

**VALORACION CUANTITATIVA DE LOS COSTOS DIRECTOS DE
CONSTRUCCION DE UN PUENTE CON PRETENSADO EXTRADOSADO EN
COLOMBIA**

**KELY YOHANA GARCIA SANTIAGO
CAMILO ANDRES VEGA PEÑA**

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

2012

**VALORACION CUANTITATIVA DE LOS COSTOS DIRECTOS DE
CONSTRUCCION DE UN PUENTE CON PRETENSADO EXTRADOSADO EN
COLOMBIA**

**KELY YOHANA GARCIA SANTIAGO
CAMILO ANDRES VEGA PEÑA**

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**

2012

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi carrera siempre tuve personas a mi alrededor que me dieron la fuerza, la fe y colaboraron para que hoy en día este sueño se haga realidad, es por eso que hoy quiero agradecerles de manera muy especial.

A mí familia quienes han sido sin duda los principales precursores de este logro, nunca se desesperaron, creyeron en mí y siempre estuvieron pendientes y preocupados, eso me mantuvo firme las veces que sentí caerme, me enseñaron que la perseverancia ayuda a alcanzar cualquier meta, me inculcaron la constancia y la fortaleza para enfrentar cualquier circunstancia, infinitas gracias a ellos a quienes hoy dedico este trabajo.

A mis compañeros, que más que eso fueron mis amigos, mi otra familia y me apoyaron en cada paso de nuestra vida universitaria. A Mario Mejía, Paola Rodríguez, Yamid Osorio, Ricardo Díaz, Andrés Vargas, Jhon Peña quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su cariño y su mano amiga.

A mi compañero de Proyecto, Camilo Vega, quien me acompañó y me soportó durante tanto tiempo.

A mi director de Proyecto, Gustavo Chio Cho, quien puso su confianza en mí y siempre creyó en mi trabajo y mis capacidades.

Y a todo aquel que puso su granito de arena para que hoy se lograra este sueño mis sinceros y eternos agradecimientos.

KELY YOHANA GARCIA SANTIAGO

En primer lugar doy Gracias a Dios quien ha iluminado mi sendero cuando más oscuro ha estado, por estar siempre presente conmigo dirigiéndome y guiándome en todo momento, en especial en este importante paso de mi vida, por darme esa fuerza y la sabiduría para lograr este apreciado sueño.

A mi hermosa y sagrada madre Yaneth Peña, quien me dio la vida y le estaré agradecido eternamente por tanto amor y tanto cariño que ha puesto en mí, por esos gratos consejos, por estar siempre en cada etapa de mi vida y sembrar allí su más lindo recuerdo. Ella, mi gran motor de lucha Te Amo.

A mi amigo hermano y padre Víctor Vega, por su gran esfuerzo y su apoyo incondicional que me ha brindado desde mi niñez hasta ahora y que siempre junto a mi madre han luchado para darnos lo mejor a mi hermana y a mí, formándonos con buenos sentimientos, hábitos y valores, llevándonos siempre de la mano por el mejor camino. Mil y mil gracias Firulitos.

A mi hermanita Diana Carolina Vega, por su paciencia, sus trasnochos ayudándome, porque has contribuido positivamente para llevar a cabo esta ardua carrera. Mi compañera de Vida, mi Hermanolo. Gracias

A mis familiares, Luis Francisco Vega y Leonor Villalba quienes de igual manera me siento infinitamente agradecido por haber compartido conmigo en las buenas y en las malas, brindándome todo ese amor de familia. Mis segundos padres, Dios los bendiga para Siempre.

Agradezco enormemente aquellas personas que siempre estuvieron ahí para compartir conmigo brindándome su cariño y por la gran calidad humana que me han demostrado con una actitud de respeto y de manera desinteresada a ellos de

igual manera mis agradecimientos a Don Joaquín, Doña Graciela, Alejandra y Natalia Rodríguez. Muchas Gracias.

A todos los Docentes de la UIS que me asesoraron, porque cada uno, con sus valiosas aportaciones académicas, me ayudaron a crecer como persona y como futuro profesional. Finalmente, agradezco a mis compañeros de grupo, porque la constante comunicación con ellos ha contribuido en gran medida a transformar y mejorar mi forma de actuar en mi profesión como Ingeniero Civil, especialmente a aquellos que me brindaron su amistad, dándome con ello, momentos muy gratos. Gracias Compañera de Proyecto, Kely García.

CAMILO ANDRES VEGA PEÑA

CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCION	17
OBJETIVOS	18
1. PRELIMINARES	19
1.1 ESTADO DEL ARTE	19
1.2 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS APLICADOS A PUENTES CON PRETENSADO EXTRADOSADO	20
1.2.1 Método Constructivo Luz A Luz:	21
1.2.2 Método De Lanzamiento Por Incrementos O Método Por Empujes.	22
1.2.3 Construcción De Puentes De Voladizos Sucesivos	26
1.2.3.1 Voladizos sucesivos hormigonados "in situ".	26
1.2.3.2 Voladizos Sucesivos Por Dovelas Prefabricadas.	29
1.3 SISTEMAS DE IZADO Y SU APLICACIÓN EN PUENTES EXTRADOSADOS.	31
1.3.1 Configuraciones Morfológicas Y Geométricas De Los Puentes Extradosados	33
1.4 CONSTRUCCION DE PUENTES EN VOLADIZOS SUCESIVOS EN COLOMBIA	39
1.4.1 Construcción De Puentes Extradosados En Colombia Mediante Voladizos Sucesivos Balanceados.	47
1.5 DIMENSIONAMIENTO	53
1.6 MATERIALES	56
1.6.1 Concreto	56
1.6.2 Acero	58

1.6.3 Presfuerzo	59
2. ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION	60
2.1 CANTIDADES DE OBRA	61
2.2 PRESUPUESTO	61
2.3 PROGRAMACION	62
3. RESULTADOS Y ANALISIS	63
4. CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS	75
ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Actividades del Presupuesto de Obra	61
Tabla 2. Presupuesto construcción puente extradosado en Colombia	62
Tabla 3. Presupuesto Tablero Puente con Dovelas Sucesivas	70
Tabla 4. Presupuesto Tablero Puente con Pretensado Extradosado.	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Puente del río Caroní en Venezuela (1962-1964)	23
Figura 2. Cantilever pushing out method	23
Figura 3. Método Por Empujes.	24
Figura 4. Esquema carro de avance	28
Figura 5. Ubicación de formaletas laterales carro de avance	28
Figura 6. Esquema avance por voladizos sucesivos hormigonado in situ utilizando carros de avance	29
Figura 7. Silla de torre para anclaje de tirantes	35
Figura 8. Composición del anclaje en la torre.	35
Figura 9. Estabilidad mediante cables extradados a la sección viga cajón.	39
Figura 10. Puente sobre el río Magdalena, Barranquilla.	40
Figura 11. Puente sobre el río Farallones, Cundinamarca.	41
Figura 12. Puente del viaducto Pereira-Dos Quebradas, Risaralda	42
Figura 13. Puente del viaducto Pereira-Dos Quebradas, Risaralda. Vista longitudinal del puente.	42
Figura 14. Puente del Viaducto Pipiral, autopista Bogotá-Villavicencio.	43
Figura 15. Puente de Sevitá, Autopista Bogotá-Villavicencio.	44
Figura 16. Puente de Barranca-Yondó sobre el Río Magdalena sobre el Estrecho Galán.	45
Figura 17. Puente sobre el río Sinú, Montería.	46
Figura 18. Viaducto La Estampilla. Carretera Pereira-Manizales	47
Figura 19. Dimensionamiento dado de fundación y pilotes.	54
Figura 20. Dimensionamiento Dovelas	54
Figura 21. Distribución cables extradados	55

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO LUZ A LUZ	80
ANEXO B. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS HORMIGONADOS "IN SITU":	84
ANEXO C. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS CON DOVELAS PREFABRICADAS	96
ANEXO D. CANTIDADES DE OBRA	115
ANEXO E ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	123
ANEXO F. PROGRAMACION DE OBRA	133
ANEXO G. ROVEEDORES	134

RESUMEN

TITULO: VALORACION CUANTITATIVA DE LOS COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE UN PUENTE CON PRETENSADO EXTRADOSADO EN COLOMBIA*

AUTORES: KELY YOHANA GARCIA SANTIAGO
CAMILO ANDRES VEGA PEÑA**

PALABRAS CLAVES: Extradadoso, pretensado, costos, construcción, voladizos.

CONTENIDO: Una de las actividades más antiguas del hombre es la construcción de puentes, actividad que lo ha beneficiado a través de los años para salvar obstáculos tales como ríos, grandes valles u hondonadas. A lo largo del tiempo los materiales, las formas, los elementos estructurales han ido evolucionando acorde al desarrollo del hombre y con esta evolución también se han ido tipificando y agrupando los puentes en diferentes conjuntos y configuraciones.

En el presente trabajo hablaremos de las ventajas y desventajas de los sistemas constructivos y su aplicación en la construcción de puentes con pretensado extradadoso por medio de voladizos sucesivos en Colombia.

Se realizara un análisis desde el punto de vista económico sobre las posibilidades de construcción de puentes extradadosos en el país, realizando análisis de precios unitarios y presupuestos con precios de materiales, equipos, herramientas y mano de obra del año 2011 suministrados por diferentes proveedores, concluyendo así que desde este punto de vista es muy viable y economico ejecutar este tipo de obras en el país.

Teniendo en cuenta que en Colombia no se utiliza el método constructivo de avance en voladizo sucesivo con dovelas prefabricadas, se busca ofrecer alternativas y soluciones de construcción de puentes con pretensado extradadoso en este país y exponer las razones por las cuales aún no es factible construir con este método.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniarías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería civil, Director PhD. Gustavo Chio Cho

ABSTRACT

TITLE: QUANTITATIVE EVALUATION OF THE DIRECT COSTS TO BUILD A BRIDGE WITH THE PRESTRESSED EXTRADOSSED TECHNIQUE IN COLOMBIA*

Authors: KELY YOHANA GARCIA SANTIAGO
CAMILO ANDRES VEGA PEÑA**

Keywords: Extradosed, prestressed, costs, cantilever, construction.

CONTENT:

One of the oldest activities of man is the bridges building, such activity has benefited the men over the years to overcome obstacles such as rivers, big valleys or hollows. Throughout the time, materials, shapes and structural elements have evolved according to the development of man and with this evolution also the bridges have been typified and grouped in different sets and shapes.

In this paper we will discuss the advantages and disadvantages of building systems and their application in building bridges with prestressed extradosed through successive cantilevers in Colombia.

An analissis will be done from the economic point of view of the possibilities of building bridges extradosed in the country, performing analysis of unit costs and budgets with materials prices, equipment, tools and labor in 2011 provided by different suppliers, concluding that from this point view is very feasible and economic to run this type of work in the country

Having in mind that in Colombia is not used the construction method of successive cantilever with prefabricated segments, we seek to provide alternatives and solutions to build bridges with prestressed extradosed in this country and explain the reasons why it is not yet feasible to build with this method.

* Grade Project

** Physical-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: PhD. Gustavo Chio Cho

INTRODUCCION

El costo de vida de un puente depende de las condiciones particulares del país y de la zona en que se va a construir, es decir, de los materiales de construcción, maquinaria, seguro, mano de obra, mantenimiento, renovación y finalmente, demolición y eliminación de sus asociados, reciclado y reemplazamiento, menos el valor de chatarra y reutilización de sus componentes.

Colombia es un país con una diversidad de paisajes y topografías que exigen la construcción de diferentes estructuras viales para mejorar la accesibilidad a las diferentes regiones del país. Los diseños modernos de carreteras y autopistas imponen condiciones muy exigentes de pendiente, curvatura, y altura sobre los cauces y estas condiciones definen la necesidad de diseñar y construir puentes de gran longitud, acción que implica altos costos ya que un número exagerado de pilas volvería poco práctico, desde el punto de vista económico, un proyecto de puente.

Los puentes extradados combinan el preesforzado con tirantes de baja sollicitación de fatiga, cantos rígidos torres de baja altura, lo que produce un buen comportamiento estructural, estos puentes están estructuralmente ubicados en el punto intermedio entre el rango de luces de los puentes de viga cajón pretensados y de los atirantados lo cual nos lleva a cuestionar y determinar su competitividad en el punto de vista económico y estético en comparación con los otros tipos de puentes, ya que la construcción de estos, hipotéticamente, resultaría más económico.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Análisis comparativo de los costos de construcción de un puente extradadosado en territorio colombiano.

Objetivos Específicos

- Clasificar los diferentes tipos de procesos constructivos con los que se pueden realizar los puentes extradadosados y sus ventajas y desventajas de la utilización de cada uno de ellos
- Definir los costos de materiales para la construcción de un puente extradadosado

1. PRELIMINARES

1.1 ESTADO DEL ARTE

Jacques Mathivat, autor del libro “The Cantilever Construction Of Prestressed Concrete Bridges” (La construcción en voladizo de puentes de hormigón pretensado) en 1988, propuso el reemplazo de las placas pretensadas a los costados de la losa de los puentes que trabajan como elementos tensados por cables rígidos para tomar ventaja de la altura limitada de los pilotes y considerar los cables como tensores y no como cables atirantados para beneficiarse de las especificaciones más favorables para aquellos a los que les dio el nombre de cables extradados¹.

Un puente pretensado extradado se caracteriza porque sus tirantes poseen una menor inclinación y en consecuencia pilonos con menos altura en comparación con las dimensiones de los vanos del tablero, además, el atirantamiento sirve para compensar en gran parte los esfuerzos de peso propio, mientras que las sobrecargas son resistidas por la flexión de la parte superior. La baja relación altura de pilono-luz del vano hace que la efectividad de los tirantes sea reducida. Sin embargo, la escasa variación de tensión de los tirantes permite que éstos queden menos afectados por los fenómenos de fatiga y que, por tanto, se puedan aprovechar mejor, llegando a estados de tensión más altos que los permitidos para tirantes convencionales y teniendo una ventaja adicional consistente en utilizar anclajes más sencillos que los específicos para puentes atirantados².

¹ MATHIVAT, J. Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos. Métodos de Colocación de Dovelas. Editores Técnicos Asociados S.A. 1 ed. española, Barcelona, 1980. Pág. 282-314.

² Revista de Obras Públicas/Octubre 2005/Nº 3.459

Existe cierto debate sobre el límite entre los puentes atirantados y extradadoso. Los puentes extradadosos suelen tener una altura de la torre menos de una octava parte del tramo principal, correspondiente a la inclinación del cable de 17 grados, La inclinación del cable reducido conduce a un aumento de la carga axial en la cubierta y una disminución de la componente vertical de la fuerza en los anclajes de cable.

El método del pretensado extradadoso (en francés, literalmente: “fuera del dorso”), se caracteriza por el hecho de que los tendones de una estructura hiperestática “se levantan” del tablero y se desvían a través de un miembro de compresión intermedio, aumentando así el brazo de palanca. La fuerza vertical es absorbida directamente por el pilar situado debajo. De la misma forma que si fueran tirantes, esos tendones “extradosos” resisten al tiempo y a la radiación solar a largo plazo.

1.2 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS APLICADOS A PUENTES CON PRETENSADO EXTRADOSADO

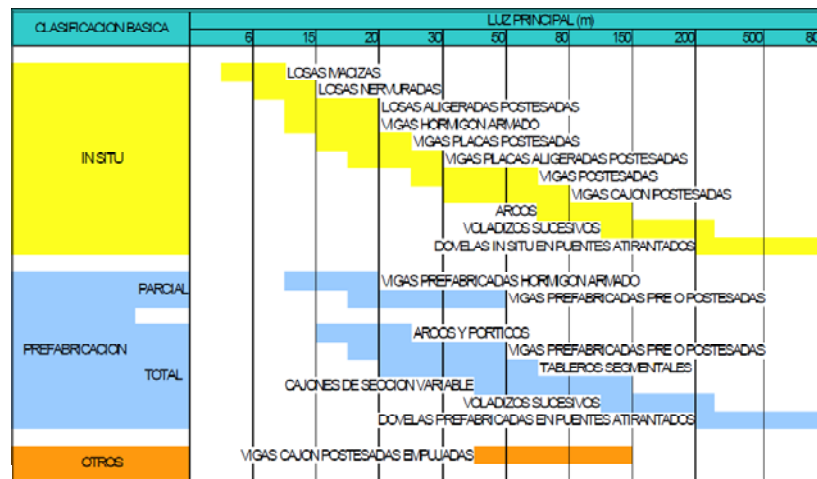
En puentes de medianas y grandes luces, se hace necesario recurrir a una construcción segmentada del mismo. Existen varios métodos para este tipo de construcciones puentes segmentados.

Una clasificación general de los métodos constructivos más usados es la siguiente:

- Método de Voladizos Sucesivos Balanceados
- Método constructivo luz a luz.
- Método de lanzamiento por incrementos o método por empujes.

Los anteriores métodos pueden implementarse tanto para construcciones hechas en sitio o prefabricadas. Dependiendo de la luz central de cada puente se determina el método constructivo a utilizar (**Cuadro 1**) siendo el método de voladizos sucesivos balanceados el más utilizado en la construcción de puentes extradados.

Cuadro 1. Clasificación métodos constructivos según la luz del puente.



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

1.2.1 Método Constructivo Luz A Luz:

El método consiste en ensamblar todos los segmentos que se consigue alineando y uniendo juntas para luego postensionar longitudinalmente todos los segmentos creando una luz completa³.

Se caracteriza por ser una actividad principalmente realizada para viaductos que tienen numerosas luces, relativamente cortas, menores a 50 m y limitado a

³ LEVINTOV, B. (1995). Construction Equipment for Concrete Box Girder Bridges. *Concrete International* 17(2), 43-47. Ciudadopor: GUNNAR, Lucko. Means and Methods Analysis of a Cast-In-Place Balanced Cantilever Segmental Bridge: The Wilson Creek Bridge Case Study. Virginia, 1999, 299 h. Trabajo de Maestría (Maestro de ciencia en Ingeniería Civil). Virginia Polytechnic Institute. Disponible en Digital Library and Archives: <<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950>>.

puentes con sección de viga cajón constante ya que constructivamente se hace difícil la colocación de secciones variables. La superestructura puede fundirse en sitio o llevarse a cabo mediante elementos prefabricados ya que sus elementos son de peso controlable y manejable.

Otra característica es que la estructura va resistiendo conforme se construye, estableciéndose durante el proceso de construcción mecanismos resistentes similares a cómo va a funcionar el puente en servicio, lo cual es fundamental para que el dimensionamiento de la estructura no venga condicionado por fases provisionales. Además, el peso de los elementos básicos, su forma de puesta en obra y los medios necesarios para su construcción están relacionados equilibradamente⁴.

En el **Anexo A** se describirá el paso a paso del proceso constructivo de este método.

1.2.2 Método De Lanzamiento Por Incrementos O Método Por Empujes.

El método de lanzamiento por incrementos fue desarrollado por los ingenieros de Alemania Fritz Leonhardt y Willi Baur para el puente del Río Caroní (**ver Figura 1**) en Venezuela en el año de 1961⁵, que posteriormente fue construido en los años 1962 a 1964

⁴ CHEN, Wai-Fah y DUAN, Lian. Bridge Engineering Handbook. Segmental Concrete Bridge. Boca Ratón: Editorial CRC Press, 2000. Cap. 11.3.3 Span-by-Span Construction.

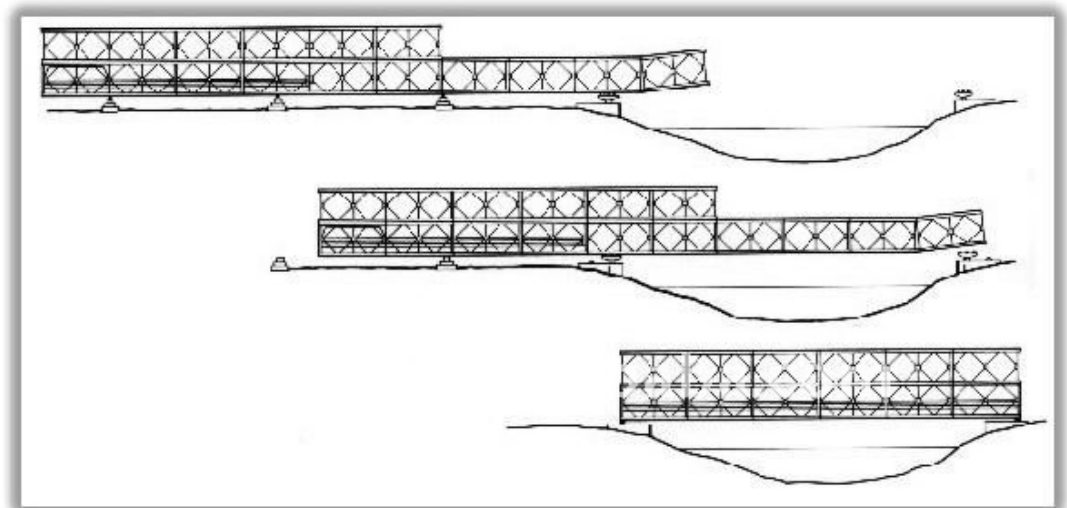
⁵ GUNNAR, Lucko. Means and Methods Analysis of a Cast-In-Place Balanced Cantilever Segmental Bridge: The Wilson Creek Bridge Case Study. Virginia, 1999, 299 h. Trabajo de Maestría (Maestro de ciencia en Ingeniería Civil). Virginia Polytechnic Institute. Disponible en Digital Library and Archives: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950>>.

Figura 1. Puente del río Caroní en Venezuela (1962-1964)



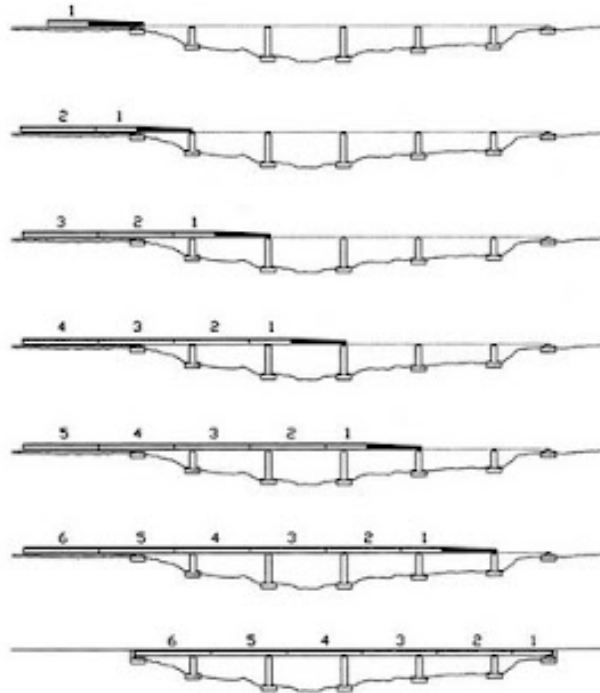
Fuente: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/622/contenido_publico/recursos/P2_02_puentes_lanzados.pdf. Pág. 48.

Figura 2. Cantilever pushing out method



Fuente: http://www.alibaba.com/product-gs/511619311/bridge_girder_launcher_Military_Bridges_temporary/showimage.html

Figura 3. Método Por Empujes.



Fuente: http://www.ingenieracivil.com/2009_01_01_archive.html

Este método es el más mecanizado de los métodos de construcción. Consiste en la fabricación de la superestructura en secciones o segmentos en un área de prefabricación en uno de los extremos del puente. Cada nueva unidad es hormigonada directamente a la anterior y después de que la estructura resultante sea lo suficientemente rígida, se desplaza una longitud de unidad⁶. Dado que el desplazamiento en voladizo genera enormes momentos flectores, el acero se coloca en la unidad de concreto y el conjunto es empujado hasta lograr apoyarse en las pilas centrales.

⁶ VSL INTERNATIONAL LTD. The Incremental Launching Method in Prestressed Concrete Bridge Construction. Features of the Incremental Launching Method. Abril 1977. Disponible en: http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_tecreports/PT_Incremental_Launching_Method.pdf

Características y ventajas:

- La construcción se lleva a cabo completamente sin la necesidad del empleo de falsos apoyos, de modo tal, que obstáculos como carreteras, ferrocarriles, edificaciones, ríos, áreas de conservación entre otros no constituyen mayores inconvenientes al realizarse el avance del mismo de forma aérea.
- La zona de fabricación de los elementos de la superestructura, se sitúa detrás de un apoyo ocupando un área considerable, lo cual propicia un mayor grado de precisión en el proceso de construcción. El beneficio de tener la planta concentrada en una zona específica, se refleja en inversiones relativamente bajas al tener distancia cortas de acarreo, disminuyendo con estos los gastos de transporte.
- Según Wai-Fah Chen y Lian Duan: “la superestructura está conformada por segmentos cuya longitud por lo general oscila entre los 15m y 40m”. Cada uno de ellos es completado aproximadamente en una semana. No existen articulaciones, ya que cada segmento es fundido contra el segmento inmediatamente anterior⁷.
- Durante la etapa de construcción la superestructura es pretensada centralmente para limitar los esfuerzos de tensión producidos por los momentos flectores. Aun así, pequeños esfuerzos deben ser permitidos (pretensado parcial o limitado), aun cuando éstos no son permitidos en la estructura finalizada, mejoran las condiciones económicas del método sin dejar de lado la seguridad de la estructura⁸.
- Una nariz de peso ligero, es instalada al extremo del voladizo de la superestructura con el fin de reducir el momento del voladizo durante el proceso de lanzamiento.
- Para el lanzamiento, se ubica en el apoyo un dispositivo de gatos hidráulicos.

⁷ CHEN, Wai-Fah y DUAN, Bridge Engineering Handbook. Lian. Segmental Concrete Bridge. Boca Raton: Editorial CRC Press, 2000. Cap. 11.4.5 Casting Bed and Launching Methods.

⁸ VSL INTERNATIONAL LTD. The Incremental Launching Method in Prestressed Concrete Bridge Construction. Features of the Incremental Launching Method. En: VSL INTERNATIONAL. (abril 1977). Disponible en: http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_tecreports/PT_Incremental_Launching_Method.pdf

- Los soportes del puente son equipados con un sistema especial de rodamientos deslizantes.
- Pueden requerirse apoyos auxiliares entre las pilas para puentes de grandes luces si la relación luz/canto es alta.

1.2.3 Construcción De Puentes De Voladizos Sucesivos

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:

- Obras con pilas muy altas como el puente Juanambú ubicado en la carretera que comunica a la capital del Departamento de Nariño (San Juan de Pasto) con municipios del norte del departamento como Buesaco, San José de Albán, San Bernardo, La Cruz, San Pablo, La Unión y San Pedro de Cartago.
- Ríos con crecientes violentas y súbitas como el río Magdalena

La ventaja en la utilización de este método es la reducción y mejor utilización de encofrados, limitados a la longitud de la dovela, la especialización de mano de obra y por consiguiente, mayor rendimiento, debido a la mecanización de las tareas por ciclo repetitivo, la flexibilidad de ejecución ligada a la posibilidad de acelerar la construcción multiplicando el número de bases de partida y la rapidez de construcción en el caso de dovelas prefabricadas con las cuales se logra hasta 12 metros diarios⁹.

1.2.3.1 Voladizos sucesivos hormigonados “in situ”. El método consiste en construir la superestructura a partir de las pilas, agregando tramos parciales que se sostienen del tramo anterior.

⁹ HERRERA, JERONIMO, Universidad Católica, PUENTES, Pag 96

Se puede definir el sistema constructivo "In Situ" como la ejecución de la estructura vertiendo el hormigón fresco sobre un encofrado que aloja las armaduras, activas o pasivas, que han sido previamente dispuestas.

El tablero se subdivide en dovelas cuya longitud oscila entre 3 m y 5 m que se van construyendo una a continuación de otra. De esta manera los voladizos van aumentando y se ayudan de cimbras metálicas que encuentran su apoyo en la parte del tablero ya construida.

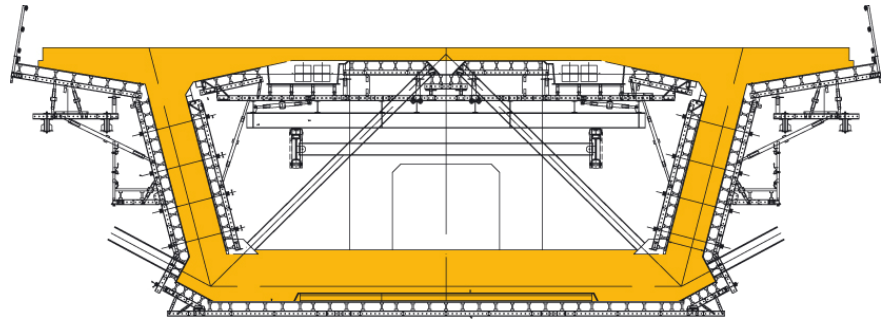
Para construir las dovelas se utilizan carros que se apoyan en la parte que ya está construida. Hormigonando las dovelas sucesivamente sobre los carros, se va avanzando en forma de "T" desde las pilas hacia el centro de cada vano, conectando allí con el voladizo anterior mediante una dovela clave. Una vez terminados los voladizos de una pila, se pasa a la pila siguiente y se repite todo el proceso descrito¹⁰.

Al inicio de cada voladizo hay que construir la primera dovela sobre la parte superior de la pila. Esta dovela, conocida como dovela 0 o dovela de pila, se construye con un encofrado convencional montado sobre la pila, y ha de tener la longitud suficiente para que se puedan montar los carros de avance sobre ella. A partir de esta dovela, la construcción se continúa con los carros de avance que cuelgan el encofrado para la siguiente dovela de la parte ya construida. El hormigonado se hace de forma que no se presente más del peso de una dovela como carga desequilibrada a cada lado de la pila.

¹⁰ GERARDINO Perdomo, Marlio- "Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos", Tesis de Máster en Ingeniería Estructural y de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Junio de 2011, Pág. 11

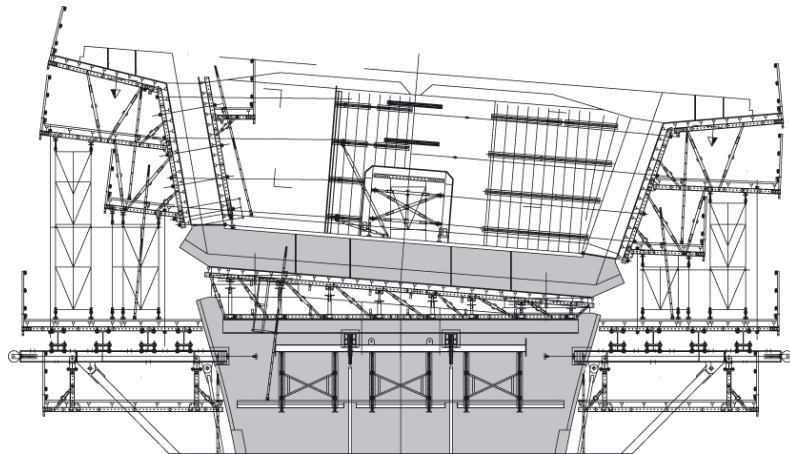
La construcción empieza con la ejecución de una primera dovela usando una formaleta especialmente diseñada para esta parte del puente (Ver Figura 4), empleando unas plataformas de trabajo a los lados de la pila

Figura 4. Esquema carro de avance



Fuente: http://www.ulma-c.com/3/Obras/196/Viaducto-de-Trapagar%C3%A1n,-Variante-Metropolitana-Sur,-Bilbao,-Espa%C3%B1a.aspx?PPR_Orden=2

Figura 5. Ubicación de formaletas laterales carro de avance

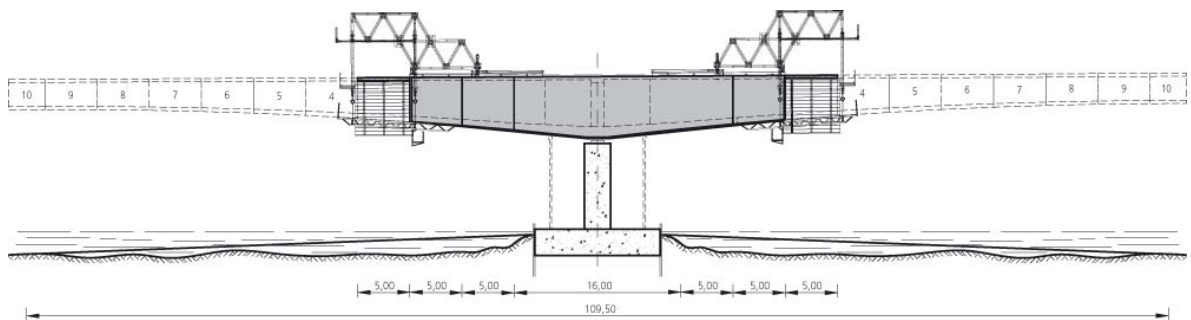


Fuente: Viaducto de Trapagarán, Variante Metropolitana Sur, Bilbao, España

La dovela de pila es usualmente construida en dos partes: la primera incluye la losa inferior y las bases de las almas; y la segunda, el resto de la sección transversal y las vigas transversales sobre la pila. Luego, un par de carros de avance se encargan de empezar a dar forma de “doble ménsula o T” (voladizo balanceado) al puente (ver Figura 6). Al principio de la construcción puede ser

necesario avanzar una o dos dovelas en una dirección con el carro antes de hacer lo mismo en la otra dirección para crear el espacio necesario para el montaje del segundo carro. Una vez montados los dos carros de avancela construcción progresará de forma prácticamente simétrica con respecto al eje de la pila.

Figura 6. Esquema avance por voladizos sucesivos hormigonado in situ utilizando carros de avance



Fuente:http://www.ulma-c.com/3/Obras/188/Puente-Koberny,-Autopista-D3-T%C3%A1bor-%E2%80%93-Vesel%C3%AD-nad-Lu%C5%BEnic,-Rep%C3%ABblica-Checa.aspx?PPR_Orden=2

1.2.3.2 Voladizos Sucesivos Por Dovelas Prefabricadas. El afán por industrializar la construcción es la causa directa de que se empezaran a utilizar los elementos prefabricados. Para el caso de los puentes en avance en voladizo, dicha idea se vio reflejada en el desarrollo y uso de las dovelas prefabricadas, las cuales se empezaron a utilizar tiempo después de que se hicieran las primeras construcciones de tableros hormigonados “In Situ”. La gran diferencia con los tableros hormigonados “In Situ”, es que las dovelas se prefabrican en una zona aledaña al puente, conocida como “fábrica” y se montan en obra, el resto es prácticamente igual.

Debido a que los costos en el uso de prefabricados son muchos más altos comparados al de un puente construido por hormigonado “In Situ”, este sistema constructivo es escogido para puentes muy largos, o para varios puentes, en los cuales se pueda amortizar las costosas instalaciones.

Pero si observamos la velocidad de ejecución de los puentes construidos por dovelas prefabricadas, se concluye que es mucho mayor comparado con un puente de tablero “In Situ”.

El sistema constructivo de dovelas prefabricadas consiste en la división del tablero en elementos obtenidos al cortarlo por planos perpendiculares a su eje, en el que cada elemento tiene la sección transversal completa del tablero. Los elementos con un peso habitualmente entre 50 y 100 Tm se prefabrican en las cercanías de la obra y se montan con distintos procedimientos.

La principal característica de éste método consiste en que en las juntas entre dovelas no se deja conexión de armadura pasiva, por lo que la continuidad del tablero se consigue únicamente mediante el pretensado, lográndose un montaje de elementos sencillo que permite una gran rapidez de montaje, que da lugar a algunos condicionantes característicos del sistema¹¹.

Las juntas que se han desarrollado para este sistema son en seco y con resina epoxi. Las juntas secas se caracterizan porque la transmisión del esfuerzo cortante entre las dovelas se realiza por el contacto directo entre los hormigones de los dos elementos, o por el dentado continuo dispuesto a lo largo de las almas y cabeza superior e inferior en función de los esfuerzos.

En el otro tipo de juntas, antes del montaje se extiende sobre una de las dos superficies que van a entrar en contacto una capa de resina (resina epoxi); antes de realizar el montaje de las dovelas, se coloca entre ambas un pretensado provisional que reparte la resina en toda la superficie. La resina utilizada, no debe ser considerada como un elemento que pueda resistir los esfuerzos de corte, su

¹¹ SARMIENTO GONZALEZ, Eduardo- Tesis: Actividades De Apoyo Técnico En La Construcción Del Puente Sobre El Rio Magdalena Entre Los Municipios De Barrancabermeja (Santander) Y Yondó (Antioquia). Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil- 2005

función es mejorar el contacto entre las dovelas y proporcionar impermeabilidad a la junta.

No se deben presentar diferencias geométricas entre las caras de dos dovelas adyacentes, esto con el fin de que se presente una adecuada transmisión de esfuerzos cortantes en los dos tipos de juntas. Para cumplir con esta condición, se busca que en la fabricación de cada dovela se utilice como encofrado de una de las caras la dovela que va a estar en contacto con ella, lo que se conoce como método de la dovela conjugada.

Cuando se utilizan juntas secas, el montaje de las dovelas es rápido, pero debido a que el pretensado exterior no se pone en carga hasta que la estructura esta completa, el tablero no es estable por si solo durante el montaje, haciéndose necesario sustentar las dovelas mediante una cimbra.

La construcción de viaductos mediante dovelas prefabricadas permite la industrialización de todos los procesos de fabricación y montaje, lo que proporciona unos rendimientos mucho mayores que la construcción "In Situ", redundando en la economía del tablero.

1.3 SISTEMAS DE IZADO Y SU APLICACIÓN EN PUENTES EXTRADOSADOS.

En el caso particular de puentes extradosados, tema central del presente documento, los sistemas de izado cuyas características, están más acordes con los requerimientos de un puente de esta tipología, son los dos primeros sistemas mencionados.

Levantar dovelas mediante un sistema de grúas, resulta práctico para un puente con sistema de tirantes, dado que la parte superior del tablero permanece libre,

puesto que las dovelas se izan desde un nivel inferior al tablero (a nivel de piso o sobre barcazas en presencia de agua), facilitando con ello, la instalación de los tirantes simultáneamente con las dovelas, incrementando la estabilidad durante la construcción. Una ventaja que se tiene respecto a los puentes de viga cajón al emplear este sistema, consiste en requerir grúas de menor capacidad de izaje, dado que, las dovelas de un puente con sistema de atirantamiento para una misma luz, suelen tener menor canto, y por tanto, menor peso que las empleadas en un puente de viga cajón; disminuyendo los costos de izado. Por tanto, y si es posible implementarse, resulta uno de los sistemas más recomendados para puentes con tirantes permanentes y en particular, para un puente extradadosos.

El sistema de izado mediante equipo móvil apoyado en el tablero, al igual que el sistema de grúas, la parte superior del tablero permanece libre, lo cual es esencial en la construcción de cualquier tipo de puente con sistema de atirantamiento. Su principal problema radica en el peso del equipo de izaje, el cual genera una carga adicional en los extremos del voladizo erigido generando problemas de estabilidad que deben ser considerados en el diseño; generalmente los tirantes mismos se encargan de contrarrestar estos inconvenientes. Cuando el obstáculo a salvar es el agua es más útil usar este sistema, dado que, la grúa es más precisa al no estar sometida a los continuos movimientos que se generan en una grúa apoyada sobre una barcaza.

El sistema de viga lanzada, tiene varios factores que dificultarían considerablemente su uso en puentes con sistema de tirantes permanentes (Puentes Extradadosos y atirantados) en general. La presencia de torres sobre las pilas, imposibilitarían el montaje y libre lanzamiento de la viga sobre el tablero del puente. El acople de los tirantes entre dovelas y torres, sería tortuoso y de lograrse, no podría realizarse simultáneamente con el montaje de las dovelas, generando problemas de estabilidad y retardando el proceso constructivo considerablemente. Un puente con sistema de tirantes, generalmente se concibe

para sortear grandes luces, por tanto, la viga que se necesitaría, tendría magnitudes exageradas, convirtiéndose en un elemento inmanejable, antifuncional y principalmente antieconómico.

1.3.1 Configuraciones Morfológicas Y Geométricas De Los Puentes Extradados

Esta tipología estructural, puede presentar diferentes configuraciones reflejadas en variaciones tales como el tipo de tablero, disposición de los cables extradados y geometría de las torres; adaptándose con ello a los diferentes requerimientos y necesidades de cada proyecto.

Su configuración geométrica, puede estar condicionada principalmente a características propias de la zona en la cual se construirá, como lo son la topografía y la geotecnia entre otras; así como también a disposiciones arquitectónicas de diseño y aspectos estéticos del mismo. A continuación se muestran algunas de las configuraciones más empleadas en puentes extradados construidos en lo que respecta a disposiciones del cableado extradado, tipos de torres y tableros planteadas por Marciolshii en 2006¹².

✓ Cables en puentes extradados.

El desarrollo de estos puentes cuya principal característica es la habilidad para usar un sistema de cables extradados, ha sido posible gracias al desarrollo del sistema de cables atirantados. Cabe decir que el desarrollo del sistema de cables extradados ha dependido principalmente de la evolución de las tecnologías de protección contra la corrosión. Existen varios tipos disponibles de torones con

¹² ISHII, Marcio. Sistemas estruturais de pontesextradorso: Arranjos básicos das pontesextradorso. São Paulo, 2006, 90 h. Tesis de maestría (Magíster en Ingeniería Civil). Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo. Departamento de Ingeniería de Estructuras y Geotecnia. Ingeniería de Estructuras. Disponible en biblioteca digital de tesis y disertaciones de la Universidad de Sao Paulo: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-08032007-170442/>

recubrimiento epóxico y torones galvanizados con recubrimiento de polietileno para alambres galvanizados con envoltura de polietileno. El método de instalación varía dependiendo si es torón por torón o el tipo de prefabricado usado.

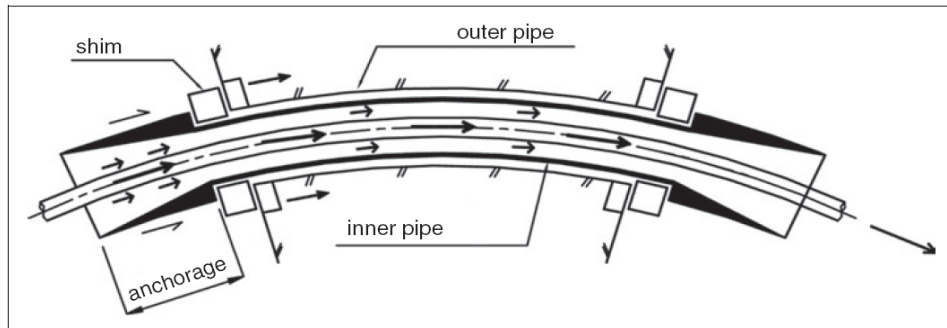
En el diseño de fatiga, es difícil evaluar la vibración de los tirantes debido al viento. Por esta razón, se suministraron amortiguadores para los cables extradados. Estos amortiguadores de alta disipación fueron desarrollados para el Puente de Odawara Blueway y 30 puentes extradados más incluyendo el Puente Tsukuhara, Puente del Río Ibi, Puente Shin-Meisei y el Puente Himi. Los amortiguadores de alta disipación en términos de economía y estética son adecuados para tirantes con longitudes hasta de 250m para obtener un decremento logarítmico de 0.03 contra vibraciones inducidas por lluvia. La ventaja de este amortiguador es que permite ajustar la constante elástica optimizada del resorte para seleccionar el número de amortiguadores de alta disipación.

✓ **Anclajes para cables extradados.**

Los cables propios de la sección y, en algunas ocasiones, los tirantes empleados en las torres (cuando no se emplea silla de anclaje, Ver Figura 7) suelen fijarse mediante anclajes convencionales, evitando los costosos y complejos anclajes de un puente atirantado convencional. Esto es posible, dado que, los tirantes en un puente extradado tienen una menor sollicitación y poca variación de esfuerzos, eliminando los problemas por fatiga.

Tradicionalmente en las torres, suelen emplearse sillas de anclaje, el es el caso de los puentes OdawaraBlueway y el Tsukuhara.

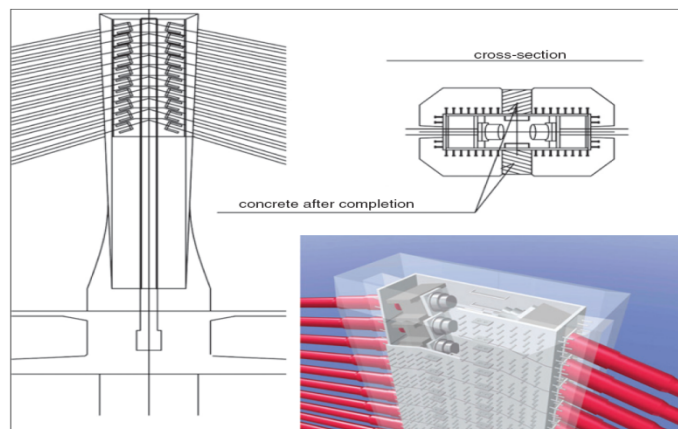
Figura 7. Silla de torre para anclaje de tirantes



Fuente A. Kasuga. Extradosed bridges in Japan. Pág. 97.

Desde una perspectiva de fácil mantenimiento, la caja de anclaje de acero en la torre es útil. Sin embargo es una estructura pesada, aunque no hay problema cuando ésta puede ser construida en una sola pieza empleando una grúa flotante, como se hizo en el Puente del Río Ibi. En la Figura 8 se aprecia una vista de la caja metálica y su ubicación en el Puente del Río Ibi. Cuando la caja debe construirse en tierra, donde grandes grúas no pueden ser usadas, es necesario separar la estructura en secciones de peso tal que se permita construirlas en tierra y posteriormente puedan ser llevadas y ensambladas en su posición final.

Figura 8. Composición del anclaje en la torre.



Fuente: A. Kasuga. Extradosed bridges in Japan. Pág. 99.

✓ **Tensionamiento de Cables**

Dependiendo a l momento ocurre, hay dos formas de tensionar los tendones.

La primera etapa se lleva a cabo durante la instalación de los tendones, por medio de un gato controlado por un “servo” el cual monitorea las fuerzas que se van a aplicar, las cuales han sido previamente calculadas por el ingeniero calculista, tomando en consideración la flexibilidad d la estructura.

La segunda etapa de tensionamiento ocurre después de que los elementos de concreto estén instalados en el “deck”. Esta etapa es basada en control de elongaciones iguales, sabiendo que cada cable en esta etapa tiene las mismas características geométricas durante las variaciones de tensionamiento.

La última etapa de tensionamiento de cables ocurre antes de terminar el trabajo, cuando las dos mitades del Puente se unen en el medio del vano. Este últimotensionamiento se realice utilizando un gato hidráulico para “monostrand” o para “multistrand” instalados dentro de los pilonos en la parte superior y son movidos de un lugar a otro. Los últimos valores de ajustamiento y ordenes de tensionamiento son dadas por el ingeniero calculista del puente.

Configuración de los Cables Extradosados

Estas configuraciones se establecen según la disposición de los tirantes tanto en el plano longitudinal como transversal.

✓ **Configuración longitudinal de los Cables Extradosados.**

Tipo abanico: Se caracteriza por que los cables están anclados a lo largo del tablero y fijos en la parte superior de la torre. La excentricidad de los cables se maximiza, aumentando su eficiencia.

Tipo harpa: Se caracteriza por la disposición paralela de los tirantes entre si y fijados uniformemente en la altura de la torre, lo cual disminuye la eficiencia de los cables más bajos al reducir la excentricidad de los mismos a medida que descienden paralelamente.

✓ **Configuración del Cableado Extradado transversalmente en el tablero.**

Los cables pueden disponerse en uno o múltiples planos de suspensión.

Sistema con suspensión central: Se caracteriza por la presencia de uno o más planos de cables extradados, distribuidos a lo largo del eje longitudinal del tablero. Capaz de resistir los momentos torsores generados por la asimetría en la distribución de las cargas en el plano transversal, lo cual se traduce en alturas mayores para la sección del tablero.

Sistema con suspensión múltiple: El sistema de suspensión se distribuye en dos o más planos anclados a las torres y a lo largo de los bordes del tablero en la mayoría de los casos. Estructuralmente, esta configuración genera una mayor rigidez transversal, reduciendo los efectos dinámicos en la estructura producto de la acción del viento y de eventos sísmicos. Adicionalmente y como producto de lo anterior, los esfuerzos por torsión se reducen, lo cual posibilita el empleo de secciones de tablero con menor altura¹³.

✓ **Tableros para puentes acomodados a futuras ampliaciones.**

A la hora de plantear soluciones para la estructura de un puente, es indispensable tener en cuenta variables tan importantes como lo es el incremento del tránsito vehicular con el paso del tiempo. Como solución a esta variable, tradicionalmente se recurre a elementos auxiliares paralelos al puente original.

¹³ Ibid

Esta solución tiene su principal inconveniente en los costos que implica, puesto que se hace necesaria la izado de elementos adicionales a la estructura original tales como vigas y pilas entre otros.

Como una alternativa a esta problemática, surge la idea de diseñar los tableros de un puente incluyendo en su fase de diseño la posibilidad de ser ampliados a medida que se incrementan los niveles de tránsito sobre el mismo. Según la concepción y tipología estructural del puente a construir se han planteado dos métodos:

✓ **Método SBWM en puentes extradosados contruidos con elementos prefabricados.**

Este método permite que un puente construido por segmentos con sección tipo cajón y concebido inicialmente con dos carriles, pueda ser ampliado fácilmente en cualquier momento a tres o cuatro carriles según la demanda vehicular.

Según Shushkewich, tanto el método SBWM es aplicable en la construcción de puentes segmentados con las siguientes características:

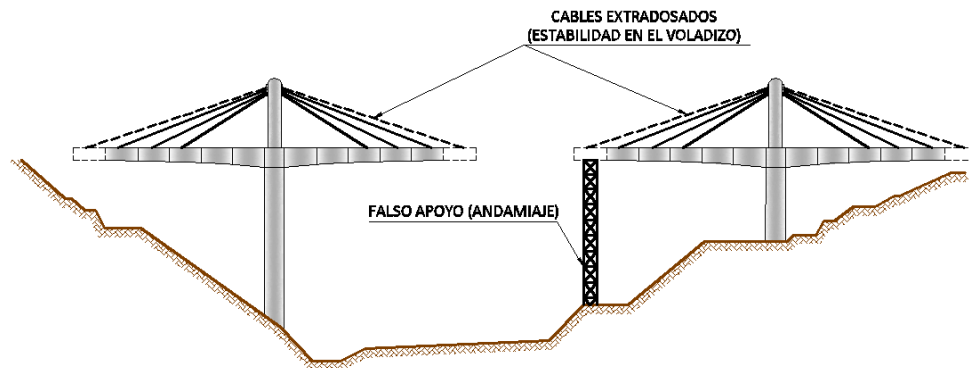
- Puentes de concreto con vigas pretensadas prefabricadas.
- Puentes prefabricados de altura constante de tablero contruidos por el método Luz a Luz.
- Puentes prefabricados de altura constante de tablero contruidos por el método de Voladizos Equilibrados.
- Puentes contruidos en sitio de altura constante de tablero contruidos por el método de Voladizos Equilibrados.
- Puentes extradosados contruidos mediante elementos prefabricados.

✓ **Cables extradados a la sección viga cajón como método de estabilización del los voladizos.**

Los voladizos sucesivos balanceados, tanto fundidos en sitio como por dovelas prefabricadas, constituyen un sistema de doble ménsula, el cual genera un equilibrio de momentos. No obstante, al momento de construir, aparecen esfuerzos adicionales que provienen de las imprecisiones de la construcción (diferencia de peso de una ménsula con respecto a la otra), cargas de obra, el viento y eventualmente incidentes que pueden surgir en el curso de la construcción, que desestabilizan el sistema.

Los cables de tirantes son la forma más efectiva de estabilizar los voladizos. En ocasiones se colocan falsos apoyos (andamiaje) para asegurar aún más el voladizo, pero ello dependerá de las características del obstáculo a superar.

Figura 9. Estabilidad mediante cables extradados a la sección viga cajón.

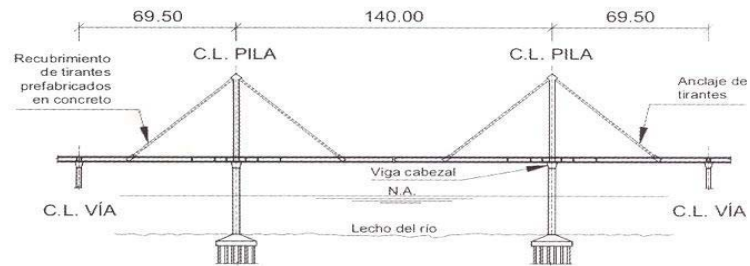


1.4 CONSTRUCCION DE PUENTES EN VOLADIZOS SUCESIVOS EN COLOMBIA

En Colombia, la primera utilización de voladizos sucesivos aparece con el puente sobre el río Magdalena en Barranquilla (Ver Figura 10), cuyo tramo principal

consiste en una luz central de 140 m con dos luces laterales de 69,50 m. Dicho puente fue puesto en servicio en el año 1974 y fue construido por un consorcio de firmas de Colombia e Italia.

Figura 10. Puente sobre el río Magdalena, Barranquilla.



Puente sobre el río Magdalena en Barranquilla



Puente en construcción sobre el río Magdalena en Barranquilla

Fuente: http://www.unicon.com.pe/down/puentes_concreto.pdf

En 1976 se construyó el puente sobre el río Juanambú, Pasto. Su estructura es un pórtico que presenta tres luces de 45, 90 y 45 m y dos pilas de 60 m, construida con el método de voladizos sucesivos¹⁴.

El puente del Comercio en la carretera Cali-Palmira con una luz central de 82 m y luces laterales de 41 m, es un puente simplemente apoyado. Fue una construcción sobre carros de avance y provisionalmente se usaron pilas auxiliares para la estabilización.

¹⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO – ICPC. Construcción de Puentes en Concreto, con el Sistema de Voladizos Sucesivos: Realizaciones en Colombia. En: El cemento y el concreto, banco de documentos. Edición 106. (mayo 2006). Disponible en: <<http://www.icpc.org.co/site/assets/attach/puentes.pdf>>

En 1983, el puente la Doctrina, sobre el río Sinú, en la carretera Lorica-San Bernardo, en el departamento del Córdoba, entró en funcionamiento. Caracterizado por una luz central de 83.60 m y luces laterales de 41.80 m, fue construido mediante carro de avance en voladizos sucesivos equilibrados, con tablero de cajón unicelular.

En el año de 1985 entro en funcionamiento el puente sobre el río Mutatá en la carretera Medellín-Turbo. Luz central de 76.5 m y luces laterales de 22.3 y 38.25 m. La luz menor utilizó un contrapeso que funciona como estribo del puente.

En la década de los 90, se destacan tres puentes importantes, el puente sobre el río Farallones (ver Figura 11), con luz principal de 142m y luz total de 230m, el puente de Plato y el puente Arturo (110 m de luz principal), todos construidos con método de voladizos sucesivos.

Figura 11. Puente sobre el río Farallones, Cundinamarca.



Fuente:<http://www.ingetec.com.co/brochures/BROCHURE-PUENTES-ESP.pdf>

En el año de 1998, el puente atirantado del viaducto Pereira y Dos Quebradas entra en funcionamiento, siendo en ese año el veinteavo puente más largo de los puentes atirantados del mundo. La estructura principal del puente tiene 440 m, una luz central de 211 m y dos luces laterales de 31.3 m y 83.25 m. Este puente atirantado tiene 72 cables conectados a dos torres principales y sus cables tienen una longitud que varía entre 32 y 112 m de acero de alta resistencia y baja

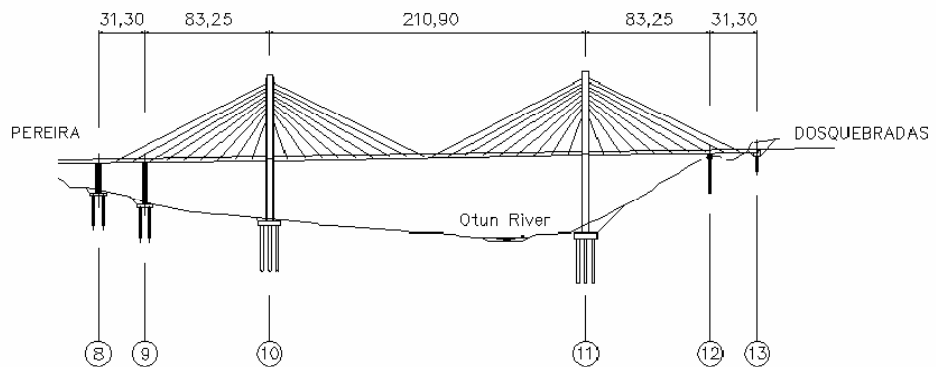
relajación. Este puente fue erigido mediante el método de voladizos sucesivos balanceados¹⁵.

Figura 12. Puente del viaducto Pereira-Dos Quebradas, Risaralda



Fuente: <http://www.deverano.net/wp-content/uploads/2011/05/Viaducto-Cesar-Gaviria-Trujillo-en-Pereira-Risaralda-Colombia.jpg>

Figura 13. Puente del viaducto Pereira-Dos Quebradas, Risaralda. Vista longitudinal del puente.



Fuente: <http://www.integral.com.co/espanol/internas/experiencia/premios.html>

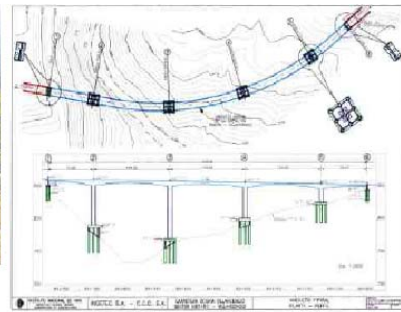
¹⁵ **GALÍNDEZ, N.** Implementation of a Modal Identification Methodology on The Pereira - Dos Quebradas Cable-Stayed Bridge. *En: 16th ASCE Engineering Mechanics Conference.* (Julio, 2008: University of Washington, Seattle). Disponible en: www.ce.washington.edu/em03/proceedings/papers/639.pdf

A mediados del año 2002, entraron en servicio dos puentes importantes para la estructura vial entre Bogotá- Villavicencio. Estos son el puente de Sevitá con luz central de 156 m y luces laterales de 28 m; y el puente del viaducto Pipiral conformado por siete luces, dos de 22.5 m, dos de 62.5 m y tres de 125 m, soportadas por dos estribos y seis pilas que varían entre 15 m y 82 m de altura¹⁶.

Figura 14. Puente del Viaducto Pipiral, autopista Bogotá-Villavicencio.



(1) Puente Pipiral en Servicio



(2) Planta y perfil longitudinal del puente.



(3) Construcción del puente con dovelas fundidas en sitio



(4) Construcción de una pila.

Fuente: <http://www.ingetec.com.co/brochures/BROCHURE-PUENTES-ESP.pdf>

¹⁶ **INGETEC S.A.** Puentes y Viaductos. En: Folletos INGETEC .Disponible en: <http://www.ingetec.com.co/folletos/folletos.htm>

Figura 15. Puente de Sevitá, Autopista Bogotá-Villavicencio.



Fuente: <http://www.ingetec.com.co/brochures/BROCHURE-PUENTES-ESP.pdf>

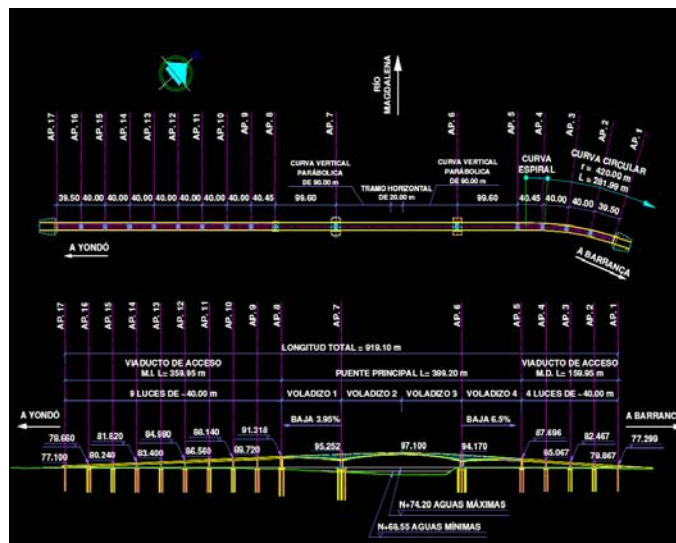
Los dos puentes sobre el río Cauca, ubicados en el Paso de la Torre, parte de la concesión “Malla Vial del Valle del Cauca y Cauca”, son puentes paralelos de luz central de 100 m y longitud total de 200 m, junto con otros dos puentes en el Paso del Comercio, autopista Cali-Palmira, uno con una luz central de 116 m y 181 m de longitud y el otro de 91 m de luz central y 166 m de longitud total, son algunos puentes ejemplos de esta parte de Colombia construidos mediante el método de voladizos sucesivos. (Valle del Cauca).

Por otro lado, en la carretera Ibagué-Cajamarca, se construyeron los puentes La Salada y La Cerrejosa, curvos en su longitud y luces centrales de hasta 92 m.

En febrero de 2006 se terminó la construcción del puente Guillermo Gaviria Correa, muestra insignia de Colombia, sobre el río Magdalena, entre Barrancabermeja y Yondó en el sitio llamado Estrecho Galán. El puente, con una longitud total de 917 m y una longitud central de 200 m, es el puente de mayor luz en Colombia con la tipología de puentes viga cajón. Los viaductos de acceso en las márgenes de Barrancabermeja y Yondó están construidos por luces de 40 m conformadas por 3 vigas postensadas y una placa, las cuales se soportan en columnas apoyadas sobre fundaciones construidas sobre pilotes preexcavados.

La superestructura fue construida mediante el método de voladizos sucesivos, usando carros de avance para la fundición en sitio

Figura 16. Puente de Barranca-Yondó sobre el Río Magdalena sobre el Estrecho Galán.



Fuente: <http://www.escuelaing.edu.co>

En 2006 también se dio por terminada la construcción del puente sobre el río Sinú (ver Figura 17), en Montería. Fue pensado para solucionar los graves problemas de tráfico y unir dos vías nacionales como son Montería - Cereté con Montería -

Planeta Rica. Fue fundido mediante dovelas in situ y se caracteriza por tener una luz central de 150 m y dos luces laterales de 74 m¹⁷.

Figura 17. Puente sobre el río Sinú, Montería.



Fuente:<http://www.conconcreto.com/Default.aspx?tabid=58&idProyecto=8>

En junio de 2008 se dio por terminada el puente del viaducto La Estampilla, entre las poblaciones de Pereira y Manizales (ver Figura 18). Son dos viaductos que fueron proyectados para evadir la acción del legendario derrumbe de La Estampilla que ocasionó en la carretera infinidad de deslizamientos en épocas de lluvia. Los dos viaductos son curvos a desnivel entre ellos con dos luces centrales de 80 m y dos luces laterales de 45 m, sumando una longitud total de 250 m. La construcción fue realizada mediante dovelas fundidas in situ usando carros de avance a ambos lados del voladizo¹⁸.

¹⁷ **CONCRETO S.A.** Puente sobre el río Sinú [en línea]

<http://www.conconcreto.com/Default.aspx?tabid=58&idProyecto=8>

¹⁸ **CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS.** Viaductos La Estampilla, ganaron el Premio Nacional de Ingeniería 2009. En: Comercial .Disponible en:

<http://www.calymayor.com.mx/comercial/archivos/Viaductos%20La%20Estampilla%20R.pdf>

Figura 18. Viaducto La Estampilla. Carretera Pereira-Manizales



Fuente:

<http://www.calymayor.com.mx/comercial/archivos/Viaductos%20La%20Estampilla%20R.pdf>

Hay que también nombrar el puente sobre el brazo de Mompox de una longitud de 500 m y luz central de 130 m y el puente sobre el río Carare con una longitud de 300 m y una luz central de 150 m, como estructuras construidas bajo el sistema de voladizos sucesivos fundidos en sitio terminadas en esta década.

1.4.1 Construcción De Puentes Extradados En Colombia Mediante Voladizos Sucesivos Balanceados.

No es común ver en Colombia puentes con sistemas de soporte de cables, y esto se debe a la idea que tenemos sobre los altos costos de este tipo de puentes; conseguir mano de obra calificada y equipos apropiados es de por sí un inconveniente. No obstante, los puentes son importantísimos en la infraestructura vial de cualquier país, por esto es necesario tener puentes seguros, confiables, de alta calidad y con buena estética. La idea de construir puentes con sistemas de soporte mediante cables y en particular puentes extradados es factible como la

solución para conectar grandes distancias entre las grandes montañas y extensos ríos que tiene Colombia, así obtendremos estructuras que sean confiables, duraderas y de costos relativamente bajos en comparación con los clásicos puentes atirantados.

Los métodos constructivos convencionales que se utilizan en los puentes atirantados y viga cajón son óptimos para el desarrollo de los puentes extradados. Constituyéndose el método de voladizos sucesivos balanceados como el más recomendado, por sus ventajas constructivas y de operación en grandes proyectos, siendo a su vez, el método con el cual se han construido la gran mayoría de puentes extradados en el mundo.

La historia de nuestros puentes, vista anteriormente, lleva a pensar que la construcción mediante el método de voladizos sucesivos de puentes extradados es una posibilidad real en el entorno colombiano actual, dado que existe un número considerable de puentes de tipologías similares, principalmente los puentes viga cajón, semiatirantado como en el caso del puente Pumarejo y atirantado como el puente del viaducto Pereira-Dos Quebradas.

Se implementan puentes con sistema de soporte por cables y en particular puentes extradados cuando se tienen grandes luces por salvar, en donde los puentes típicos de voladizos con sección viga cajón no se hacen tan útiles y presentan grandes inconvenientes, tales como el aumento considerable en los momentos debidos al peso propio, aumento de la tensiones de compresión en la losa inferior y multiplicación en los cables preesforzados de los voladizos. En el puente extradado, la presencia de tirantes, disminuye el nivel de sollicitación del tablero, reduciendo los cables requeridos al interior del mismo y permitiendo el empleo de secciones con menor altura, reduciendo significativamente el peso de la superestructura.

En Colombia se ha pensado que concebir puentes con sistema de tirantes (extradosado particularmente) implica costos muy elevados. Por tanto, cuando se trata de proyectos de gran magnitud suele recurrirse a tipologías tradicionales (puentes pretensados de viga cajón), o en caso contrario se acude a los servicios de empresas extranjeras, quitándole la posibilidad a la industria colombiana de ejecutar proyectos de estas envergaduras. Es esta la razón por la cual se realizó el estudio económico de un puente extradosado con una configuración determinada lo que arrojó un resultado económicamente favorable.

Principales elementos usados en la construcción en sitio de puentes extradosados orientados a Colombia.

✓ Carro de avance.

El elemento principal de la construcción en sitio es el carro de avance o formaleta deslizante. Tratándose de las formaletas que lo conforman, es indispensable llegar a conseguir el equilibrio entre economía y peso de los encofrados. En Colombia, como el factor económico es preponderante, traer estas tecnologías del exterior implicaría incurrir en costos muy elevados. La madera es un material económico que podría ser usado efectivamente en nuestro país, para los encofrados laterales y superiores, combinado con el acero, tomando las precauciones necesarias en peso y control geométrico; no obstante, el acero es el material recomendado. Las formaletas de la cara delantera de la dovela deben ser ajustables, dado que los cables y anclajes pueden variar en número y posición de una cara de dovela a otra.

El emplear secciones de menor canto en puentes extradosados, constituye una ventaja con respecto a los puentes pretensados típicos de viga cajón, dado que se reduce el peso de las secciones del tablero a fundir y por tanto, reduce también el peso del carro, el cual es aproximadamente entre 1/3 y 2/3 el peso de la dovela más pesada, simplificando su diseño.

El montaje de los carros se realiza teniendo en cuenta la capacidad de carga de los equipos de izaje (grúas) existentes en relación al peso de los elementos que constituyen el carro. Para ello, se realiza el premontaje en módulos o conjuntos a nivel de suelo para subirlos lo más completos posibles a su posición definitiva. Tanto el montaje como el desmontaje de los carros son operaciones muy complejas y deben planificarse con especial atención. En puentes extradados, el hecho de tener carros de avance más livianos, implica equipos de izaje de menor capacidad y por ende, de menor costo.

Algunas empresas extranjeras como DOKA, están dedicadas a la distribución y montaje de todo tipo de formaletas metálicas y carros de avance de la mayor tecnología en el mercado mundial. Los distribuidores más cercanos a nuestro país están en Panamá. Aunque en el sector colombiano podríamos nombrar a LAMINARED, empresa dedicada a la fabricación de todo tipo de encofrados metálicos, y STUP LATINOAMERICA, empresa que se especializa en el diseño de estructuras en Concreto Preesforzado y el suministro e instalación de cables postensados, Tensionamiento, juntas para puentes, Apoyos de Neopreno, Apoyos Pot, Formaletas, Carros de avances, Vigas Cimbra y Lanzadoras para las obras.

✓ **Sistema de cableado interno y extradado.**

Al hablar de los cables (cables de ménsula, continuidad y externos al canto de la sección o tirantes), su cantidad, dimensiones y distribución, están dados por los criterios de diseño empleados, dirigidos a simplificar al máximo los procesos constructivos en obra. Las diferentes tecnologías para las aplicaciones del preesfuerzo en los cables, ya sea en puentes de viga cajón o puentes extradados construidos por el método de voladizos sucesivos balanceados, están estrictamente establecidas, por las empresas proveedoras según la modalidad empleada (pretensado o postensado).

Los cables de preesforzado propios de la sección del tablero (cables de ménsula y continuidad) en puentes extradados, al igual que en puentes pretensados de viga cajón, son generalmente cables de torones (StrandRope o Seven-wire) o barras, pero se suele tomar los cables de torones conforme a la ASTM A 416 (AASHTO M203). La diferencia radica en que el tablero de un puente extradado, al estar sometido a una menor sollicitación, requerirá un menor número de cables. Los tamaños de estos torones van desde 3/8" a 0.6" de diámetro. El uso de 0.6 pulgadas de diámetro es esencial para tomar el máximo provecho para el concreto de alta resistencia.

Los costos que implica emplear puentes con sistema de tirantes, suele ser el principal motivo por el cual, no suelen implementarse en Colombia puentes con estas tipologías. En puentes atirantados especialmente, los tirantes suelen estar sometidos a fenómenos de fatiga, y por tanto, se requieren cables de alta resistencia y por ende, de alto costo (Cables con torones paralelos generalmente "Paralell-WireStrand"); en el caso de los puentes extradados, se asume un esfuerzo admisible de $0.6f_{pu}$ para los cables extradados porque la variación en los esfuerzos es baja (menor a 50N/mm^2), eliminando virtualmente los problemas de fatiga, lo cual permite emplear como tirantes, los cables típicos (Cable de torones tradicionales "StrandRope o Seven-wire") protegidos acordemente contra la corrosión. Estos cables resultan muy económicos en comparación con los empleados en un puente atirantado tradicional.

Esta característica, debe jugar un rol primordial, al momento de presupuestarse las diferentes alternativas de puentes cuando se trata de dar solución a obstáculos de gran distancia, confiriéndole ventajas económicas, estructurales y estéticas al puente extradado con respecto a la opción tradicional en el medio colombiano (puentes pretensados de viga cajón).

Internacionalmente las empresas con mayor reconocimiento en suministro de cables y sistemas de preesforzado son VSL (Post-Tensioning & Reinforcement Systems) y DYWIDAG Sistemas Constructivos S.A (DSI), las cuales están especializadas en cables de acero y otros materiales, pretensados y postensados para puentes y otras estructuras. En Colombia no existen empresas que estén lo suficientemente desarrolladas y capacitadas en las tecnologías y normas de diseño para la elaboración y suministro de estos productos, por lo que se hace necesario recurrir a empresas extranjeras idóneas. Se requiere buscar de proveedores establecidos en nuestro país. VSL tiene su proveedor, el cual es la empresa TENSAR LTDA, establecida en Bogotá; y la representante de DYWIDAG es la empresa SISTEMAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION LTDA, con oficinas también en la ciudad de Bogotá.

✓ **Sistema de Anclaje.**

Los anclajes de un puente extradadoso, constituyen su principal característica y ventaja con respecto a un puente atirantado convencional. El hecho de controlarse los problemas de fatiga en el diseño, disminuye el nivel de sollicitación de los cables y por consiguiente, la concentración de esfuerzos en los anclajes. Esta particularidad permite anclajes convencionales, evitando los costosos y complejos anclajes de un puente atirantado convencional.

Normalmente en la torre puede establecerse el sistema de anclaje, mediante una caja metálica (acero recomendablemente), a la cual llegan los diferentes cables extradadosos empleados. Sin embargo es una estructura pesada, aunque no hay problema cuando ésta puede ser construida en una sola pieza empleando una grúa con la capacidad suficiente para realizar su respectivo izaje. Cuando la caja debe construirse sobre tierra, en zonas donde grandes grúas no pueden ser usadas, es necesario separar la estructura en secciones de peso tal que permita construirlas en tierra y posteriormente ser llevados y ensamblados hasta su

posición final. Por tanto, su diseño debe estar acorde a la capacidad de levantamiento de los equipos con los que se disponga.

Los sistemas y técnicas de anclaje, generalmente son establecidos por los proveedores de cables, según el tipo de cable empleado y las disposiciones propias de cada diseño. Algunos de los proveedores más reconocidos en la construcción de puentes de grandes magnitudes y en particular puentes extradosados, se mencionaron en el numeral inmediatamente anterior.

1.5 DIMENSIONAMIENTO

El concepto básico que soporta toda nuestra propuesta para el puente se basó en escoger una configuración y geometría estándar utilizada en los puentes con pretensado extradosado en el mundo para así determinar el costo real y que tan viable es ejecutar este tipo de puentes en Colombia.

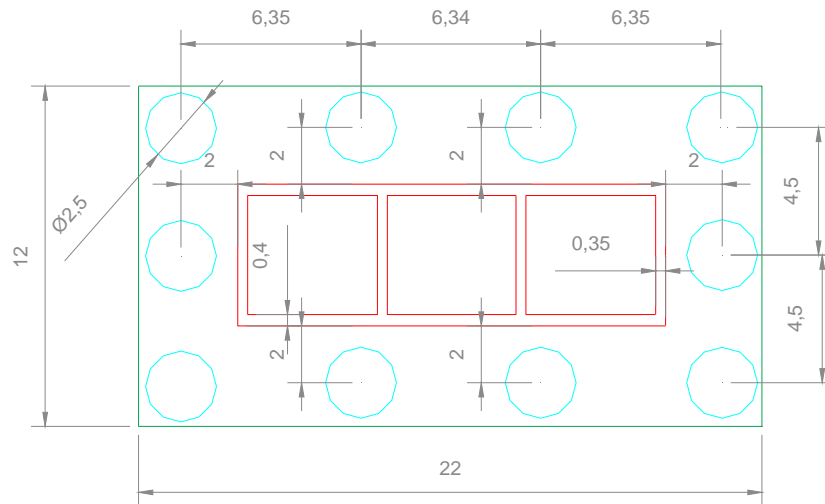
Se determinó que el puente consistente en una estructura de hormigón pretensado, con atirantamiento mediante pretensado extradosado, de tres vanos de longitud total de 220 m, divididos de la siguiente manera: Una luz principal de 100 m de longitud que se construirá con el sistema de voladizos sucesivos y dos viaductos de acceso, de 60 m de longitud cada uno.

En cada apoyo se construirá sobre los pilotes un dado de fundación que servirá de soporte a las columnas rectangulares huecas de 37.5 mts de altura de sección de 15.1x5.0m y que servirán de apoyo a la estructura de voladizos sucesivos.

El dado de fundación tiene 12 m de ancho, 22m de largo y 4 m de alto, cada uno con 10 pilotes de 30m de profundidad y 2.5 m de diámetro (figura19). Será necesario utilizar camisas metálicas pérdidas para la excavación y hormigonado

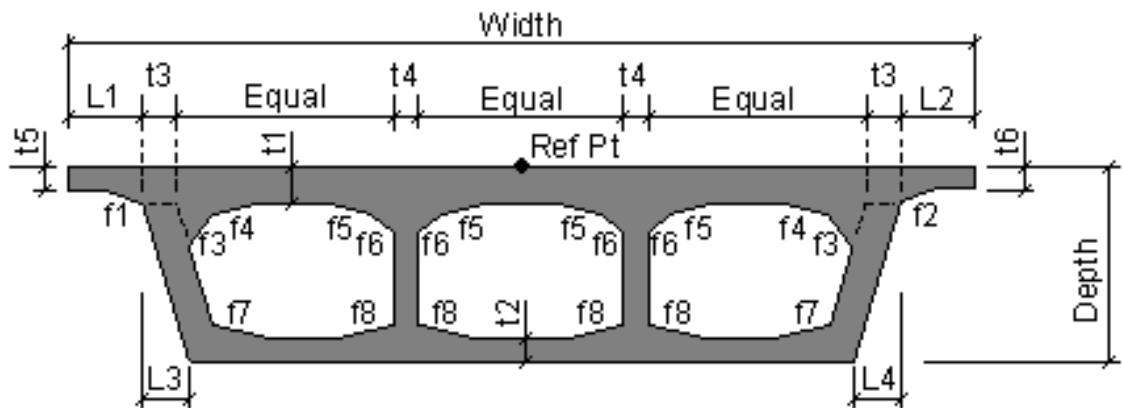
de los pilotes, esto es considerado dentro del proceso constructivo y el análisis de precios unitarios por si en algún momento el puente debiera ser construido en zonas donde se encuentre agua.

Figura 19. Dimensionamiento dado de fundación y pilotes.



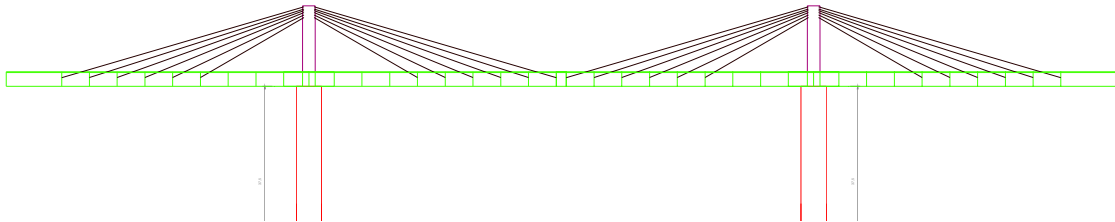
La sección transversal de las dovelas están configuradas de la siguiente manera: Un tablero de sección viga cajón de 14.3m de ancho que tendrá una calzada de dos carriles y un canto de 2.9m (figura20).

Figura 20. Dimensionamiento Dovelas



El tablero se atiranta mediante 4 familias de cables de pretensado de tecnología específica para puentes con atirantamiento mediante pretensado extradadoso desde ambos lados de los dos pilonos de forma rectangular de 2.5mX1.5m de sección transversal y 10m de alto empotrados a la dovela cero (figura 21).

Figura 21. Distribución cables extradadosos



Los tendones de 12 torones de 0.60" que forman el tirante disponen de anclajes activos a ambos lados de cada pylon, y pasan a través de desviadores de acero por lo alto de las pilas. Asimismo se dispone en las dovelas principales del tablero dos familias de pretensado interior, denominada una "isostático o de voladizo" y la otra "hiperestática o de continuidad", formadas por tendones de 12 torones de 0.60".

Cabe aclarar que estos datos fueron tomados de estudios de tesis realizadas anteriormente donde se realizó el respectivo diseño y análisis estructural y de las cuales se realizó el cálculo de las cantidades de obra que se observan en el **ANEXO D**¹⁹.

¹⁹ **PEÑA BARRERA**, Jhon Alexander – **VARGAS AREVALO**, Andres Leonardo. – "Evaluación Del Comportamiento Estructural Al Modificar La Altura Del Pylon En Un Puente Extradadoso De Luz Central Igual 100 m". Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil- 2011

1.6 MATERIALES

Normalmente al aplicar esta técnica, se emplean hormigones y aceros de alta resistencia, dada la magnitud de los esfuerzos inducidos.

Según se ha indicado el pretensado se puede lograr de dos maneras: pretensado con armaduras pretensas y pretensado postensado.

En la construcción de puentes se tienen en cuenta una serie de materiales indispensables, entre las más importantes están el hormigón, la piedra, acero, madera y combinación entre algunos de ellos. Los materiales más empleados para estos tipos de obra y principalmente para la construcción de puentes por voladizos sucesivos, es la composición de acero y concreto, llamado comúnmente concreto reforzado, para el soporte de esfuerzos a tracción se dispondrán de barras de acero pretensado y postensado.

1.6.1 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.

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.

Se denomina hormigón o concreto pretensado a un hormigón al que, antes de la puesta en servicio, se le introducen refuerzos de compresión mediante cables o alambres de acero previamente tensados. Generalmente el preesfuerzo se induce por medio de torones de acero de alta resistencia, los cuales se tensan y a continuación se anclan. Los torones deben ser capaces de pre comprimir el hormigón en base a la adherencia de los mismos con el hormigón, como ocurre en el hormigón pretensado. También se pueden dejar intencionadamente conductos con un perfil predeterminado dentro del elemento para luego pasar cables de acero por los mismos, y posteriormente aplicarles la fuerza de pretensado mediante gatos hidráulicos. Por último, se deben anclar los torones en los extremos. Este procedimiento se conoce como hormigón postensado. Normalmente al aplicar esta técnica, se emplea hormigón y acero de altas resistencias para resistir los enormes esfuerzos inducidos.

El principio es el mismo que el aplicado en el hormigón postensado. Se trata de lograr que las tracciones que producirían las cargas de servicio se reduzcan a una disminución de la compresión ya existente en el material, pero se diferencia de aquel en que los cables o alambres son tensados antes del vertido del hormigón fresco.

Por esta razón es un método constructivo que suele reservarse a piezas prefabricadas en instalaciones industriales, tales como columnas, vigas, viguetas, pequeñas losas, etcétera.

1.6.2 Acero

Los aceros para pretensado y postensado ya sean en alambres o cordones, son utilizados en la construcción para dar mayor resistencia y flexibilidad a las estructuras.

Como su propio nombre indica, el sistema de pretensado ejerce la tensión a los aceros antes del hormigonado de la pieza, mientras que la técnica de postensado aplica las tensiones al acero después de hormigonar la estructura.

Donde es más claro el beneficio del pretensado y postensado es en el comportamiento de las estructuras es en los puentes atirantados o suspendidos; donde la implantación de dichas técnicas ha permitido el alargamiento, estilización y embellecimiento de dichos elementos.

Con esa misma idea se aplica el pretensado en la fijación de terrenos cuando se pretende mejorar la carga de tracción del mismo.

El pretensado consiste en aplicar la tensión a los alambres o cordones de una estructura, antes de que ésta sea hormigonada y puesta en servicio.

Esta técnica es la que se suele llevar a cabo en la construcción de las pequeñas estructuras como postes para líneas, viguetas, o traviesas de ferrocarriles.

Para esta técnica se utilizan alambres en distintos diámetros y resistencias de rotura, y si fuera necesario distintas profundidades de huella.

En el caso de los cordones de pretensados de dos, tres y siete alambres también se pueden suministrar bajo las exigencias requeridas por nuestros clientes tanto en diámetros como en resistencias a la rotura.

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.

1.6.3 Presfuerzo

El preesfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia. Los principios y técnicas del preesforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural.

El concepto original del concreto preesforzado consistió en introducir en vigas suficiente pre compresión axial para que se eliminaran todos los esfuerzos de tensión que actuarán en el concreto. Con la práctica y el avance en conocimiento, se ha visto que esta idea es innecesariamente restrictiva, pues pueden permitirse esfuerzos de tensión en el concreto y un cierto ancho de grietas.

2. ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION

El factor económico es uno de los más importantes aspectos a tener en cuenta a la hora de ejecutar un proyecto, es por eso que se hace necesario para cumplir con los objetivos del presente trabajo, realizar un análisis de costos que lleven a obtener un dato aproximado de cuánto costaría construir un puente con las características anteriormente descritas en Colombia y compararlo con el costo de un puente de características similares.

Para esto se tuvieron en cuenta varios parámetros fundamentales:

- I. El proceso constructivo será por el método de voladizos sucesivos balanceados “in situ”.
- II. No se tendrá en cuenta los costos de transporte ya que estos dependen del lugar donde se vaya a construir el puente y el tipo de terreno.
- III. Se consideraran solo costos directos.
- IV. Los precios que se utilizaron para realizar el análisis de precios unitarios y el presupuesto son los respectivos al año 2011, los cuales fueron suministrados mediante cotizaciones realizadas a los diferentes proveedores y listas de precios de proyectos realizados en el año en ciudades como Cúcuta y Bucaramanga.
- V. El dimensionamiento y las cantidades de obra del puente en estudio fueron tomados del análisis estructural.

El presupuesto constituye la herramienta esencial a través de la cual se puede planificar los gastos necesarios para permitir la construcción de las obras. En él, se materializan los estudios y diseños realizados desde el punto de vista económico. El proceso comienza con la determinación de cada una de las actividades que se pueden presentar en la construcción del paso elevado. Estas

actividades se reorganizan en diferentes grupos o directrices congruentes a las cuales se les denomina capítulos. En la Tabla 1 se pueden encontrar los diferentes capítulos que con sus correspondientes actividades de obras hacen parte del presente estudio.

Tabla 1. Actividades del Presupuesto de Obra

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD
1.1	Excavaciones varias sin clasificar	m3
1.2	Rellenos de estructura	m3
1.3	Pilotes de concreto in situ de d=2,5m	ml
1.4	Camisa permanente de diámetro exterior 2.6m	ml
1.5	Concreto clase A, para viga cajón en voladizos sucesivos	m3
1.6	Concreto Clase C	m3
1.7	Concreto Clase F	m3
1.8	Acero de refuerzo $F_y=420$ Mpa.	Kg
1.9	Acero de preesfuerzo	Kg
2.0	Cable Extradado	Kg

2.1 CANTIDADES DE OBRA

Para cada una de las actividades de obra se presentan las respectivas cantidades de obra, las cuales se muestran en el **ANEXO D**²⁰.

2.2 PRESUPUESTO

Con base en las cantidades previamente calculadas, las cotizaciones realizadas a los distintos proveedores (**Ver ANEXO G**) y con los Análisis de Precios Unitarios

²⁰ Ibid

actualizados al año 2011 (**Ver ANEXO E**), se procede a calcular el presupuesto del puente con pretensado extradadoso tal como se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Presupuesto construcción puente extradadoso en Colombia

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VR. UNITARIO	CANTIDAD	VR. TOTAL
1.1	Excavaciones varias sin clasificar	m3	\$ 3,502	3,300	\$ 11,556,600
1.2	Rellenos de estructura	m3	\$ 50,868	250	\$ 12,717,000
1.3	Pilotes de concreto in situ de d=2,5m	ml	\$ 3,348,031	600	\$2,008,818,600
1.4	Camisa permanente de diámetro exterior 2.6m	ml	\$ 1,783,230	600	\$ 1,069,938,000
1.5	Concreto clase A, para viga cajón en voladizos sucesivos	m3	\$ 1,295,306	1,604	\$ 2,077,670,824
1.6	Concreto Clase C	m3	\$ 855,572	3,472	\$ 2,970,545,984
1.7	Concreto Clase F	m3	\$ 261,348	791	\$ 206,595,594
1.8	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa.	Kg	\$ 4,031	440,000	\$ 1,773,624,992
1.9	Acero de preesfuerzo	Kg	\$ 22,266	41.190	\$ 917.144.549
2.0	Cable Extradadoso	Kg	\$ 35,876	23.312	\$ 836.340.336

VALOR TOTAL	\$ 11.884.952.479,00
--------------------	-----------------------------

2.3 PROGRAMACION

Para establecer la duración aproximada de las labores de construcción del Puente, se muestra en el **ANEXO F** el cronograma de ejecución de obra, el cual se elaboró en el programa Microsoft Project. Esto con el fin de justificar los gastos estipulados en el análisis de precios unitarios y en el presupuesto.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

En el desarrollo de este trabajo, se estudiaron los distintos métodos de construcción para puentes y las características propias de cada método. Los voladizos sucesivos balanceados, son por hoy el método más usado en puentes con pretensado extradadosado, principalmente por su ventaja de estabilización, fácil adaptación y ajuste a las características propias de puentes con esta tipología y rápida construcción.

La implementación de los otros métodos de construcción de puentes con pretensado extradadosado se ve limitada debido a múltiples factores que son característicos de los mismos y resultan incompatibles para este tipo de puentes.

Algunos de estos factores se mencionan a continuación para los métodos de construcción luz a luz y el método de construcción de lanzamiento por incrementos

Desventajas del método luz a luz en puentes extradadosados.

- ✓ Este método constructivo es para puentes menores de 50 m, lo que haría que el puente extradadosado tuviera altura de tableros y torres demasiados pequeñas. Además, el método de luz a luz es propio para puentes de luces cortas, lo que lo hace ineficiente para un puente extradadosado. Si se construyeran puentes de mayores luces con este método se dificultaría la maniobrabilidad y existirían problemas con las deflexiones.

- ✓ En cuestiones económicas, se requieren grandes medios de transporte y montaje con sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra, los cuales implican un costo elevado. Aunque la presencia de agua, como en el

caso de ríos, mares y lagos puede facilitar las operaciones de transporte y posterior montaje.

- ✓ Las uniones entre elementos o entre éstos y demás partes de la estructura pueden resultar muy complicadas, en especial si se trata de estructuras hiperestáticas.
- ✓ Los costos en general con relación a la fundición en sitio, suelen ser más elevados debido a la necesidad de contar con una o más plantas de prefabricación, el uso de grandes grúas, vehículos de transporte de alta capacidad y demás según las condiciones de cada proyecto. Por tanto se recomienda implementar elementos prefabricados para puentes que cubran grandes longitudes, en donde el número de secciones a prefabricar sea considerable
- ✓ El transporte de estos elementos con salientes de grandes dimensiones resulta más engorroso.
- ✓ Es necesaria una evolución de la tecnología del pretensado; o bien por un mejoramiento de la técnica de inyección y de las condiciones del control de calidad que permite la eliminación de inyecciones defectuosas o por el desarrollo de sistemas de pretensado en que cada alambre es independiente, eliminando la rotura brusca del tensor.

Desventajas del método de lanzamiento por incrementos en puentes extradados.

- ✓ La presencia de las torres en el tablero impide el empuje del tablero de un puente extradado, especialmente cuando se tienen torres con mástil único, las torres y cables no tendrían ninguna funcionalidad constructiva ya que el puente es empujado desde los extremos del obstáculo a superar, además este

método se utiliza para luces menores a 100 m, y requiere de luces de altura o canto constantes lo que haría q el puente extradado resultara muy pesado y poco económico

- ✓ Se requieren grandes medios de transporte y montaje con sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra, los cuales implican un costo elevado. Aunque la presencia de agua, como en el caso de ríos, mares y lagos puede facilitar las operaciones de transporte y posterior montaje.
- ✓ Las uniones entre elementos o entre éstos y demás partes de la estructura pueden resultar muy complicadas, en especial si se trata de estructuras hiperestáticas.

Ventajas y desventajas de la construcción por el método de voladizos sucesivos balanceados

Ventajas

- ✓ 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 diarios.

Desventajas

- ✓ Las principales desventajas son el tiempo que requiere para el diseño, construcción, montaje y realización de pruebas de la viga lanzable.

Ventajas y desventajas de la construcción con dovelas prefabricadas

El empleo de elementos prefabricados trae consigo diversas y considerables ventajas con respecto a la fundición en sitio tales como:

- ✓ El concreto alcanza un alto porcentaje de contracción antes del ensamble de las dovelas, lo cual se refleja en un menor acortamiento del tablero, permitiendo a su vez, disponer de juntas de expansión mas separadas y poner longitudes más largas de tablero.
- ✓ Los esfuerzos térmicos tempranos son virtualmente eliminados en la fase de prefabricación, dando como resultando dovelas libres de grietas.
- ✓ Los segmentos (dovelas) se fabrican en un lugar distinto del puente, permitiendo fabricar simultáneamente su fabricación con la construcción de otros elementos del puente como cimentaciones, pilas, estribos, torres entre otros, con su consiguiente reducción en el tiempo de ejecución de la obra.
- ✓ Se puede disponer de mayor espacio de fabricación, pues incluso se pueden utilizar varias plantas de prefabricación, ventaja especial si en la obra el espacio es reducido.
- ✓ Se utilizan concretos de mayor resistencia y de mejores prestaciones, lo cual permite disminuir hasta cierto punto las dimensiones de la sección requerida y con ello el peso del elemento y por tanto las magnitudes de los medios de transporte y demás montajes necesarios para la construcción del puente. Así mismo, la quitada de la formaleta en edades tempranas de las dovelas, para la reutilización de la formaleta y reducir el ciclo temporal de fabricación, requiere suficiente resistencia a esas edades y más aún tratándose de elementos pretensados, lo cual exige el uso de concretos de alta resistencia final.

- ✓ La tasa de izado es normalmente de 10 a 15 veces superior que la conseguida mediante la fundición en sitio. El tiempo necesario para la colocación de las jaulas de refuerzo y principalmente, el tiempo de espera para el curado del concreto es eliminado de la ruta crítica en la programación del proyecto

Desventajas:

- ✓ Se requieren grandes medios de transporte y montaje con sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra, los cuales implican un costo elevado. Aunque la presencia de agua, como en el caso de ríos, mares y lagos puede facilitar las operaciones de transporte y posterior montaje.
- ✓ Las uniones entre elementos o entre éstos y demás partes de la estructura pueden resultar muy complicadas, en especial si se trata de estructuras hiperestáticas.
- ✓ Los costos en general con relación a la fundición en sitio, suelen ser más elevados debido a la necesidad de contar con una o más plantas de prefabricación, el uso de grandes grúas, vehículos de transporte de alta capacidad y demás según las condiciones de cada proyecto. Por tanto se recomienda implementar elementos prefabricados para puentes que cubran grandes longitudes, en donde el número de secciones a prefabricar sea considerable.

CONSTRUCCIÓN EN SITIO, COMO LA TÉCNICA MÁS VIABLE PARA CONSTRUIR PUENTES EXTRADOSADOS EN COLOMBIA.

En la hipótesis de construir un puente con pretensado extradadosado en el entorno colombiano, resulta más factible realizar construcciones en sitio, dado que, en Colombia no se ha manejado el concepto de la construcción de voladizos

sucesivos mediante el uso de dovelas prefabricadas. Esto se puede deber a varias razones, puede ser porque la inversión que se tiene que hacer es muy alta y, además, por lo general no se tiene el concepto de que se utilice para varios puentes en un mismo proyecto, ya que no se diseñan puentes tipo. Otra razón puede ser la falta de información con respecto al proceso constructivo, y en algunos casos no se puede contar con los equipos necesarios ni con zonas cercanas al puente que permitan la ubicación de un parque de fabricación de las dovelas.

En el caso particular de la planta, el principal inconveniente resulta ser la predominante topografía escarpada y montañosa de Colombia, dado que la planta requiere grandes áreas en condiciones planas (cercana a 2 hectáreas), lo más cerca posible al sitio de obra para agilizar la erección y disminuir los costos de transporte. Los medios de transportes suelen estar condicionadas al peso de las dovelas a transportar y la accesibilidad al sitio de obra. Generalmente en puentes de grandes luces, el peso de una dovela promedio está cercano a las 80 toneladas, requiriéndose por lo general el empleo de costosos vehículos de cama baja para su respectivo transporte. Para el izaje de dovelas se requiere de equipos sofisticados (grúas convencionales o “cranes”, piernas de cortante o “shearlegs”) tanto en capacidad de izaje como en precisión para la colocación de las dovelas. Para cumplir estos requerimientos las grúas suelen diseñarse empleando materiales (principalmente acero) de alta resistencia, implicando costos elevados en su diseño y en su posterior construcción.

La construcción en sitio de voladizos sucesivos balanceados es por tanto, en términos de economía y practicidad, la más viable y recomendada en puentes extradados para Colombia.

En los últimos años, las empresas constructoras de nuestro país han crecido y tecnificado los productos que desarrollan. Tal es el caso de la empresa

Concreto S.A, que se ha convertido en pionera en construcción de puentes, con experiencia marcada en sus proyectos, además de tener en su título la construcción del puente más grande de Colombia, el puente de Barranca-Yondó.

COMPARACION DE COSTOS DIRECTOS DE CONSTRUCCION DE UN PUENTE EXTRADOSADO CON UN PUENTE TIPICO DE CONSTRUIDO POR DOVELAS SUCESIVAS

El costo directo total de construcción del puente con pretensado extradadosado fue de \$ 11.884.952.479,00 valor mucho menor al de los puentes típicos construidos en diferentes partes del mundo.

Sin embargo, para obtener datos más reales se realizó el estudio de un puente típico analizado en una tesis de investigación anterior [20] con 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. Se tomó los análisis de precios unitarios y el presupuesto los tableros de los dos tipos de puentes (Tablas 3 y 4) ya que en ellos es donde se encuentran las cantidades más representativas y además son la parte más importante de los puentes. Se consideró el método de voladizos sucesivo como método constructivo para ambas configuraciones.

A continuación se muestra el presupuesto para los dos tipos de puentes y el costo directo de construcción. Los análisis de precios unitarios se muestran en el **ANEXO E.**

Tabla 3. Presupuesto Tablero Puente con Dovelas Sucesivas

PROYECTO:	PUENTE DOVELAS SUCESIVAS
PRESUPUESTO ACTUAL:	\$ 3,546,217,472.00

ITEM	DESCRIPCION	UND	VR. UNITARIO	CANTIDAD	VR. TOTAL
2.1	Concreto clase A, para viga cajón en voladizos sucesivos	m3	\$ 1,295,306	2,182	\$ 2,826,357,692
2.2	Acero de preesfuerzo	Kg	\$ 22,266	32,330	\$ 719,859,780

VALOR TOTAL	\$3,546,217,472.00
--------------------	---------------------------

Tabla 4. Presupuesto Tablero Puente con Pretensado Extradosado.

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO
PRESUPUESTO ACTUAL:	\$ 2,733,106,696.00

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VR. UNITARIO	CANTIDAD	VR. TOTAL
1.5	Concreto clase A, para viga cajón en voladizos sucesivos	m3	\$ 1,295,306	1,604	\$ 2,077,670,824
2.0	Acero de preesfuerzo	Ton-m	\$ 22,266	29,224	\$ 917,144,549

VALOR TOTAL	\$ 2,994,815,373.00
--------------------	----------------------------

Como se puede observar la diferencia en el valor total de la construcción de los tableros de estos puentes es de un valor de \$ 551,402,099.00 lo que indica que el costo directo de construcción del tablero de un puente con pretensado extradosado es aproximadamente un 16% más económico que los puentes que actualmente se construyen en Colombia situación que resulta significativa asumiendo que el tablero es una de las partes principales del puente y a la cual se le da mayor relevancia.

Esto se debe a que a pesar de que los puentes extradosados pueden ser construidos de manera similar a los otros, el costo de los conductos y conexiones están principalmente influenciadas por la longitud del cable interno que es mucho menor que en los puentes de viga cajón ya que en el extradosado no se

hace necesario utilizar grandes cantidades de acero preesforzado porque el peso propio del puente lo asume el cable externo que no representa un costo total muy alto en comparación con el acero preesforzado interno de los puentes cajón que representan un alto porcentaje del costo total de construcción.

4. CONCLUSIONES

- ✓ Al final, y con base a las consideraciones establecidas anteriormente, pensar en la idea de un puente extradadosado en Colombia, se constituye en algo realizable, económico y funcional. Desmitificando las falsas creencias que llevan a pensar que construir un puente con sistema de tirantes en Colombia no es concebible por la carencia de las tecnologías necesarias y sus costos elevados, lo cual ha llevado a recurrir casi exclusivamente a puentes de sección viga cajón cuando los proyectos implican sortear grandes luces, desechando otras alternativas, en la mayoría de los casos, por desconocimiento de las mismas, como sucede con los puentes extradadosados.
- ✓ En consecuencia, uno de los objetivos de este documento, consiste en comparar y analizar desde el punto de vista funcional y económico los diferentes métodos empleados en la actualidad para construir puentes y se establecen una serie de generalidades enfocadas a la construcción de puentes extradadosados mediante voladizos sucesivos balanceados fundidos en sitio, la cual es la técnica constructiva más conocida y empleada en Colombia, para puentes de grandes luces.
- ✓ Construir puentes soportados por cables y en especial los puentes extradadosados se convierte en una opción viable al pensar en solucionar los problemas de accesibilidad y para conectar grandes distancias en condiciones topográficas agrestes propias de las montañas escarpadas y los grandes ríos que presenta el país, obteniendo estructuras confiables, duraderas, con gran estética y de costos relativamente bajos en comparación con puentes atirantados clásicos como se vio en el análisis de precios unitarios y en el presupuesto.

- ✓ Luego de estudiar los distintos puentes construidos mediante voladizos sucesivos a través de la historia hasta la fecha, se sugiere la construcción de los puentes con pretensado extradadosado bajo este método constructivo realizándola en sitio, dado que con la realización del puente pretensado de viga cajón entre Barraca-Yondó y el puente atirantado del Viaducto Pereira y Dos Quebradas principalmente se ha demostrado que las empresas constructoras colombianas, cuentan con la experiencia y las tecnologías necesarias para planear, programar y ejecutar proyectos constructivos de puentes con pretensado extradadosado en sitio de manera eficaz.

- ✓ El costo directo de construcción de un puente con pretensado extradadosado en Colombia resulta siendo relativamente bajo en comparación con otro tipo de puentes que ofrecen los mismos beneficios con esta configuración y construyéndolos con el mismo método constructivo.

- ✓ La construcción mediante dovelas prefabricadas, aunque no constituye la opción más viable y práctica para Colombia no es del todo descartable. Principalmente cuando se tienen tableros de puentes con grandes longitudes, en donde el número de dovelas o segmentos requeridos es tal que, resulta más viable desde el punto de vista económico, práctico y en velocidad constructiva, implementar un método de prefabricación en comparación a la construcción en sitio.

RECOMENDACIONES

- ✓ Para obtener una diferencia significativa en los costos directos de construcción, se debe realizar a futuro este mismo estudio para puentes con luces mayores a 200m.
- ✓ Desde el punto de vista económico, estético y funcional se recomienda la construcción de Puentes con Pretensado Extradado construidos por el método de voladizos sucesivos fundidos “in situ” en Colombia.

REFERENCIAS

ARENAS DE PABLO, Juan José. "Puentes construidos por voladizos sucesivos" .En: Hormigón y acero, Madrid, 1977. No. 123, p. 117-154. Madrid -España.

BENAIM, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Precast segmental balanced cantilever construction. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 459.

BENAIM, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Counter-cast technology for box section decks. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 387.

BENAIM, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Cast-in-situ balanced cantilever construction. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 388.

CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS. Viaductos La Estampilla, ganaron el Premio Nacional de Ingeniería 2009. En: Comercial .Disponible en: <http://www.calymayor.com.mx/comercial/archivos/Viaductos%20La%20Estampilla%20R.pdf>

CHEN, Wai-Fah y DUAN, Op. cit., Cap. 11.2.4 Special Requirements.

CHEN, Wai-Fah y DUAN, Lian. Bridge Engineering Handbook. Segmental Concrete Bridge. Boca Ratón: Editorial CRC Press, 2000. Cap. 11.3.3 Span-by-Span Construction.

CHEN, Wai-Fah y DUAN, Bridge Engineering Handbook. Lian. Segmental Concrete Bridge. Boca Raton: Editorial CRC Press, 2000. Cap. 11.4.5 Cating Bed and Lauching Methods.

CONCRETO S.A. Puente sobre el río Sinú [en línea]
<http://www.concreto.com/Default.aspx?tabid=58&idProyecto=8>

FARIAS GARCÍA, Darío. "Desarrollo y tendencias actuales en la construcción de puentes". Asociación Colombiana de Ingenieros Constructores

GALÍNDEZ, N. Implementation of a Modal Identification Methodology on The Pereira - Dos Quebradas Cable-Stayed Bridge. En: 16th ASCE Engineering Mechanics Conference. (Julio, 2008: University of Washington, Seattle). Disponible en: www.ce.washington.edu/em03/proceedings/papers/639.pdf

GERARDINO Perdomo, Marlio- "Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos", Tesis de Máster en Ingeniería Estructural y de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Junio de 2011, Pág. 11

GUNNAR, Lucko. Means and Methods Analysis of a Cast-In-Place Balanced Cantilever Segmental Bridge: The Wilson Creek Bridge Case Study. Virginia, 1999, 299 h. Trabajo de Maestría (Maestro de ciencia en Ingeniería Civil). Virginia Polytechnic Institute. Disponible en Digital Library and Archives: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950>>.

GONZÁLEZ, B. Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.

HERRERA, JERONIMO, Universidad Catolica, PUENTES, Pag 96

http://www.dywidagsistemas.com/fileadmin/resources/images/references/bridges/D_Sl_Shikari_Bridge_Hokkaido.jpg

INGETEC S.A. Puentes y Viaductos. En: Folletos INGETEC .Disponible en: <http://www.ingetec.com.co/folletos/folletos.htm>

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO – ICPC. Construcción de Puentes en Concreto, con el Sistema de Voladizos Sucesivos: Realizaciones en Colombia. En: El cemento y el concreto, banco de documentos. Edición 106. (mayo 2006). Disponible en: <http://www.icpc.org.co/site/assets/attach/puentes.pdf>

ISHII, Marcio. Sistemas estruturais de pontesextradorso: Arranjos básicos das pontesextradorso. São Paulo, 2006, 90 h. Tesis de maestría (Magíster en Ingeniería Civil). Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo. Departamento de Ingeniería de Estructuras y Geotecnia. Ingeniería de Estructuras. Disponible en biblioteca digital de tesis y disertaciones de la Universidad de Sao Paulo: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-08032007-170442/>

KASUGA, Akio. Extradosed bridges in Japan: Extradosed cable. En:Structural Concrete Journal. 7. No. 3 (Septiembre, 2006); Pág. 93-97.

LEVINTOV, B. (1995). Construction Equipment for Concrete Box Girder Bridges. *Concrete International* 17(2), 43-47. Citadopor: GUNNAR, Lucko. Means and Methods Analysis of a Cast-In-Place Balanced Cantilever Segmental Bridge: The Wilson Creek Bridge Case Study. Virginia, 1999, 299 h. Trabajo de Maestría (Maestro de ciencia en Ingeniería Civil). Virginia Polytechnic Institute. Disponible en Digital Library and Archives: <<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950>>.

MATHIVAT, J. Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos. Métodos de Colocación de Dovelas. Editores Técnicos Asociados S.A. 1 ed. española, Barcelona, 1980. Pág. 282-314.

MONDORF. Puentes en Hormigón 2007. Cap. 8. Pág. 14. Universidad de Chile. Seminario: Diseño y Construcción de Puentes Disponible en: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/CI62Q/1/material_alumnos/

OVALLE PORRAS, Noel Enrique - CETINA BERDUGO, Diego Fernando- Tesis:Evaluación Del Proceso Constructivo En El Comportamiento Estructural De Un Puente Construido Por Voladizos Sucesivos. Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil- 2011

PEÑA BARRERA, Jhon Alexander – VARGAS AREVALO, Andres Leonardo. – “Evaluación Del Comportamiento Estructural Al Modificar La Altura Del Pilono En Un Puente Extradado De Luz Central Igual 100 m”. Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil- 2011

REDFIELD, Charles M. “Construcciones de puentes en voladizos sucesivos fundidos en sitio”.En: Jornadas estructurales de lo ingeniería colombiana (4: 1981 Bogotá). SCI, 1981 – p.1-18.Bogotá - Colombia.

REVISTA INFRAESTRUCTURA Y DESARROLLO (Cámara colombiana de la infraestructura) REVISTA No. 35 • BOGOTÁ, D.C. • Mayo - Junio 2010 • ISSN 1794-3213

Revista de Obras Públicas/Octubre 2005/Nº 3.459

SARMIENTO GONZALEZ, Eduardo- Tesis: Actividades De Apoyo Técnico En La Construcción Del Puente Sobre El Rio Magdalena Entre Los Municipios De

Barrancabermeja (Santander) Y Yondó (Antioquia). Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil- 2005

Service d'études techniques des routes et autoroutes -Sétra. Prestressed Concrete Bridges built using the Cantilever Method. Construction Technology. En: SETRA. (septiembre 2007). Pág. 132. Disponible en: <http://www.setra.equipement.gouv.fr/In-English.html#reference>

SHUSHKEWICH, Kenneth W. Design of Prestressed Concrete Bridges to Accommodate Future Widening: Struted Box Widening Method (SBWM). En: PCI Journal [en línea]. (Marzo - Abril, 2006). Pág. 75 - 89 http://www.pci.org/view_file.cfm?file=JL-05-MAY-JUNE-7.pdf.

VANEGAS HERRERA, Sergio Andrés - LOPEZ MORANTES Elkin Mauricio- Tesis: Sistemas Constructivos En Puentes Con Pretensado Extradosado, Estado Del Arte. Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil

VIERA, A. *Viaducto Las Salinas Por Voladizos Sucesivos*. Informe Técnico VI/01/2006. FCC Construcción S.A. 2006.

VSL INTERNATIONAL LTD. The Incremental Launching Method in Prestressed Concrete Bridge Construction. Features of the Incremental Launching Method. Abril 1977. Disponible en: http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_tecnreports/PT_Incremental_Launching_Method.pdf

VSL INTERNATIONAL LTD. The Incremental Launching Method in Prestressed Concrete Bridge Construction. Features of the Incremental Launching Method. En: VSL INTERNATIONAL. (abril 1977). Disponible en: http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_tecnreports/PT_Incremental_Launching_Method.pdf

ANEXOS

ANEXO A. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO LUZ A LUZ

Fundida en sitio.

La forma de soportar las formaletas puede hacerse mediante un sistema de grúa pórtico que se está moviéndose constantemente a lo largo del puente; una viga metálica apoyada pila a pila; o mediante sistema de falsos apoyos. El sistema grúa pórtico que soporta las formaletas puede estar ubicado encima del tablero o debajo del tablero. Si esta encima del tablero, las formaletas son suspendidas en barras de acero de alta sollicitación.

Elementos prefabricados.

Con la aparición de las vigas y por ende los elementos prefabricados, los segmentos son colocados uno a uno por medio de una viga de acero apoyada pila a pila y después postensionando todo el tramo de luz.

Sistemas más usados.

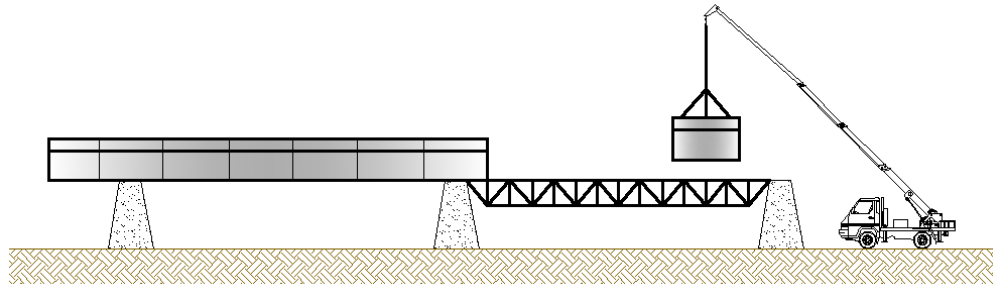
Los sistemas más usados para la construcción de un puente con este método son:

- **Sistema de viga metálica apoyada pila a pila**

Este sistema se usa principalmente en viaductos que cruzan carreteras de ciudades. Es aplicable tanto para la fundición en sitio como para elementos prefabricados. En ocasiones no es necesario la viga metálica, ya que las luces son muy pequeñas y solo se requiere de una grúa que sea capaz de apoyar el

elemento en las pilas. En la Figura A-1 se representa un ejemplo de este sistema²¹.

Figura A-1. Esquema del método de luz a luz mediante elementos prefabricados montados por medio de grúa.



Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/pt/pt01.cfm>

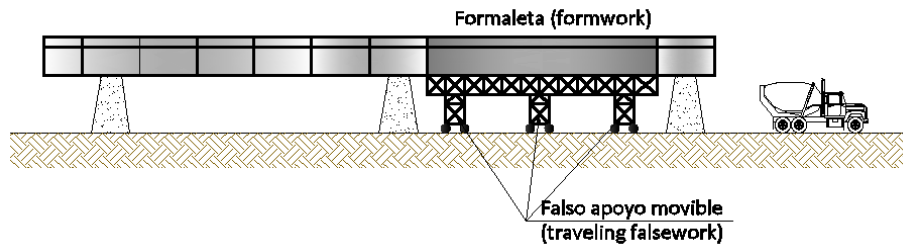
- **Sistema de falsos apoyos (Andamiaje).**

Este sistema tiene la posibilidad de usar apoyos estacionarios o apoyos móviles. Es muy usado en viaductos que cruzan carreteras de ciudades. Aplicables para fundición en sitio o mediante elementos prefabricados, teniendo en cuenta que este sistema debe estar diseñado para soportar la carga puesta en obra. En la Figura A-2 se representa un ejemplo de este sistema²².

²¹ VANEGAS HERRERA, Sergio Andrés - LOPEZ MORANTES Elkin Mauricio- Tesis: Sistemas Constructivos En Puentes Con Pretensado Extradado, Estado Del Arte. Universidad Industrial de Santander. Escuela De Ingeniería Civil

²² Ibid

Figura A-2. Esquema de método del método de luz a luz mediante formaletas (Formwork) soportadas sobre un falso apoyo móvil (Travelling Falsework).



Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/pt/pt01.cfm>

- **Sistema de grúa-pórtico lanzable o “Ganar system”.**

Cuando se opta por usar un sistema de grúa pórtico, este puede ser soportado por las pilas o por la parte en voladizo de la sección anteriormente fundida. Este sistema es muy usado en grandes proyectos por su versatilidad al momento de moverse a lo largo del puente. En la Figura A-3 se muestra este sistema.

Figura A-3. Sistema de grúa-pórtico lanzable. Esquemmatización del método de luz a luz.

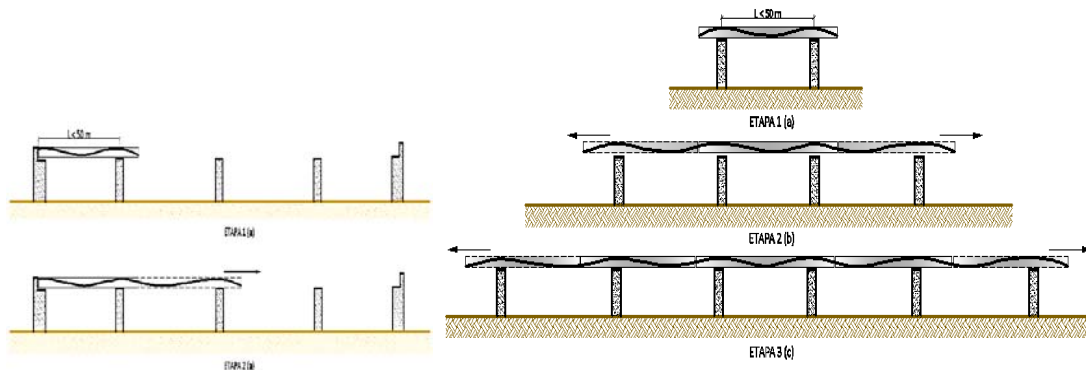


Fuente: <http://constructor.agc.org/mag/2011/July-Aug/1108-WashingtonNCBypass.asp>

Secuencia de construcción.

Un diagrama de representación del método es mostrado en la Figura A-4. En la primera etapa es colocada la primera luz hasta donde haya un punto de inflexión en el pretensado. Los soportes de las formaletas son movidas hacia adelante por la parte superior de la cubierta hasta encontrar el punto más cercano de inflexión de la próxima luz. Este ciclo es repetido hasta llegar a la sección final del extremo del puente. Esta es la construcción de la superestructura en una dirección, pero se puede optar por construir las luces empezando en el centro del puente²³.

Figura A-4. Etapas de construcción de un puente por el método luz a luz.



Fuente: *Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradadoso, estado del arte - Elkin Mauricio López Morantes - Sergio Andrés Vanegas Herrera*

Las características propias de este método no son apropiadas para los puentes con pretensado extradadoso, por que se aplica para puentes menores de 50 m, lo que haría que el puente extradadoso tuviera altura de tableros y torres demasiados pequeñas. Además, el método de luz a luz es propio para puentes de luces cortas, lo que lo hace ineficiente para un puente extradadoso y tendrían dificultad en la maniobrabilidad y las deflexiones serian un problema a solucionar. Sería un método antieconómico ya que los equipos que se necesitarían tendrían enormes dimensiones convirtiéndolo anti funcional para la obra²⁴.

²³ Ibid

²⁴ Ibid

ANEXO B. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS HORMIGONADOS “IN SITU”:

Ejecución de la dovela de pila o dovela “0”

Inicia con la construcción de la losa inferior de la sección realizando las labores de colocación de la plataforma de sustentación de los encofrados de la dovela 0 incluyendo el montaje del encofrado inferior de la losa, montaje de los encofrados laterales de los alzados de la losa, armadura de la losa y hormigonado. Para todas estas se suele disponer de una grúa torre correspondiente, colocada a pie de pila.

Seguidamente se continúa con la ejecución de los alzados laterales y las riostras transversales. Se comienza con la labor de armadura de los tabiques y alzados laterales de la sección, encofrados interiores, hormigonado y retirada de los encofrados interiores.

Finalmente se ejecuta el apeo interior de la losa superior, colocación del encofrado interior sobre dicho apeo, armadura de la losa y hormigonado, desencofrado y retirada del sistema de sustentación del encofrado.

Construcción del tablero.

Los segmentos de dovelas están, normalmente, entre 3.5m y 5 m de longitud. Una aproximación a un programa de construcción es asumir que el primer par de segmentos se funden en 4 semanas, el segundo par en 3 semanas, el tercero y cuarto par en 2 semanas y una semana para un par posterior. Un ritmo semanal así descrito tiene la ventaja de que el concreto puede ser curado el fin de semana. Sin embargo, estos avances en la construcción no es lo mejor, ya que a veces la economía de este paso constructivo depende del número de carros de avance para completar un puente dentro de un programa determinado. En algunas

ocasiones aumentar el ritmo de construcción de dovelas permite el uso de menos carros de avance.

Los cables pretensados suelen tensarse cada dos dovelas fundidas. Cuando se ha alcanzado un ritmo los cables suelen tensarse tan pronto como el concreto alcance un esfuerzo de 25MPa.

Según las condiciones de acceso a la pila, el concreto se trae a la dovela por camión mezclador, cinta, bomba o cualquier otro medio tradicional disponible.

El concreto se introduce en las formaletas mediante depósito directo en las losas y mediante tubos chimenea desde arriba en las almas.

La dovela generalmente se funde en una operación casi continua, empezando por la losa inferior, siguiendo por las almas y terminando por la losa superior. Entre losa inferior y alma habrá una ligera interrupción esperando el fraguado del concreto debajo de las almas para permitir el vertido en las almas sin riesgo de junta fría del concreto fresco.

En cada fase de la fundición, sea losa inferior, almas o losa superior, se procede desde el borde delantero hacia la cara de la dovela anterior a fin de reducir la tendencia al agrietamiento del hormigón joven bajo el aumento del peso soportado por el carro²⁵.

Carros de avance.

Los carros tradicionales son estructuras de acero que están apoyados en rieles que se colocan encima del concreto de la losa superior. En su parte delantera llevan barras de suspensión de las formaletas y plataformas de trabajo. En la parte

²⁵ **VIERA, A.** *Viaducto Las Salinas Por Voladizos Sucesivos*. Informe Técnico VI/01/2006. FCC Construcción S.A. 2006.

trasera están anclados al concreto de la dovela ya terminada. Los carros deben permitir la introducción de contraflechas y poseer la suficiente rigidez como para evitar deformaciones y fisuras no deseables en las dovelas. Los carros autoportantes son estructuras con un molde rígido.

Aunque hay una gran variedad de carros de avance tradicionales y estos están disponibles en el mercado, se suelen dividir en tres grandes familias de acuerdo a la posición de sus vigas de soporte o vigas principales en el carro de avance:

- ✓ Carro de avance con vigas situadas encima de la losa superior
- ✓ Carro de avance con vigas situadas a lo largo de las almas de la sección viga cajón.
- ✓ Carro de avance con vigas situadas por debajo de la losa inferior.

Los elementos que conforman un carro de avance son los siguientes (ver Figura B-1):

- ✓ **Vigas carril:** Son las estructuras sobre las cuales se realiza el avance del carro por medio de gatos hidráulicos.
- ✓ **Vigas principales:** Componen la estructura principal del carro y son las encargadas de soportar las solicitaciones transmitidas por los encofrados y transmitir las al tablero, donde deben estar debidamente ancladas. Dicha estructura es la que se desplaza sobre la viga carril y la que da movimiento a todo el conjunto.
- ✓ **Vigas celosía y cuelgues:** Las vigas celosía están situadas en la parte superior de los rombos y son el puente de unión entre el conjunto superior y los distintos elementos suspendidos.
- ✓ **Encofrado:** Lo conforman la formaleta exterior, la formaleta interior y la plataforma inferior.
- ✓ **Plataformas de trabajo.** Son las diversas pasarelas que permiten el acceso a las zonas de trabajo, disponiendo de medidas de protección colectivas para el

tránsito y desarrollo de los trabajos. Las plataformas frontales cuelgan de la nariz de la viga celosía delantera.

- ✓ **Contrapeso.** Es el que equilibra el carro cuando se desplaza. Pueden ser de lastre o cuba de agua. Este sistema ya casi no se usa en la actualidad, debido a que genera una carga innecesaria para el voladizo.
- ✓ **Anclajes.** Estos se agarran a la última dovela fundida para dar estabilidad al carro²⁶.

Figura B-1. Esquema de un carro móvil tradicional con vigas principales situadas encima de la losa superior.



Fuente: <http://www.dot.state.co.us/marooncreek/images/Pier2FormTraveler.jpg>

A su vez, las formaletas comprenden las siguientes partes:

- ✓ Plataforma de la formaleta para la losa inferior
- ✓ Formaletas laterales para encofrar el ala y el lado exterior del alma.
- ✓ Formaleta interior para formar el interior de la viga cajón. Generalmente puede avanzar independientemente del avance del carro mismo.

²⁶ **González, B.** Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005

- ✓ Formaleta de la cara delantera de la viga cajón.

El uso de los carros de avance se inicia apenas finaliza la construcción de la dovela 0. A partir de ese momento se puede elevar uno de los carros de avance para su posterior montaje y utilización en la construcción de la dovela 1 que, una vez finalizada, sirve para desplazar el primer carro sobre ella y, así se puede liberar la cabeza de la pila para que pueda recibir al segundo carro. Tras el proceso de montaje del segundo carro, se puede iniciar la construcción de las diversas dovelas de forma simétrica y en sentidos opuestos a partir de la pila. El uso de los carros de avance se inicia apenas finaliza la construcción de la dovela 0. A partir de ese momento se puede elevar uno de los carros de avance para su posterior montaje y utilización en la construcción de la dovela 1 que, una vez finalizada, sirve para desplazar el primer carro sobre ella y, así se puede liberar la cabeza de la pila para que pueda recibir al segundo carro.

Tras el proceso de montaje del segundo carro, se puede iniciar la construcción de las diversas dovelas de forma simétrica y en sentidos opuestos a partir de la pila.

Para el procedimiento de montaje de los carros se siguen los pasos descritos a continuación:

- ✓ Calces de carril y carril: Estos se ubican sobre la dovela construida, es decir la dovela de apoyo.
- ✓ Carros y vigas principales en rombo: Son el segundo conjunto a montar, formado por dos vigas de celosía de forma romboidal que se desplazan sobre las vigas carril y montan todos los elementos de transporte y anclaje, constituyendo la estructura principal del carro. Los pilares y contrafuertes que componen la estructura se apoyan sobre los carros delanteros, traccionan los traseros y llevan colocados los amarres para el montaje de las vigas de celosía superiores.

- ✓ Vigas de celosía, arriostramiento horizontal y péndolas de cuelgue: El montaje de las vigas de celosía se realiza igualmente por módulos lo más grandes posibles, sin limitar la capacidad de elevación de la grúa torre.
- ✓ Armaduras de los encofrados: Debido a sus características, fue aconsejable el premontaje en el suelo de la armadura del encofrado inferior, e izada posteriormente con la grúa torre.
- ✓ Montaje estructura de sustentación de andamios y pisos de trabajo.
- ✓ Equipo hidráulico: Finalmente, se dispuso para cada carro, de una centralita, dos gatos verticales de grandes prestaciones para bloqueo mecánico de 60 Tm de capacidad cada uno²⁷.

Ejecución de Dovelas

Por último se describe a continuación las operaciones en que se descompone un ciclo de ejecución de un conjunto de dos dovelas simétricas:

- ✓ **Avance y fijación del carro:** El ciclo comienza cuando el hormigón alcanza la resistencia de 25 Mpa que se necesita para poder efectuar las operaciones de tesado. En ese instante se procede a hacer la separación del encofrado y al tesado de los cables de pretensado. Luego con el sistema hidráulico de avance se mueve el carro y los encofrados interior y exterior²⁸.

Tras el avance del carro, se anclan el encofrado inferior de la losa inferior y las alas de los encofrados laterales a la sección recientemente ejecutada y, a continuación, se procede al posicionamiento del carro, perfectamente horizontal y nivelado en su posición definitiva.

- ✓ **Armado de la losa inferior y de los hastiales de la sección:** La armadura de la sección se inicia montando la de la losa inferior sobre dicho encofrado disponiendo los separadores oportunos. La armadura se monta manualmente.

²⁷ **VIERA Op. Cit.**

²⁸ **GERARDINO Op. Cit.**

- ✓ **Encofrado del resto de la sección:** Los encofrados interiores se encuentran abiertos y limpios, con su correspondiente capa de desencofrante, durante las operaciones de avance del carro y armado de losa y hastiales. Cuando finaliza esta última operación, el encofrado interior se despliega y se sitúa en posición, sujetándolo primeramente a la zona delantera de la dovela anterior, tras lo cual se procede a referirlo al encofrado exterior de hastiales.
- ✓ **Armado y colocación de vainas de la losa superior:** Primero se procede a colocar la armadura inferior de la losa, con sus correspondientes separadores. Las vainas de los cables de tesado del procedimiento constructivo se montan a continuación utilizando como referencia la armadura colocada y sujetándolas a ella, para evitar su flotación con la operación de hormigonado. El proceso de voladizos sucesivos precisa de dos grupos simétricos respecto al eje del tablero de cables horizontales. Conforme avanza el proceso, se van anclando cables por cada pareja de dovelas. Tras la colocación de las vainas de tesado del proceso constructivo, se coloca la capa superior del armado de la losa.
- ✓ **Nivelación definitiva del carro:** Cuando el tajo de la dovela está preparado para efectuar el hormigonado de la misma, se debe de hacer una comprobación topográfica de la cota del mismo, para proceder, a continuación, a levantar el carro hasta aproximarlos a las cotas fijadas por el proyectista.
- ✓ **Hormigonado de la dovela:** Durante este proceso, el carro de avance permanece apoyado sobre gatos verticales situados bajo el pilar delantero y anclado al tablero en su parte posterior mediante barras y yugos. La sustentación de los diferentes encofrados se distribuye de forma que el frente delantero queda suspendido de la viga transversal delantera, mientras el trasero se ancla directamente al tablero anterior. A medida que las dovelas reducen el canto, la parte saliente del encofrado exterior aumenta respecto de la solera, lo cual obliga a desmontar los paneles sobrantes. Sin embargo, el

encofrado interior debe ser cortado para adaptarlo a la disminución de cota en el interior de las dovelas²⁹.

El hormigonado comienza en primer lugar con la ejecución de la losa inferior de la sección transversal. En segundo lugar se hormigonan los hastiales de la sección lentamente y por tongadas de 0.50m para evitar el sifonamiento del hormigón de la losa inferior. Finalmente se hormigona la losa superior, llevándola a todo lo ancho de la dovela, comenzando por el extremo frontal libre de la dovela y avanzando hacia la zona contigua a la dovela anterior, fratasando las superficies.

- ✓ **Desencofrado de las dovelas:** Al día siguiente de hormigonar se procede al desencofrado lateral.
- ✓ **Curado del hormigón:** Las superficies expuestas del hormigón de la dovela (solera y losa superior) deben curarse para evitar su fisuración por un proceso no controlado de retracción. Este cuidado es tanto más necesario si tenemos en cuenta el tipo de hormigón que constituye el tablero del puente: al tratarse de un hormigón de alta resistencia con un alto contenido en cemento de altas resistencias iniciales, se producen fuertes calores de hidratación a corto plazo. El curado del hormigón de la dovela debe de comenzar en el momento en que se inicia el fraguado, lo cual se manifiesta por una pérdida del brillo superficial.

Colocación de los cables. [24]

Cada cable se puede extender en más de una dovela (preferiblemente dos dovelas) que serán fundidas a tiempos distintos.

Los ductos que contendrán los cables se colocan vacíos en la formaleta antes de la fundición (Figura B-2); debe tenerse especial cuidado en las conexiones entre ductos de dos dovelas vecinas.

²⁹ Ibid

Figura B-2. Ductos vacíos en la cartela superior.



Fuente: http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/pcbridges_cantilevermethod.pdf

Los ductos vacíos serán atados al refuerzo pasivo. La calidad de los ductos debe ser suficiente para que mantengan su forma y trazado bajo el peso y la presión del concreto fresco.

El acero pasivo viene pre-cortado y doblado; generalmente se ensambla en el mismo lugar de construcción para constituir la jaula de refuerzo.

El acero se introduce en los ductos después de fundida la dovola donde el cable va anclado. Actualmente existen maquinas ligeras que permiten sacar el torón desde la bobina y empujarlo, uno por uno, dentro del ducto constituyendo así el numero de torones que requiere cada cable.

- ✓ **Enfilado y tesado de los cables del proceso constructivo:** Por lo general algunas empresas dan un procedimiento de tesado del Proceso Constructivo, en el que se incluye un programa de tesado completo, indicando: el orden de tesado, las fuerzas de tesado y las presiones equivalentes según los equipos utilizados, así como los alargamientos teóricos previstos y los valores de alarma.
- ✓ **Inyección de las vainas:** La lechada para la inyección de las vainas se fabrica sobre el tablero, situando sobre el mismo la amasadora de lechada y la bomba

de inyección. La inyección se introduce dentro de la vaina a través de los tubos de PVC de purga que se han conectado a las vainas, sujetándolos a ellas con cinta aislante.

Dovela de cierre³⁰.

Normalmente son construidos en una sola fase, usando un carro de avance, de los mismos que se usan para los segmentos o dovelas de voladizo (ver Figura B-3).

Figura B-3. Dovela de cierre para el viaducto sobre el Rio Guadalquivir.



Fuente: <http://superestructuras-freebird.blogspot.com/2009/09/viaducto-sobre-el-rio-guadalquivir.html>

La práctica más común es utilizar un carro de avance estándar para la construcción de la dovela de cierre. Sin embargo, esto no ocurre sistemáticamente, y en ocasiones (dependiendo del proyecto), los contratistas prefieren construir equipos especiales para estas dovelas, lo cual permite retirar los carros de avance lo más pronto posible.

³⁰ **Service d'études techniques des routes et autoroutes** -Sétra. Prestressed Concrete Bridges built using the Cantilever Method. Construction Technology. En: SETRA. (septiembre 2007). Pág. 132. Disponible en: <http://www.setra.equipement.gouv.fr/In-English.html#reference>

Durante la construcción de estas dovelas o segmentos, los equipos de formateado son posicionados sobre soportes simples en ambos extremos del voladizo porque entonces no sería lo suficientemente fuerte como para soportar los efectos térmicos que pudieran desarrollarse en el pequeño espacio entre voladizos.

Si el equipo de formateado es especialmente construido, estas condiciones de soporte no tendrían problemas, pero si uno de los carros de avance son rehusados, precauciones especiales deben ser tomadas ya que en la mayoría de las herramientas de estos equipos están diseñadas para operar en una posición ya denominada.

El momento de fundir el elemento de cierre debe ser escogido con cuidado. Es importante prevenir el desarrollo de los efectos térmicos entre las secciones de concreto, el momento en el que la luz se vuelve continua y el esfuerzo de los primeros tendones continuos. Por eso es aconsejable tomar el tiempo en el que cae la tarde y llega la noche durante periodos muy luminosos.

Tesado de cierre

Como operación final de tablero se realiza el tesado de continuidad, produciéndose la unión de los dos voladizos contiguos y convirtiendo a ambos en una viga continua, para absorber las cargas de uso.

Se introducen los equipos de enhebrado y de tesado dentro de la zona hueca del tablero y se procede a enfilear dichos cables para luego tesar los cables de continuidad. Para introducir los cables se utilizan los agujeros dejados en la losa superior a tal efecto. Las vainas de los cables de continuidad se inyectan también desde la losa superior del tablero.

Por último y con respecto a la finalización del tablero se puede indicar que se deben tapar los agujeros que se dejan para el anclaje del carro de avance, así como la instalación de juntas de dilatación si están proyectadas sobre el tablero.

ANEXO C. PROCESO CONSTRUCTIVO METODO DE VOLADIZOS SUCESIVOS CON DOVELAS PREFABRICADAS

Parque de prefabricación

Se requiere de la construcción de unas instalaciones donde se dispongan de una cantidad mínima de líneas de fabricación de dovelas, con la infraestructura necesaria para la elaboración, distribución y puesta en obra del hormigón, producción de aire comprimido, curado al vapor, parque de armadura y manipulación y acopio de los elementos fabricados; así como los elementos necesarios de control geométrico, con una precisión de 2 décimas de mm.

La planta debe disponer de sistema de dosificación ponderal, amasadora, sistema para determinar la humedad de los áridos y sistema para añadir aditivos al hormigón. Asimismo, estar dotada de los sistemas necesarios para el calentamiento del agua de amasado, a fin de acelerar el fraguado

Fabricación de dovelas

Con el fin de lograr la coincidencia de geometría entre caras de dovelas adyacentes, la fabricación de las dovelas se realiza por el método de la dovela conjugada, utilizando como encofrado de una cara la dovela con la que va a estar en contacto. Existen dos métodos para la fabricación de dovelas por el método de la dovela conjugada, fabricación en línea larga y en línea corta.

El *método de la línea larga* radica en la ejecución de una cama con la geometría del fondo del tablero que se va a fabricar, sobre la que se hormigona la totalidad del tablero dovela a dovela con ayuda de un encofrado que se traslada a lo largo del mismo. Se considera que este procedimiento es poco automatizado y además

ocupa una gran superficie, de hecho este método se dejó de utilizar hace unos cuantos años.

En el *método de la línea corta*, la dovela se fabrica en una célula de prefabricación en la que el encofrado consta de:

- ✓ La dovela adyacente, llamada dovela conjugada, en la cara en contacto con la misma.
- ✓ Un encofrado fijo o máscara para cara de la junta opuesta.
- ✓ Una mesa regulable para el encofrado inferior.
- ✓ Encofrados laterales abatibles, que se adaptan a los demás encofrados.
- ✓ Un encofrado interior retráctil que se introduce a través de la máscara.

En este método la geometría de cada dovela se obtiene ubicando adecuadamente la dovela conjugada respecto de la máscara y acomodando el resto de los encofrados a la geometría delimitada por ambas. Para colocar en la posición que se necesita la dovela conjugada y la que se hormigona, se sitúan sobre mesas de encofrado provistas de gatos hidráulicos que permiten ubicarlas en cualquier posición en el espacio.

La geometría de las dovelas es controlada mediante nueve referencias ubicadas en las aristas superiores de la dovela conjugada y la que se hormigona, que permiten obtener la geometría en planta y alzado requerida por las dovelas. Los controles se realizan mediante micropismas que se alojan en unas chapas que se dejan ancladas en el hormigón; las lecturas se hacen con una estación total con precisión de una décima de milímetro³¹.

Debido al tamaño y peso de las dovelas y a los desplazamientos que sufre la dovela conjugada durante el hormigonado y vibrado, no es posible fabricar las

³¹ **González, B.** Proceso Constructivo de un Puente de Vigas Pretensadas. Practica 3-4. Universidad de Alcalá. 2004-2005.

dovelas con la geometría teórica. Para evitar que se presenten tantos errores de fabricación que darían como resultado que el tablero no tuviera la geometría deseada, antes de realizar el desencofrado se repiten las mediciones, comprobándose la geometría realmente fabricada, sus datos se introducen en una aplicación informática que acoplado las dovelas fabricadas, obtiene la geometría del sólido formado por las dovelas construidas hasta el momento y define la geometría de la siguiente dovela a hormigonar de forma que compensen los errores acumulados y se minimice el error final³².

De acuerdo con la información de proyectos de puentes construidos por dovelas prefabricadas, se conoce que el ritmo de fabricación es de una dovela por encofrado y día. Por lo general se necesita que el hormigón deba tener una resistencia de 17.5 Mpa por lo que es habitual realizar un curado al vapor. La armadura y las vainas de pretensado se prefabrican completamente en moldes situados junto a la célula de hormigonado, lo cual permite el control previo de la armadura y reduce bastante el tiempo necesario para la operación.

Se hace necesario el manejo de las dovelas mediante un pórtico grúa.

Figura C-1. Planta de prefabricación de segmentos (Casting's Yard).



Fuente:<http://projects.dot.state.mn.us/35wbridge/constructionPhotosArchive.html>

³² Ibid

Programa de construcción para tableros de dovelas prefabricadas.

Cuando se proyecta construir el tablero de un puente mediante dovelas prefabricadas, en la programación de la construcción del mismo, debe considerarse la diferencia entre la tasa de producción de dovelas y la tasa o velocidad de izado, en función de los equipos y tecnologías empleadas (unidades de fundición, equipos de izajes etc.). Benaim, establece que generalmente, una célula o unidad de fundición (Casting Cell) produce cinco segmentos por semana, mientras que una grúa-pórtico (Ganar) puede erigir cerca de 20 segmentos por semana. Por otra parte, una unidad de fundición toma cerca de cinco meses en ser diseñada y construida, mientras que una grúa-pórtico normalmente tarda 15 meses. Por tanto, el número de unidades de fundición requeridas deben calcularse de modo tal que la última dovela sea producida unas cuatro semanas antes de ser erigida.

Benaim³³ resume las anteriores consideraciones mediante el siguiente ejemplo: Considere un tablero de 600 dovelas prefabricadas. La grúa-pórtico erigirá su primera dovela en el mes 15 y en los meses siguientes erigirá las dovelas a razón de 85 por mes, culminando la última en el mes 22. En consecuencia debería esperarse que la primera dovela sea producida al final del mes cinco. A partir de este mes y antes que la grúa-pórtico sea culminada y entre en funcionamiento, la planta de prefabricación dispondrá de 10 meses y produciendo dovelas a una tasa de 37.5 por mes u 8.7 por semana implementando dos unidades de fundición, tiempo en el cual la planta deberá disponer del área suficiente para almacenar 375 dovelas, convirtiéndose en un factor determinante en el diseño de la planta. Bajo estas condiciones, la planta tardará cerca de 16 meses en producir las 600 dovelas.

³³ **BENAIM**, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Precast segmental balanced cantilever construction. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 459.

Tipos de dovelas y métodos de prefabricación.

Se le denomina dovelas al conjunto de segmentos que constituyen el tablero de un puente y se pueden clasificar en:

Dovelas estándar o típicas: Constituyen la gran mayoría de segmentos y se pueden considerar como un trozo de tablero delimitado por dos cortes perpendiculares al eje de la obra.

Dovelas especiales: Comprenden las dovelas sobre pila, dovelas sobre estribo, dovelas con articulación, dovelas desviadoras de cables externos etc. Contienen diafragmas, nervios desviadores de cables u otros que les incrementa el peso; por tanto, algunas suelen ser más cortas que las dovelas estándar con el fin de mantener su peso dentro del rango límite acorde a los medios de transporte e izaje dispuestos en la obra. El tamaño y peso de una dovela, está limitado principalmente por la capacidad de transporte y equipos de izado con los que se cuente. En la mayoría de los casos, el peso de una dovela oscila normalmente entre 40 y 80 toneladas; las dovelas en puentes de grandes luces con pesos por encima de las 250 toneladas resultan antieconómicas³⁴.

A partir del año 1960 en donde J. Muller introduce segmentos prefabricados en el tablero de un puente y desde entonces, básicamente se han desarrollado dos métodos de prefabricación de dovelas: Método de Prefabricación de Dodelas en Mesa Larga (Long Line Method) y el Método de Prefabricación de Dodelas en Molde Fijo (Short Line Method), los cuales se describen a continuación. El segundo método será definido con mayor detalle, dado que, actualmente es el método más usado y recomendado.

³⁴ CHEN, Wai-Fah y DUAN, Op. cit., Cap. 11.2.4 Special Requirements

Método de prefabricación de dovelas en mesa larga (Long Line Method).

Este método de prefabricación puede ser usado en tableros rectos o con curvatura constante en toda su longitud y consiste en fundir las dovelas sobre una superficie de concreto (mesa larga), la cual tendrá una longitud igual a la luz en construcción o de un doble voladizo dependiendo del método de izado adoptado (luz a luz, y voladizos balanceados con elemento de cierre fundido en sitio respectivamente). La mesa larga consistirá de una losa de concreto, cuyo ancho será igual al ancho de la losa inferior de la viga cajón, sirviendo como encofrado de fondo para las dovelas. En la parte baja de la losa se pueden adaptar rieles para facilitar el avance de las formaletas. La mesa Larga representa el alineamiento final del tablero del puente, lo cual hace necesario que se consideren las contraflechas necesarias para compensar las deflexiones debidas a cargas muertas y postensado del tablero³⁵.

Las dovelas se funden sucesivamente contra la que le precede en obra mediante una formaleta móvil, logrando una junta con el mayor grado de perfección en su forma al momento de erigir las dovelas.

Con el fin de evitar la adherencia entre las dovelas que pueda dificultar su posterior izaje y que la presión del concreto fresco pueda agrietar o romper la cara en contacto de la dovela adyacente, se aplica un aislante a la cara endurecida de la dovela antes de fundir la siguiente. La longitud de los segmentos está dada principalmente por la capacidad de izaje disponible (tipo de grúa con que se cuente), pero normalmente está entre tres y cinco metros.

Se requiere que la cama larga sea cimentada muy rígidamente, para con ello, mantener dentro de los límites tolerables la distorsión del alineamiento vertical de la luz, generada por la deflexión de la cama bajo la acción de su peso sumado al

³⁵ **BENAIM**, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Counter-cast technology for box section decks. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 387.

de las dovelas que soporta. Las dovelas deben ser removidas cuidadosamente evitando dañar las caras de acople (llaves de cortante principalmente).

Cuando el método de izado empleado es el de voladizos balanceados, la planta puede economizar espacio y costos mediante una cama larga de longitud igual a la mitad de la luz a prefabricar.

De este modo la dovela de pila se funde primero y al finalizar las demás dovelas hasta llegar a la mitad de la luz, éstas son removidas y llevadas a la zona de almacenamiento, luego se rota 180° la dovela de pila y se usa como el origen de la otra mitad de luz, completando de este modo el par de voladizos balanceados³⁶.

Aunque el método de prefabricación de dovelas en mesa larga es relativamente simple de implementar, hoy en día es raramente usado. Una adecuada cimentación de la mesa puede resultar costosa, en especial si se requieren pilotes. Por otro lado la tasa de fundición no es muy alta. No obstante, su uso no se descarta y podría implementarse en la construcción de puentes pequeños.

Método de prefabricación de dovelas en molde fijo (Short Line Method).

Es el método de prefabricación más usado hoy en día en la construcción de tableros para puentes. Puede emplearse para cualquier forma y alineamiento del tablero. Este método consiste en fabricar dovelas en una posición fija mediante un molde metálico llamado “célula de prefabricación”, la cual puede ajustarse para la fabricación de los diferentes tipos de dovelas de un puente con geometrías relativamente complejas, dovelas con canto constante o variable, con almas verticales o inclinadas, tableros con curva horizontal y/o vertical, con pendiente longitudinal y/o transversal.

³⁶ Ibid

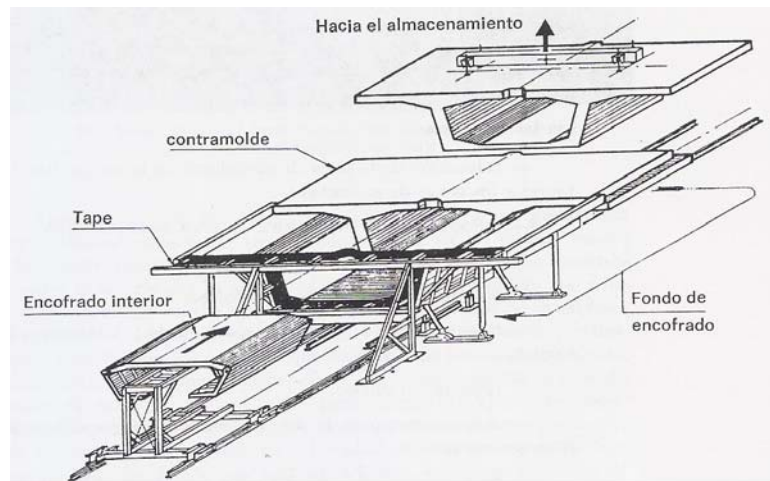
El éxito de este método radica en realizar un exhaustivo análisis y control de la geometría tanto en planta como en el izado de las dovelas, puesto que un error en la fundición sólo se hará claramente perceptible al momento de iniciar el izado del tablero, dado que, las tolerancias están en el orden de fracción de milímetro. Por lo general en este punto ya se habrán elaborado un gran número de dovelas y realizar la corrección involucraría procesos adicionales de alto consumo de tiempo y recursos, derivando por lo general en reemplazar las dovelas defectuosas fundiendo nuevas dovelas de reemplazo, lo cual se traduciría en un considerable incremento en los costos y tiempos programados inicialmente.

La construcción de dovelas prefabricadas por el método de molde fijo, requiere por lo menos de una compleja célula de prefabricación, capacidad de almacenamiento para un gran número de dovelas y medios de izaje de alta capacidad para levantar el peso de las dovelas tanto en la planta como en el frente de obra.

El sistema puede implementarse tanto horizontalmente como verticalmente, aunque este último requiere un espacio mínimo en la planta con respecto al sistema horizontal, es menos utilizado ya que requiere un proceso adicional de volteo de las dovelas, el cual puede resultar complejo si se tienen dovelas de grandes dimensiones. Si el tablero se erige con grúas de alta capacidad, este método normalmente resulta económico para 250 dovelas o más, traduciéndose en una longitud de tablero entre los 750 y 1000m³⁷.

³⁷ **BENAIM**, R. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles: Cast-in-situ balanced cantilever construction. Taylor & Francis Group, 1 Ed. New York, 2008. Pág. 388.

Figura C-2. Vista isométrica del método de prefabricación de dovelas por molde fijo.



Fuente: 15 MATHIVAT, Jacques. *Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos*. Pág. 269.

La inspección de la geometría de las dovelas es llevada a cabo por un instrumento (comúnmente teodolitos) capaz de medir con una precisión de 1/100mm. La línea de visión ésta dirigida a un objetivo situado más allá de la célula de prefabricación, usualmente en las afueras del almacén de fundición. Dicho objetivo, debe estar cimentado a una altura tal que, lo aíse de movimientos del suelo o asentamientos debidos al relleno que pueda haber sido empleado para crear la plataforma de la planta de prefabricación.

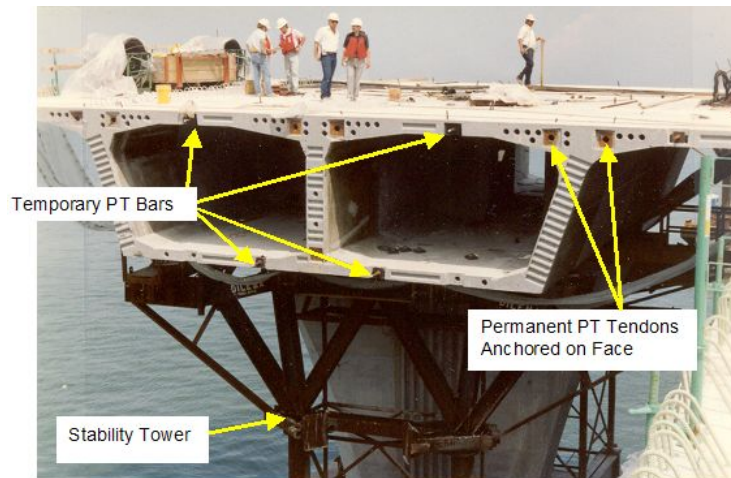
El funcionamiento de una célula de prefabricación en el caso de dovelas estándar, es generalmente organizado en ciclos que al término de un día laboral produzcan una dovela por célula. Lo cual supone que la formaleta interna pueda desmontarse y retirarse una 16 horas después de fundidas, para luego levantar y retirar la dovela para su almacenamiento unas 40 horas después de haber sido fundida. Para poder realizar estas operaciones, se requieren resistencias del orden de los 15 y 22 MPa respectivamente.

Izado de la dovela de pila. Con este segmento se inicia el ciclo de izado del tablero y debe dimensionarse, prefabricarse y ubicarse con un alto grado de precisión sobre los apoyos para así garantizar su acomodación a las posibles caídas transversales y longitudinales del tablero. Por lo general, suele ser la dovela más pesada debido a la presencia de diafragmas (ver Figura C-3) y para controlar su peso suele disminuirse su longitud. En el caso de tener tableros muy altos, la dovela de pila puede dividirse en segmentos más pequeños que puedan ensamblarse sin la necesidad de aplicar concreto.

Debido a que la grúa o el sistema de izaje empleado no pueden ubicar la dovela con la precisión suficiente, puede emplearse falsos apoyos equipados con gatos hidráulicos que permitan corregir la posición de la dovela antes de fijarse a sus apoyos.

En caso de necesitarse una conexión mecánica entre dovelas y apoyos, los pernos de conexión deben dimensionarse para soportar sólo la fuerza horizontal residual que será transmitida entre el tablero y los apoyos una vez se haya deducido la fricción. El método más sencillo de realizar la conexión es equipar los apoyos con una platina adicional en la parte superior, para unirse mediante un sistema de pernos, los cuales deben ser protegidos adecuadamente contra la corrosión.

Figura C-3. Dovela típica de pila.



Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/pt/pt01.cfm>

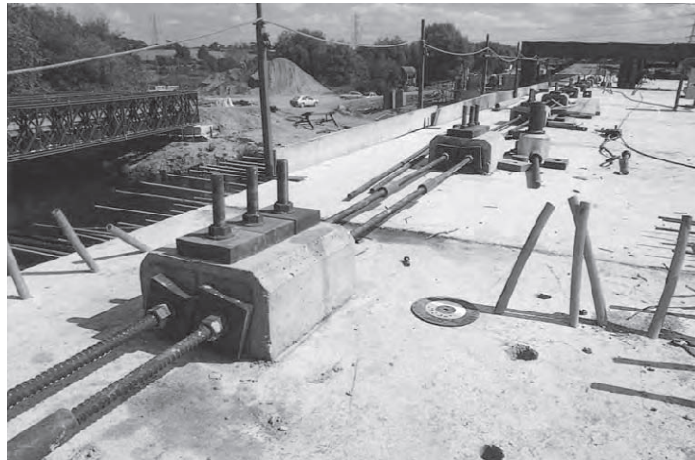
Preesforzado temporal durante la construcción del voladizo. Debido a que las resinas empleadas necesitan cierto tiempo (45 minutos aproximadamente) antes de desarrollar su resistencia de servicio, no es posible instalar el preesforzado permanente durante este tiempo.

Es por esto, que debe recurrirse a un sistema de preesforzado temporal, normalmente barras preesforzadas que pueden instalarse en cuestión de minutos. Suele recomendarse un mínimo de cuatro barras para asegurar la estabilidad de la dovela durante su montaje en el caso de fallar alguna de las barras. Las barras empleadas deben ser razonablemente dúctiles. Una de las barras adoptadas suele ser la “Macalloy” de un grado tal que, su mínimo de elongación en ruptura no exceda el 6%.

El preesfuerzo temporal puede anclarse internamente a la sección, mediante dados de anclaje ubicados debajo de la losa superior y fundidos a la par con la dovela (ver Figura C-4), lo cual es la forma más económica de anclarlos, aunque puede no resultar muy práctico si existen también dados de anclaje en esa zona para los cables permanentes. Otra forma de anclar las barras temporales es por

fuera de la sección, mediante dados o bloques de concreto fundidos sobre las almas o losas superiores de las dovelas después de realizar su respectivo montaje. Para todos los dados y anclajes externos que estén sometidos a esfuerzo temporal, deben considerarse los momentos flectores y esfuerzos de tensión directa introducidos dentro de las losas o almas. Una última forma de emplear las barras de preesfuerzo, es incorporándolas dentro de la losa superior de la dovela por medio de ductos, pero podría interferir y restar espacio para los ductos de los cables permanentes, adicionalmente el proceso de quitar el preesfuerzo y dismantelar las barras sería dispendioso.

Figura C-4. Sistema de preesforzado temporal mediante barras.



Fuente: *BENAIM, Robert. The Design of Prestressed Concrete Bridges, Concepts and principles. Pág. 427.*

En ocasiones el sistema de preesforzado temporal mediante barras es incluido como parte del preesfuerzo final de diseño, pero no es recomendado, ya que, estas barras suelen ser solo un pequeño porcentaje del preesfuerzo total requerido y adicionalmente su costo unitario puede ser elevado. Por tanto, es preferible diseñar las barras de preesfuerzo temporal para ser recuperadas y reutilizadas en el montaje de las dovelas restantes.

Sistemas de izado y ensamble de dovelas. Existen muchos factores determinantes al momento de elegir el sistema de izado de dovelas, principalmente las condiciones propias del sitio en el que se construye el puente (aspectos topográficos, accesibilidad, tipo de obstáculo a salvar entre otros) y las características propias del proyecto (capacidad económica para acceso a equipos y tecnologías constructivas adecuadas).

Mathivat, agrupa los diferentes sistemas de izado y ensamblaje en tres categorías, independientemente si el transporte de las dovelas hasta el sitio de obra se realiza por tierra o agua:

a. Izado de dovelas mediante un dispositivo autónomo (grúas).

Es el sistema más simple y económico de erigir dovelas cuando la grúa (crane) puede apoyarse sobre el suelo. Si el puente cruza una zona navegable, puede disponerse de grúas montadas sobre barcazas (ver Figura C-5).

El izado con grúa suele resultar simple y segura, cuando se acompaña de falsos apoyos y equipos que garanticen un buen factor de seguridad en estabilidad. El hecho de no someter el tablero a sobrecargas temporales durante el montaje del mismo, reduciendo significativamente los factores desestabilizantes del voladizo.

Figura C-5. Izado de dovelas mediante grúa montada sobre una barcaza.



Fuente: <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=892>

La elección del tamaño de la grúa y su diseño, en términos generales, está dado por la capacidad de izaje acorde al peso de las diferentes dovelas que conformen el tablero, la velocidad de izado, la cual en gran parte depende de lo efectivo que sea el mecanismo de transporte de dovelas hasta la grúa y de los costos de operación de los equipos.

Normalmente, una grúa puede erigir tableros muy rápidamente, entre cuatro y seis dovelas en un día normal de trabajo, empleando barras temporales para el soporte temporal de las dovelas, sin el retraso típico que significa el instalar el preesfuerzo permanente.

Normalmente, la colocación de dovelas mediante grúa, implica los siguientes procedimientos³⁸:

- ✓ Puesta en obra de apoyos provisionales ajustables, y fácilmente desmontables, situados a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del vano central (para una luz variable entre los 18 y 30m).
- ✓ Apoyos provisionales con sistema de gatos hidráulicos, que permitan la construcción en voladizo.

³⁸ **MATHIVAT**, J. Construcción de Puentes de Hormigón Pretensado por Voladizos Sucesivos. Métodos de Colocación de Dovelas. Editores Técnicos Asociados S.A. 1 ed. española, Barcelona, 1980. Pág. 287.

- ✓ Uso de pretensado provisional que asegure la solidarización sucesiva de los elementos antes del pretensado definitivo.
- ✓ Supresión de la junta clásica de cierre por una unión directa de los dos voladizos enfrentados (izaje del elemento de cierre mediante un sistema de “puente de cierre”).
- ✓ Por último, pretensado definitivo realizado por un cableado continuo, en lugar del cableado típico de voladizo o ménsula.

La principal limitación de una grúa está dada por las condiciones agrestes o favorables del sitio para la operación del equipo. En ambientes, el transporte de las dovelas y la operación de la grúa pueden resultar muy afectados por el tráfico. Por otra parte, es necesario recurrir a falsos apoyos durante el montaje para estabilizar los voladizos.

b. Izado de dovelas mediante un equipo móvil de izaje o levantamiento apoyado directamente sobre el tablero erigido

En sitios de obra, donde se facilite transportar las dovelas en todos los puntos del puente al nivel de piso, incluyendo zonas navegables en donde las dovelas puedan transportarse en barcasas, resulta práctico erigir las dovelas mediante piernas de cortante apoyadas sobre el tablero (ver Figura C-6).

En su fase inicial, el sistema no es completamente autónomo, dado que requiere ubicar la dovela de pila y al menos una dovela adyacente a lado y lado de la misma, generalmente mediante grúa, con el fin de brindar una plataforma para montar el sistema de izaje. Este equipo normalmente se estabiliza por el contra peso ejercido por anclaje preesforzado en las dovelas del tablero ensambladas previamente y por su propio peso cuando levanta una dovela. Las piernas de

cortante, están destinadas a efectuar, sucesivamente, los procesos de izado, traslación y colocación de la dovelas³⁹.

Figura C-6. Izado de dovelas transportadas en barcasas mediante piernas de cortante



Fuente: <http://hosted.verticalresponse.com/520741/1d9417abed/TEST/TEST/>

Una vez izada la dovela, las piernas de cortante se desplazan hacia adelante y repite el procedimiento para las dovelas restantes. Si por algún motivo no es posible emplear grúa para el montaje del segmento de pila, puede diseñarse la cabeza de la pila para que soporte los equipos del sistema de izaje.

Generalmente, este sistema puede erigir solamente una dovela por día en cada extremo del doble voladizo incluyendo el preesforzado permanente instalado en cada par de dovelas. Sin embargo, puede diseñarse para que ensamble hasta cuatro dovelas por día (dos en cada extremo del doble voladizo) cuando los cables permanentes se diseñan para anclarse cada dos posiciones o dovelas.

³⁹ Ibid

C. Izado de dovelas mediante una viga de lanzamiento.

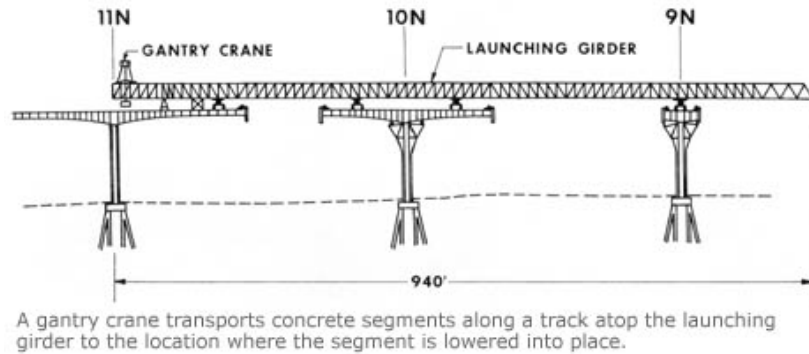
Para este sistema en particular, las dovelas pueden ser transportadas incluso sobre el tablero mismo. Este sistema es muy empleado en construcción de puentes de gran altura del puente sobre el nivel del piso, construcciones en zonas urbanas o sobre aguas poco navegables. Normalmente el sistema de lanzamiento suele realizarse mediante una viga metálica con un sistema de grúa-pórtico, el cual se apoya en las pilas mediante tres soportes, desplazándose a lo largo del tablero, erigiendo las dovelas en voladizos balanceados. La Figura C-7 nos esquematiza la secuencia de izaje y posterior desplazamiento de una viga de lanzamiento.

Normalmente, una viga de lanzamiento consiste en cerchas de sección triangular o rectangular, con altura constante o variable, haciéndose más alta en su centro de luz. Suele componerse por parte ensamblables conectadas con pernos de alta resistencia a la fricción y barras de pretensado.

Para el montaje de la viga lanzable, se requiere instalar un sistema de andamiaje en la cabeza de la pila, que soporte la dovela de pila, y a su vez, sirva de apoyo para el soporte frontal de la grúa-pórtico. Es recomendable someter la pila a pruebas de carga, luego de instalarle los andamiajes y antes de montar la viga lanzable, con el fin de garantizar su seguridad estructural durante el proceso de construcción y evitar el colapso de la misma⁴⁰.

⁴⁰ MATHIVAT Op. Cit.

Figura C-7 Izado de dovelas mediante viga lanzada soportada por tirantes.



Fuente: http://www.michiganhighways.org/indepth/zilwaukee_report3.html

Se pueden emplear aceros de alta resistencia en su fabricación, para reducir su peso. Sin embargo, y a medida que el tamaño y la longitud de la grúa aumenten, se presentan grandes deflexiones en la viga lanzada, las cuales suelen ser controladas mediante apoyos temporales o implementado un sistema de atirantamiento mediante un poste del cual se desprenden los tirantes, como se muestra en la Figura C-8.

Figura C-8. Izado de dovelas mediante viga lanzada soportada por tirantes.



Fuente: SETRA. *Prestressed Concrete Bridges built using the Cantilever Method.*

Pág. 93.

Según la longitud de la viga lanzada, en comparación con la longitud de la luz a erigir, se pueden clasificar en:

- ✓ Vigas con longitud ligeramente superior a la del vano.
- ✓ Vigas con longitud ligeramente superior al doble de la longitud del vano.

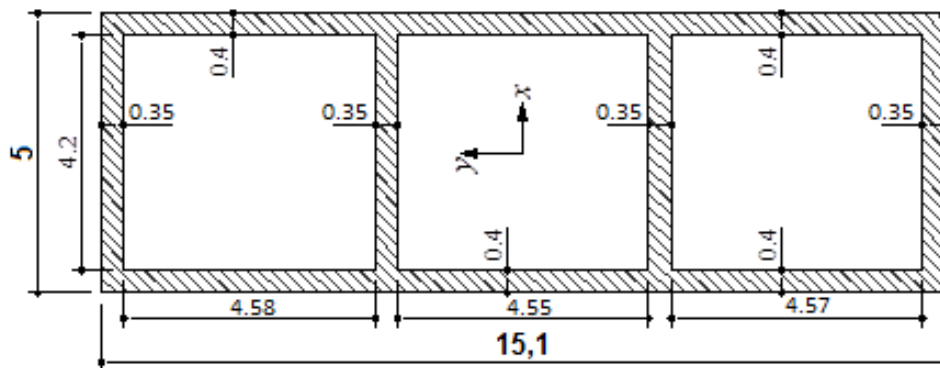
ANEXO D. CANTIDADES DE OBRA

PILAS

Pilares (Cantidades para las dos pilas) Hp= 37,5m

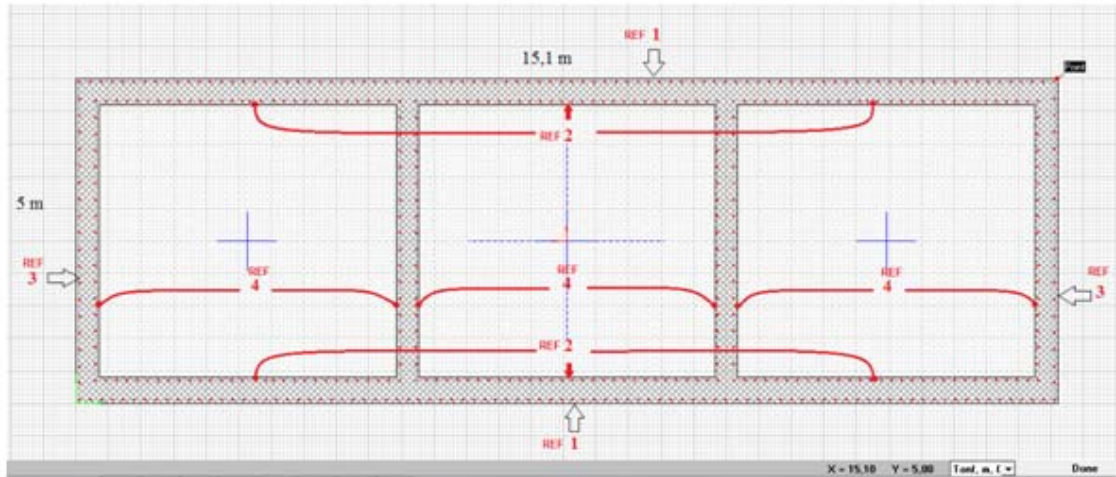
Área (m ²)	17.96	
Hp (m)	37.5	
Pilas	2	1
Concreto Total Pilares (m³)	1347	673.5

Figura16. Secciones transversales del pilar



Fuente: Tesis *Evaluación Del Comportamiento Estructural Al Modificar La Altura Del Pilonó En Un Puente Extradado De Luz Central Igual 100 M.* Autores: Jhon Peña y Andrés Vargas pág. 33.

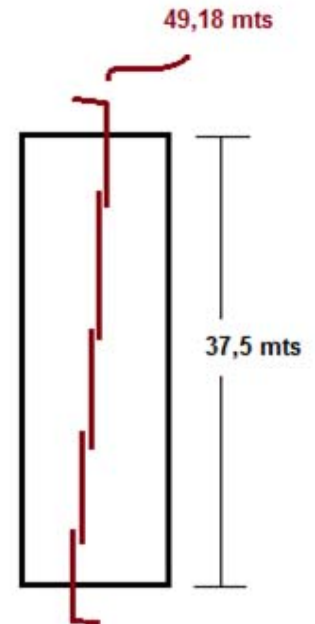
Figura D-1. Refuerzo Longitudinal.



Refuerzo Longitudinal

	Diámetro N°	# barras	L [m]	Peso [ton]
Ref. 1	8	116	49.18	22.69
Ref. 2	8	108	49.18	21.12
Ref. 3	8	36	49.18	7.04
Ref. 4	8	96	49.18	18.78

Peso Longitudinal cada Pila	69.63
Peso TOTAL Longitudinal (Tonf)	139.26

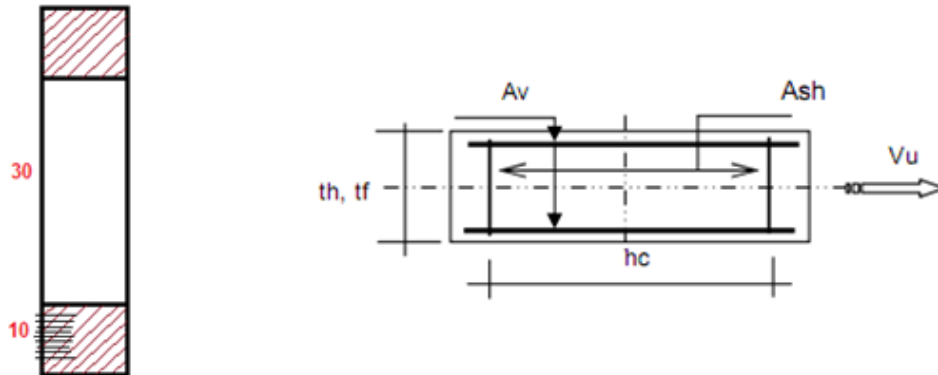


Diámetro N° 8 = (1") 25mm

Distribución Longitud Acero(m)

Total L(m) 49,18

Refuerzo por Cortante (A_v)



$Sz-plasti$ [cm]		10	Zona de Plastificación					
		Refuerzo [pulg]	A_v colocado [cm ²]	S [cm]	L [m]	# Estribos/muro	L de Estribo [m]	Peso [ton]
Longitudinal	Abajo	3	1,425	10	5,5	55	10,86	1,34
	Arriba	3	1,425	10	5,5	55	10,86	1,34
Transversal	Abajo	3	1,425	10	5,5	55	31,16	1,92
	Arriba	3	1,425	10	5,5	55	31,16	1,92
Peso Zona Plastificación (A_v)								6,51

$Sz-inter$ [cm]		30	Zona Intermedia					
		Refuerzo [pulg]	$A_v/muro$ [cm ²]	S [cm]	L [m]	# Estribos/muro	L de Estribo [m]	Peso [ton]
Longitudinal	Abajo	3	1,425	30	26,5	89	10,86	2,16
	Arriba	3	1,425	30	26,5	89	10,86	2,16
Transversal	Abajo	3	1,425	30	26,5	89	31,16	3,10
	Arriba	3	1,425	30	26,5	89	31,16	3,10
Peso Zona Intermedia (A_v)								5,26

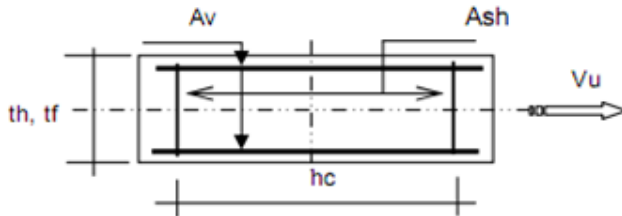
A_v colocado y $A_v/muro$ (cm ²)
En 2 Ramas

S (cm) Separación Vertical de Estribos en Zona.

L (m) Longitud del Pilar en Zona.

Estribos/muro en Zona.

Refuerzo por Cortante (Ash)



$Sz\text{-plasti}$ [cm]	10	Zona de Plastificación						
		Refuerzo [pulg]	A ref [cm ²]	# Estribos/cara muro	L [m]	# Estribos/muro	L de Estribo [m]	Peso [ton]
Longitudinal	Abajo	3	0,713	110	5,5	6050	0,61	8,26
	Arriba	3	0,713	110	5,5	6050	0,61	8,26
Transversal	Abajo	3	0,713	265	5,5	14575	0,66	10,76
	Arriba	3	0,713	265	5,5	14575	0,66	10,76
Peso Zona Plastificación (Ash)								38,03

$Sz\text{-inter}$ [cm]	30	Zona Intermedia						
		Refuerzo [pulg]	A ref [cm ²]	# Estribos/cara muro	L [m]	# Estribos/muro	L de Estribo [m]	Peso [ton]
Longitudinal	Abajo	3	0,713	17	26,5	1502	0,61	2,05
	Arriba							
Transversal	Abajo	3	0,713	50	26,5	4417	0,66	3,26
	Arriba							
Peso Zona Intermedia (Ash)								5,31

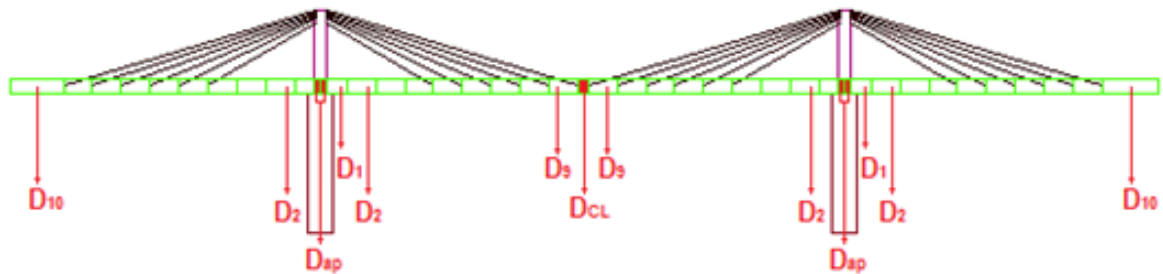
Estribos/cara muro. En Zona Horizontalmente

L (m) Longitud del Pilar en Zona.

Estribos/muro en Zona.

Peso TOTAL Cortante [Tonf]	110,23
-----------------------------------	---------------

DOVELAS



Tablero (Cantidades en Dovelas y Refuerzo Pasivo)

Concreto Dovelas					
Dovela	Area (m2)	Long. Unitaria (m)	Cantidad	Volúmen (m3)	Peso (Ton)
Dap	25.33	1.25	4	126.66	303.99
D1	8.26	3.75	4	123.87	297.28
D2	8.05	5.50	4	177.16	425.19
D3	7.92	5.50	4	174.17	418.00
D4	7.71	5.50	4	169.68	407.23
D5	7.58	5.50	4	166.69	400.07
D6	7.37	5.50	4	162.23	389.35
D7	7.24	5.50	4	159.26	382.22
D8	7.04	5.50	4	154.81	371.55
D9	6.90	5.50	4	151.86	364.46
D10	6.84	11.00	2	150.38	360.92
DCL	6.77	2.00	1	13.54	32.49
TOTAL				1730.31	4152.75

EMPUJE

Las Dovelas D10 se instalan por EMPUJE.

Refuerzo Pasivo Tablero

Se Asumió una Cuantía de 90Kg/m3

Concreto Tablero (m3)	1730.31
Cuantía	90Kg/m3
Ref. Pasivo Tablero (Tonf)	155.73

Cables Extradados y Pretensado Interno

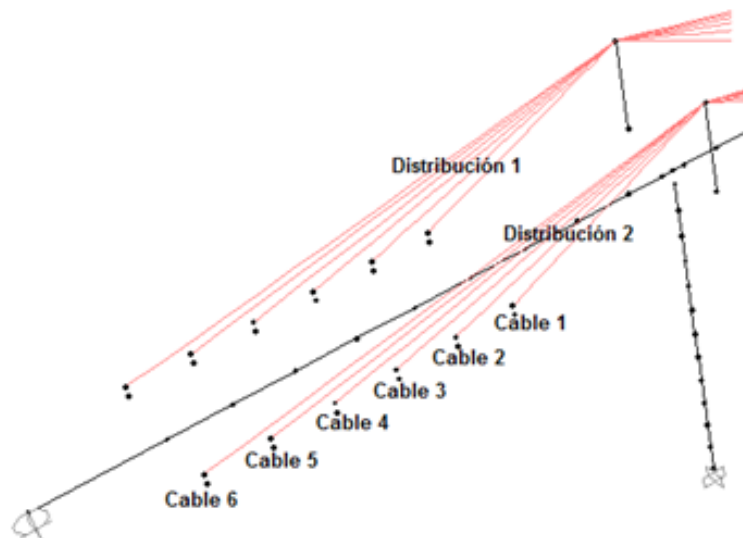
Acero Activo

Torón 0.6"	Torón 1.524 cm	
Área [m ²]	0.00014	1.40 cm ²
γ [lb/m]	2.43	
fpu [Mpa]	1860	

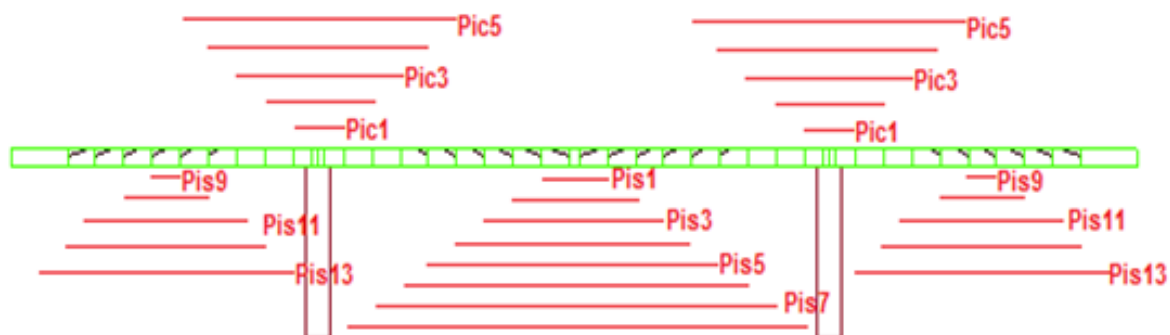
Cable	Longitud [m]	Torones 0.6"	Peso [lb]	Peso [ton]
1	50.0	12	1457.3	0.661
2	44.6	12	1300.5	0.590
3	39.3	12	1145.0	0.519
4	34.0	12	991.0	0.449
5	28.8	12	839.2	0.381
6	23.7	12	691.3	0.314
Peso para una sola distribución				2.914

Distribución de los Cables Extradados

Peso TOTAL Cables (Tonf)	23.31
<i>Para las 8 Distribuciones</i>	



Pretensado Interno							
	Po [Tonf]	# Torones calculados	#Cables - 12Torones	Longitud [m]	Múltiplo Longitud	Peso [lb]	Peso [ton]
Pic1	650	41	4	10	2	2330.7	1.057
Pic2	650	41	4	21	2	4894.4	2.220
Pic3	450	28	3	32	2	5593.6	2.537
Pic4	460	29	3	43	2	7516.4	3.409
Pic5	460	29	3	54	2	9439.3	4.282
Pis1	606.47	38	4	13	1	1514.9	0.687
Pis2	660.45	41	4	24	1	2796.8	1.269
Pis3	724.03	45	4	35	1	4078.7	1.850
Pis4	801.04	50	5	46	1	6700.7	3.039
Pis5	446.71	28	3	57	1	4981.8	2.260
Pis6	501.11	32	3	68	1	5943.2	2.696
Pis7	572.22	36	3	79	1	6904.6	3.132
Pis8	586.88	37	4	90	1	10488.1	4.757
Pis9	357.56	23	2	5.5	2	640.9	0.291
Pis10	372.63	24	2	16.5	2	1922.8	0.872
Pis11	389.90	25	3	33	2	5768.4	2.617
Pis12	405.22	26	3	38.5	2	6729.8	3.053
Pis13	176.03	11	1	44	2	2563.7	1.163
Peso Total (Tonf)							41.190



PILONOS

TORRES Pilonos (Concreto, Acero Long. y Acero Trans.)

Dimensiones

Altura Torre (m)	10
Ancho (m)	1.5
Largo (m)	2.5
Cantidad Torres	4

Concreto Total Torres (m3)	150
----------------------------	-----

ACERO DE LAS TORRES (LONGITUDINAL)	
<i>Acero para una sola Torre (Pilono)</i>	6.23 kg
PARA LAS 4 TORRES (4 PILONOS)	24.9 kg

ACERO DE LAS TORRES (TRANSVERSAL)	
<i>Acero para una sola Torre (Pilono)</i>	2.46 kg
PARA LAS 4 TORRES (4 PILONOS)	9.85 kg

TABLA RESUMEN DE LAS CANTIDADES

	Peso Total [Tonf]	%
Cables extradados	23.3	4.6
Pretensado Interno	41.2	8.2
Pilares (Longitudinal)	139.3	27.6
Pilares (Cortante)	110.2	21.8
Ref. Pasivo Tablero	155.7	30.9
Acero Torres (long.)	24.905	4.9
Acero Torres (trans)	9.852	2.0
Total	504.480	100.0

Total Concreto	3227.3	%
Concreto tablero (m3)	1730.3	53.6
Concreto pilares (m3)	1347.0	41.7
Concreto torres (m3)	150.0	4.6

ANEXO E ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Excavaciones varias sin clasificar	UNIDAD:	m3

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.
060	Retroexcavadora 120 HP	\$/hora	\$ 102.000,00	35	\$ 2.914,29
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 53,44
					Sub-Total
					\$ 2.967,73

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.
					Sub-Total
					\$ -

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.
						Sub-Total
						\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Pres taci one s	Jornal Total	Rendimien to	Valor-Unit.
210	AYUDANTE	1	\$ 33.969,89	1,8	\$ 61.145,80	280	\$ 218,38
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	280	\$ 316,02
							Sub-Total
							\$ 534,40

Total Costo Directo	\$ 3.502,00
----------------------------	--------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 3.502,00
-------------------------------------------------	--------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Rellenos de Estructura	UNIDAD:	m3

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
006	Compactador manual (tipo rana)	\$/hora	\$ 5.995,00	1,5	\$ 3.996,67	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 2.266,02	
					Sub-Total	\$ 6.262,69

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
118	Material seleccionado para relleno	m3	\$ 16.350,00	1,30	\$ 21.255,00	
104	Agua	Lt.	\$ 23,00	30,00	\$ 690,00	
					Sub-Total	\$ 21.945,00

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor-Unit.	
					Sub-Total	\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendto	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	3	\$ 33.969,89	1,8	\$ 183.437,41	12	\$ 15.286,45	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	12	\$ 7.373,76	
							Sub-Total	\$ 22.660,21

Total Costo Directo	\$ 50.867,90
----------------------------	--------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 50.868,00
-------------------------------------------------	--------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Pilotes de concreto in situ de d=2,5m	UNIDAD:	ml

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.
079	Piloteadora	\$/hora	\$ 550.000,00	0,869	\$ 632.500,00
080	Equipo de soldadura	\$/hora	\$ 17.000,00	0,787	\$ 21.590,00
064	Vibrador de concreto	\$/hora	\$ 6.300,00	4,08	\$ 1.544,12
004	Cargador 930 o equivalente	\$/hora	\$ 59.950,00	4,08	\$ 14.693,63
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 2.000,00
Sub-Total					\$ 672.327,75

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.
189	CONCRETO GRAVA COMUN 4000 PSI (280 Kg/cm ²)	M3	\$ 346.840,00	5,0	\$ 1.734.200
99	Aditivo (Retardante plastificante reductor del fraguado)	Kg	\$ 8.500,00	7,80	\$ 66.300
100	Bentonita	Kg	\$ 30.000,00	5,28	\$ 158.400
Sub-Total					\$ 1.958.900,00

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor-Unit.
Sub-Total					\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.
210	AYUDANTE	1	\$ 33.969,89	1,8	\$ 61.145,80	10,04	\$ 613.913,67
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	1,16	\$ 102.889,65
Sub-Total							\$ 716.803,33

Total Costo Directo	\$ 3.348.031,07
----------------------------	------------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 3.348.031,00
-------------------------------------------------	------------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Camisa permanente de diámetro exterior 2.6m	UNIDAD:	ml

I. EQUIPO

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tipo</i>	<i>Tarifa/Hora</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 748,15	
Sub-Total						\$ 748

II. MATERIALES EN OBRA

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio-Unit.</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
214	Camisa metálica en acero A-37	Kg	\$ 7.100,00	250,0	\$ 1.775.000,00	
Sub-Total						\$1.775.000

III. TRANSPORTES

<i>Ítem</i>	<i>Material</i>	<i>Distancia</i>	<i>M3-Km</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
Sub-Total						\$ -

IV. MANO DE OBRA

<i>Ítem</i>	<i>Trabajador</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal</i>	<i>Prestaciones</i>	<i>Jornal Total</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
210	AYUDANTE	1	\$33.969,89	1,8	\$61.145,80	20	\$3.057,29	
211	OFICIAL	1	\$49.158,39	1,8	\$88.485,10	20	\$4.424,26	
Sub-Total								\$ 7.482

Total Costo Directo	\$1.783.230
----------------------------	--------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$1.783.230,00
-------------------------------------------------	-----------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Concreto clase A, para viga cajón en voladizos sucesivos	UNIDAD:	m3

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
064	Vibrador de concreto	\$/hora	\$ 6.300,00	0,4600	\$ 13.695,65	
001	Bomba de concreto	\$/hora	\$ 63.524,00	0,3500	\$ 181.497,14	
081	Carro de avance	\$/día	\$ 1.500.000,00	0,2300	\$ 345.000,00	
048	Grúa con torre	\$/hora	\$ 299.750,00	8,0000	\$ 37.468,75	
082	Teleférico	gl	\$ 1.500,00	30,000	\$ 45.000,00	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
					Sub-Total	\$ 622.661,55

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
190	CONCRETO GRAVA COMUN 5000 PSI (350 Kg/cm2)	M3	\$ 381.640,00	1,05	\$ 400.722,00	
					Sub-Total	\$ 400.722,00

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.	
						Sub-Total	\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Pres-taciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	6	\$ 33.969,89	1,8	\$ 366.874,81	2	\$ 183.437,41	
211	OFICIAL	2	\$ 49.158,39	1,8	\$ 176.970,20	2	\$ 88.485,10	
							Sub-Total	\$ 271.922,51

Total Costo Directo	\$ 1.295.306,05
----------------------------	------------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 1.295.306,00
-------------------------------------------------	------------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Concreto Clase C	UNIDAD	m3
		:	

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
001	Bomba de concreto	\$/hora	\$ 63.524,00	0,35	\$ 181.497,14	
057	Retroexcavadora E-200 sobre orugas	\$/hora	\$ 106.547,50	10,00	\$ 10.654,75	
064	Vibrador de concreto	\$/hora	\$ 6.300,00	0,46	\$ 13.695,65	
048	Grúa con torre	\$/hora	\$ 299.750,00	8,00	\$ 37.468,75	
082	Teleférico	gl	\$ 1.500,00	30,00	\$ 45.000,00	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
					Sub-Total	\$ 288.316,30

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
190	CONCRETO GRAVA COMUN 5000 PSI (350 Kg/cm2)	M3	\$ 381.640,00	1,05	\$ 400.722,00	
					Sub-Total	\$ 400.722,00

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.	
						Sub-Total	\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prescripciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	4	\$ 33.969,89	1,8	\$ 244.583,21	2	\$ 122.291,60	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	2	\$ 44.242,55	
							Sub-Total	\$ 166.534,16

Total Costo Directo	\$ 855.572,45
----------------------------	----------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 855.572,00
-------------------------------------------------	----------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Concreto Clase F	UNIDAD:	m3

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
045	Formaleta metálica (concreto hidráulico)	\$/hora	\$ 12.000,00	2,00	\$ 6.000,00	
064	Vibrador de concreto	\$/hora	\$ 6.300,00	20,00	\$ 315,00	
050	Mezcladora de concreto (1 bulto)	\$/hora	\$ 6.074,60	1,00	\$ 6.074,60	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
					Sub-Total	\$ 12.389,60

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
110	Cemento gris en obra	Kg	\$ 392,40	275,00	\$ 107.910,00	
102	Agregado para concreto hidráulico	m3	\$ 44.690,00	0,65	\$ 29.048,50	
104	Agua	Lt.	\$ 23,00	220,00	\$ 5.060,00	
108	Arena lavada	m3	\$ 49.050,00	0,55	\$ 26.977,50	
119	Piedra para concreto ciclópeo (rajón o canto rodado)	m3	\$ 44.690,00	0,45	\$ 20.110,50	
					Sub-Total	\$ 189.106,50

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.	
						Sub-Total	\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	1	\$ 33.969,89	1,8	\$ 61.145,80	2,50	\$ 24.458,32	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	2,50	\$ 35.394,04	
							Sub-Total	\$ 59.852,36

Total Costo Directo	\$ 261.348,46
----------------------------	----------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 261.348,00
-------------------------------------------------	----------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa.	UNIDAD:	Kg

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
076	Cizalla	\$/hora	\$ 530,00	80,50	\$ 6,58	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
					Sub-Total	\$ 6,58

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
101	Acero de refuerzo A60	Kg	\$ 2.416,00	1,05	\$ 2.536,80	
105	Alambre negro de amarrar	Kg	\$ 2.746,80	0,03	\$ 82,40	
					Sub-Total	\$ 2.619,20

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.	
						Sub-Total	\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	2	\$ 33.969,89	1,8	\$ 122.291,60	150,00	\$ 815,28	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	150,00	\$ 589,90	
							Sub-Total	\$ 1.405,18

Total Costo Directo	\$ 4.030,97
----------------------------	--------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 4.030,97
-------------------------------------------------	--------------------

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Acero de Preesfuerzo	UNIDAD:	Kg

I. EQUIPO

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tipo</i>	<i>Tarifa/Hora</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
077	Gato para tensionamiento	\$/hora	\$ 12.000,00	600,00	\$ 20,00	
078	Bomba para gato de tensionamiento	\$/hora	\$ 36.890,00	600,00	\$ 61,48	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
Sub-Total						\$ 81,48

II. MATERIALES EN OBRA

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio-Unit.</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
216	Anclajes móviles	Un	\$ 1.100.000,00	0,002	\$ 2.200,00	
215	Anclajes fijos	Un	\$ 1.289.600,00	0,002	\$ 2.579,20	
213	ACERO PARA TENSIONAMIENTO	ml	\$ 560,00	0,04	\$ 16.000,00	
Sub-Total						\$ 20.779,20

III. TRANSPORTES

<i>Ítem</i>	<i>Material</i>	<i>VOL. o PESO</i>	<i>DISTANCI A</i>	<i>M3 o Ton/Km</i>	<i>TARIFA</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
Sub-Total						\$ -	

IV. MANO DE OBRA

<i>Ítem</i>	<i>Trabajador</i>	<i>Cant idad</i>	<i>Jornal</i>	<i>Prestaci ones</i>	<i>Jornal Total</i>	<i>Rendimien to</i>	<i>Valor-Unit.</i>	
210	AYUDANTE	2	\$ 33.969,89	1,8	\$ 122.291,60	150,00	\$ 815,28	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	150,00	\$ 589,90	
Sub-Total								\$ 1.405,18

Total Costo Directo \$ 22.265,86

Precio unitario total aproximado al peso \$ 22.266,00

PROYECTO	PUENTE EXTRADOSADO		
ITEM:	Cable Extradosado	UNIDAD:	Kg

I. EQUIPO

Ítem	Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
077	Gato para tensionamiento	\$/hora	\$ 12.000,00	600,00	\$ 20,00	
078	Bomba para gato de tensionamiento	\$/hora	\$ 36.890,00	600,00	\$ 61,48	
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,10		\$ 0,00	
Sub-Total						\$ 81,48

II. MATERIALES EN OBRA

Ítem	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
216	Anclajes móviles	Un	\$ 1.100.000,00	0,001	\$ 1.100,00	
215	Anclajes fijos	Un	\$ 1.289.600,00	0,001	\$ 1.289,60	
213	ACERO PARA TENSIONAMIENTO	ML	\$ 560,00	0,02	\$ 32.000,00	
Sub-Total						\$ 34.389,60

III. TRANSPORTES

Ítem	Material	VOL. o PESO	DISTANCIA	M3 o Ton/Km	TARIFA	Valor-Unit.	
Sub-Total							\$ -

IV. MANO DE OBRA

Ítem	Trabajador	Cantidad	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
210	AYUDANTE	2	\$ 33.969,89	1,8	\$ 122.291,60	150,00	\$ 815,28	
211	OFICIAL	1	\$ 49.158,39	1,8	\$ 88.485,10	150,00	\$ 589,90	
Sub-Total								\$ 1.405,18

Total Costo Directo	\$ 35.876,26
----------------------------	---------------------

Precio unitario total aproximado al peso	\$ 35.876,00
-------------------------------------------------	---------------------

ANEXO G. ROVEEDORES

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

ITEM	EQUIPO	UNIDAD	TARIFA	PROVEEDOR	INFO
001	Bomba de concreto	\$/hora	\$ 63.524	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
002	Bulldozer D6	\$/hora	\$ 70.850	RETROMAQUINAS S.A. - CUCUTA	TEL. 5817571-5817572
003	Cargador 920 o equivalente	\$/hora	\$ 51.775	TRANSMAQ SAENZ LTDA. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
004	Cargador 930 o equivalente	\$/hora	\$ 59.950	TRANSMAQ SAENZ LTDA. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
006	Compactador manual (tipo rana)	\$/hora	\$ 5.995	RETROMAQUINAS S.A. - CUCUTA	TEL. 5817571-5817572
007	Compactador manual vibratorio (tipo canguro)	\$/hora	\$ 4.905	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
045	Formaleta metálica (concreto hidráulico)	\$/hora	\$ 12.000	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
048	Grúa con torre	\$/hora	\$ 299.750	ING. WILLIAM BECERRA - CUCUTA	TEL. 3002412681
050	Mezcladora de concreto (1 bulto)	\$/hora	\$ 6.075	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
053	Motobomba de concreto	\$/hora	\$ 65.400	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
056	Retroexcavadora CAT 320	\$/hora	\$ 75.210	ING. WILLIAM BECERRA - CUCUTA	TEL. 3002412681
057	Retroexcavadora E-200 sobre orugas	\$/hora	\$ 106.548	TRANSMAQ SAENZ LTDA. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
058	Retroexcavadora 428 doble transmisión	\$/hora	\$ 75.210	ING. WILLIAM BECERRA - CUCUTA	TEL. 3002412681
059	Retroexcavadora sobre llantas JD 410	\$/hora	\$ 75.210	ING. WILLIAM BECERRA - CUCUTA	TEL. 3002412681
060	Retroexcavadora 120 HP	\$/hora	\$ 102.000	TRANSMAQ SAENZ LTDA. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
063	Topografía Equipo	\$/hora	\$ 2.667	ING. JOSE LUIS MANZANO	joseluismanzano@hotmail.com
064	Vibrador de concreto	\$/hora	\$ 6.300	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
065	VibrocompactadorDynamac (10 Toneladas)	\$/hora	\$ 65.400	ING. WILLIAM BECERRA - CUCUTA	TEL. 3002412681
066	Volqueta 6 m3	\$/hora	\$ 49.050	TRANSMAQ SAENZ LTDA. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
068	Equipo perforación pilotes	\$/hora	\$ 7.800	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
072	Soldador 400 amperios	Dia	\$ 185.000	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
073	Herramienta menor (10% de M/O)	%	\$ 0,1		
075	Central de fabricación de mezcla	\$/hora	\$ 158.000	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
076	Cizalla	\$/hora	\$ 530	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
077	Gato para tensionamiento	\$/hora	\$ 115.280	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carlooseduardosalgado@gmail.com

ITEM	EQUIPO	UNIDAD	TARIFA	PROVEEDOR	INFO
078	Bomba para gato de tensionamiento	\$/hora	\$ 36.890	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carlooseduardosalgado@gmail.com
079	Piloteadora	\$/hora	\$ 550.000	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
080	Equipo de soldadura	\$/hora	\$ 17.000	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
081	Carro de avance	\$/día	\$ 1.500.000	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carlooseduardosalgado@gmail.com
082	Teleférico	gl	\$ 1.500	ING. JOSE LUIS MANZANO	joseluismanzano@hotmail.com

MATERIALES BASICOS

ITEM	MATERIALES EN OBRA	UNIDAD	COSTO	PROVEEDOR	INFO
99	Aditivo (Retardante plastificante reductor del fraguado)	kg	\$ 8.500	SIKA - M.A. PEÑALOZA - CUCUTA	TEL 5718401
100	Bentonita	kg	\$ 30.000	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
101	Acero de refuerzo A60	kg	\$ 2.416	FERCO LTDA. - CUCUTA	TEL:5873333-5873331
102	Agregado para concreto hidráulico	m3	\$ 44.690	RETROMAQUINAS S.A. - CUCUTA	TEL. 5817571-5817572
104	Agua	Lt.	\$ 23		
105	Alambre negro de amarrar	kg	\$ 2.747	DEPOSITO EL PALUSTRE	TEL:5787865-5787052
106	Alambre galvanizado No. 12	kg	\$ 3.706	FERCO LTDA	TEL.:5873327
107	Antisol blanco (presentación 20 Kg)	kg	\$ 6.121	SIKA - M.A. PEÑALOZA - CUCUTA	TEL 5718401
108	Arena lavada	m3	\$ 49.050	PRECONCRETOS S.A.	TEL 5849160
110	Cemento gris en obra	kg	\$ 392	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
113	Formaleta concreto clase A,B,C	m2	\$ 10.900	EQUIPOS ARCO - CUCUTA	TEL.876513-876577
118	Material seleccionado para relleno	m3	\$ 16.350	RETROMAQUINAS S.A. - CUCUTA	TEL. 5817571-5817572
119	Piedra para concreto ciclópeo (rajón o canto rodado)	m3	\$ 44.690	RETROSAENZ CONSTRUCTORES S. A. - CUCUTA	TEL. 5780622-3134994137
178	Acero de refuerzo A37	kg	\$ 2.450	FERCO LTDA. - CUCUTA	TEL:5873333-5873331
185	CONCRETO GRAVA COMUN 2000 PSI (140 Kg/cm2)	m3	\$ 283.040	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
186	CONCRETO GRAVA COMUN 2500 PSI (175 Kg/cm2)	m3	\$ 300.440	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
187	CONCRETO GRAVA COMUN 3000 PSI (210 Kg/cm2)	m3	\$ 313.200	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477

ITEM	MATERIALES EN OBRA	UNIDAD	COSTO	PROVEEDOR	INFO
188	CONCRETO GRAVA COMUN 3500 PSI (245 Kg/cm ²)	m3	\$ 332.920	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
189	CONCRETO GRAVA COMUN 4000 PSI (280 Kg/cm ²)	m3	\$ 346.840	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
190	CONCRETO GRAVA COMUN 5000 PSI (350 Kg/cm ²)	m3	\$ 381.640	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
191	CONCRETO GRAVA FINA 3000 PSI (210 Kg/cm ²)	m3	\$ 323.640	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
192	MORTERO 2000 PSI (140 Kg/cm ²)	m3	\$ 301.333	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
193	CEMENTO GRIS (Bulto x 50 Kg)	m3	\$ 23.000	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
194	MORTERO 1500 PSI (105 Kg/cm ²)	m3	\$ 288.666	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
197	MORTERO 4000 PSI (280 Kg/cm ²)	m3	\$ 357.605	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
199	BOMBEO DE CONCRETO	m3	\$ 34.800	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
206	CONCRETO IMPERMEABILIZADO 4000 PSI (280 Kg/cm ²)	m3	\$ 360.760	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
209	CONCRETO GRAVA COMUN 4500 PSI (315 Kg/cm ²)	m3	\$ 363.080	CEMEX CONCRETOS CUCUTA	TEL. 5764477
213	ACERO PARA TENSIONAMIENTO	mI	\$ 560	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carloseduardosalgado@gmail.com
214	Camisa metálica en acero A-37	kg	\$ 7.200	JULIO CESAR CASANOVA N. - CUCUTA	CEL.3125870620
215	Anclajes fijos	Un	\$ 1.289.600	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carloseduardosalgado@gmail.com
216	Anclajes móviles	Un	\$ 1.100.000	STUP DE COLOMBIA - CARLOS SALGADO	carloseduardosalgado@gmail.com