

Pre-ensamble: en posición horizontal de cada viga o arco completo.

Ensamble: armado de todas las piezas con todos sus elementos.

Soldadura: procedimientos de soldadura, soldadores calificados

Visual: presentación de cordones de soldadura, medición de filetea de soldadura mediante galgas universales, alabeo y pandeo de vigas por efecto de la contracción y dilatación debido a la variación de la temperatura.

Equipos: se revisa el amperaje utilizado por los soldadores dentro de los parámetros exigidos por el fabricante de la soldadura.

En obra: Se realizan las preparaciones de la pintura con limpieza manual y posteriormente se aplica la pintura de acabado la cual se controla su calidad, aplicación y finalmente pruebas de adherencia (mecánica o manual).

Detección de daños graves como corrosión excesiva, grietas de espesor importante, vibración excesiva, posibles problemas de fatiga, impacto, falta de remaches, socavación evidente, asentamientos, etc.

VENTAJAS DE LOS PUENTES METÁLICOS:

CONSTRUCTIVAS:

- Óptima para encañonados, altas pendientes, donde no permita instalar apoyos temporales.
- Se puede prefabricar cada subestructura en diferentes formas y tamaños.
- Su montaje es más rápido se puede sortear climas adversos.
- Resistencia a problemas de fatiga.

AMBIENTALES:

- No contamina el medio ambiente.
- No requiere la utilización de los recursos naturales.
- Se minimizan los residuos que afectan el entorno ecológico.
- El acero es 100% reciclable.

ECONÓMICAS:

- Disminución de cargas muertas entre 40 % a 50 %, reduciendo los costos en cimentación.
- Beneficio económico para la región por el plazo reducido de la obra.
- Menores costos para ampliación de capacidad.

DESVENTAJAS DE LOS PUENTES METÁLICOS:

ECONOMICAS:

Las estructuras metálicas sufren de corrosión, porque están en contacto con el agua, aire, agentes externos, cambios climáticos por lo que requieren de pintado periódico, originando mayores costos por mantenimiento.

AMBIENTALES

CORROSIÓN: La exposición al medio ambiente sufre la acción de agentes corrosivos.

COSTO DE PROTECCION CONTRA FUEGO: Debido a este aspecto, su resistencia se reduce considerablemente durante incendios.

FRACTURA FRÁGIL: Puede perder ductilidad bajo ciertas condiciones, provocando la falla frágil en lugares de concentración de esfuerzos. Las cargas producen fatiga y las bajas temperaturas contribuyen a agravar la situación.

Susceptibilidad al pandeo por ser elementos esbeltos y delgados.

8. CONCLUSIONES

- El diseño de una estructura como un puente consta de 03 etapas: estructuración, análisis y dimensionamiento. La estructuración se refiere a la geometría preliminar del proyecto. El análisis está relacionado a los cálculos necesarios para evaluar la geometría preliminar. Finalmente, en base al análisis realizado, se escogerá las adecuadas secciones de los elementos que conforman la estructura.
- Es sumamente importante conocer el grado de precisión que se puede alcanzar con los diversos tipos de modelo de análisis. En efecto, modelos que representan la estructura como un todo, modelos de marco y aquellos que emplean vigas representan fielmente un rango de precisión (de menor a mayor)
- Los puentes pre-esforzados y post-esforzados ofrecen una innovación tecnológica frente a las solicitaciones de tensión. Cabe precisar que el Concreto no resiste adecuadamente altos esfuerzos de tensión; las soluciones pre y post-tensadas ofrecen una gran alternativa para soslayar esta limitación del concreto.
- Los puentes metálicos ofrecen una rápida y práctica solución para climas adversos. Es importante, destacar que su montaje es rápido comparado con otro tipo de puentes. Sin embargo, son susceptibles a la erosión. Por ello, su mantenimiento es sumamente costoso
- Además me gustaría que alguien con más experiencia me orientara si debo ponerle el mismo énfasis a las filosofías ASD que a las LRFD, esto porque aun que los ingenieros más veteranos de mi país defienden la normativa de diseño por esfuerzos permisibles es evidente que esta normativa tiene los días contados, a mi parecer la nueva filosofía (LRFD) o por lo menos mas nueva que a ASD, sobredimensiona menos los elementos estructurales por lo que la edificación es menos costosa en términos económicos y sin arriesgar las seguridad de la estructura, a lo que voy es si ya no se va a ocupar ya no se debería enseñar
- El propósito de calcular es el ENTENDER y DECIDIR con el apoyo de los cálculos numéricos
- Lo primero que debemos hacer ante un problema de cálculo es examinar cuestionando: ¿QUÉ VAMOS A HACER LUEGO CON LOS RESULTADOS?
- Al realizar los cálculos de análisis de un puente, frecuentemente, encontraremos una gran variedad de problemas. Cabe precisar que un análisis detallado y

concienzudo es sumamente importante para conseguir buenos resultados en el diseño final del puente.

Finalmente, se concluye que el diseño y construcción de puentes hoy por hoy, gracias a innovaciones técnico-constructivas en Ingeniería Civil, viene ofreciendo soluciones prácticas frente a condiciones adversas como clima, tiempo en el proceso productivo y solicitaciones de carga en los elementos.

Es crucial mencionar que no sólo los cálculos numéricos son importantes, las posteriores aplicaciones son aún más importantes. En efecto, es importante destacar que un análisis meticuloso de las alternativas de solución así como de las técnicas de análisis permitirá definir el mejor modelo para un puente. Posteriormente, se logrará un diseño adecuado. Finalmente, teniendo en cuenta los procedimientos constructivos, una gran estructura de puente será materializada.

Ser ingeniero implica la interacción adecuada entre análisis, diseño y aplicación. De esta manera, muchos problemas numéricos y constructivos serán solucionados de la mejor manera. Las nuevas investigaciones y procedimientos demuestran que un buen Ingeniero debe actualizar sus conocimientos y aplicarlos adecuadamente por una sociedad más próspera.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. BARKER Y PUCKETT – WILEY INTERNATIONAL (1997)
Design of Highway Bridges - LRFD
Wiley International.
2. NILSON, ARTHUR Howard.
Diseño Estructural de Concreto Pre-esforzado
Editorial LIMUSA 1990
3. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES DE PERÚ – MTC (2003)
Dirección General de Caminos y Ferrovías.
Manual de Diseño de Puentes
Asociación Gráfica Educativa
Lima, Perú
4. NORMAS ASSHTO LRFD (2002)
Washington, DC. USA
5. Información Concerniente a:
Métodos de diseño
<http://www.construaprende.com>
6. Información concerniente a:
Concreto Pre-esforzado y Post-tensado
<http://www.construaprende.com>