

*Universidad de Matanzas  
Sede “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**CONCEPTUALIZACIÓN DEL TABLERO DE UN PUENTE MIXTO Y  
PREFABRICADO PARA SER CONSTRUIDO POR EL MÉTODO DE  
LANZAMIENTO.**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Autor:**

César David Milán Ferrer

**Tutores:**

Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado  
Ing. Beatriz Martínez Pedraza

*Matanzas, 2018*

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, César David Milán Ferrer, declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en tal calidad, autorizo a la Universidad de Matanzas a emplearlo como material de consulta.

Y para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

---

Firma del autor

César David Milán Ferrer

---

Firma del tutor

Ing. Pedro A. Hernández Delgado

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

“Los sueños parecen al principio imposibles, luego improbables y luego,  
cuando nos comprometemos, se vuelven inevitables”.

***Mahatma Gandhi***

## **Dedicatoria**

A mi mamita linda por su amor incondicional y por ser mi ángel protector, por haberme enseñado que en la vida todo es sacrificio y que nunca es tarde para volver a empezar.

A mi papito por sus consejos y por demostrarme que a pesar de las circunstancias de la vida ha sabido levantarse y seguir adelante.

A mi tata más pequeña por quererme tanto y entregarme todo su amor.

A mi abuela Gema por formar parte de mi vida día a día, por su amor, por su forma de ser y por haber formado la familia que hoy tenemos.

A mi tía Yayi por estar conmigo en las buenas y en las malas, por dedicarme tiempo, por saber escucharme y aconsejarme.

A mis hermanas Hany, Yumara y Yanet por malcriarme tanto y por entregarme tanto amor.

A mis tíos y primos, los que están a mi lado y los que a pesar de la distancia siempre están al tanto de todo.

A mi jefa Betty, Noel, Bea, Naylen y Noe por ser mi guía y por siempre tenerme presente a pesar de no vernos a diario.

A todos mis grandes amigos, los que me han apoyado y han estado a mi lado en los momentos más difíciles.

A mi amigo Alexander Albear que aunque la vida no le dio la posibilidad de seguir a nuestro lado nunca lo olvidaremos.

Y en especial dedicación a la memoria de mi bisabuela Berta y mi tío Jorge Emilio que aunque no estén físicamente entre nosotros siempre quisieron ver el resultado de estos cinco años de estudio.

## **Agradecimientos**

A mis adorados padres Gema y César, eternamente agradecido.

A mi abuela Gema por todo su amor y preocupación.

A mi hermana Mely y mi cuñado Heliet por todo lo que hacen por mí.

A mi tía Yayi y mi primo Gaby por estar a mi lado en los momentos más difíciles

A mis hermanas Hany, Yumara, Yanet, a mis sobrinos y cuñados por preocuparse por mí.

A mi tío Alín y Luis por su apoyo día a día.

A toda mi familia por siempre estar al tanto de mí.

A mi jefa querida Betty y familia por nunca abandonarme.

A mis tutores Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado e Ing. Beatriz Martínez Pedraza por toda su dedicación y por las enseñanzas aportadas.

A Elizabeth por apoyarme y estar a mi lado en los años más difíciles de la carrera.

A Yami y Dani por siempre estar al tanto de mí y por los momentos compartidos.

A Gretel y familia por su apoyo incondicional y por siempre tenerme presente.

A todos los profesores de la carrera en especial a Manuel, Reina, Carmen Laura y Alejandro.

A todos mis amigos de Varadero en especial a mis hermanos Daniel y Angel Luis.

A mis amigos de la vieja guardia: Andy, Darian, Patri, Rachel, Raiza, Nany, Sonya y Víctor.

A mis compañeros de estudio en especial: Wilmi, Nildy, Beatriz, Anelis, Libeisy, Sandra, Ani, Lázaro, Luis David, Canito, Richard y Raidel.

A todos los que de una forma u otra me han apoyado durante estos cinco años.

## RESUMEN

En Cuba se plantea la necesidad de la introducción de los avances científico-técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos. El autor del presente trabajo de diploma dota al Plan Inversionista de la Zona de Desarrollo Industrial de Matanzas, al Instituto de Planificación Física, a la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería y demás entidades involucradas en el desarrollo de la circunvalación norte de la Ciudad de Matanzas y por ende en el proyecto del Puente en el Abra del Yumurí, de un procedimiento de organización de obra para puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada, conformado por fases y pasos, que siguen una secuencia lógica, clara y precisa, que permite orientar como deben pre-diseñarse y construirse los puentes que emplean como sistema constructivo el lanzamiento del tablero o método de empuje para lograr la posición definitiva de la super-estructura. Para ello se emplearon la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 2012* y la Normativa Cubana 733.2009 Carreteras. Puentes y Alcantarillas. Requisitos de Diseño y Método de Cálculo.

**Palabras claves:** procedimiento, puente, método de lanzamiento, estructura mixta, prefabricada.

## **ABSTRACT**

In Cuba there is a need for the introduction of scientific-technical advances and the development of the most modern techniques for the preparation of projects. The author of this diploma work provides the Investor Plan of the Industrial Development Zone of Matanzas, the Physical Planning Institute, the Architecture and Engineering Project Company and other entities involved in the development of the northern beltway of the City of Matanzas. Slaughters and therefore in the project of the Bridge in the Abra del Yumurí, of a procedure of organization of work for launched bridges of mixed and prefabricated structure, conformed by phases and steps, which follow a logical, clear and precise sequence, which allows to orient how must be pre-designed and built the bridges that use as a constructive system the launching of the board or push method to achieve the final position of the super-structure. For this, the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 2012 and the Cuban Regulation 733.2009 Roads were used. Bridges and Sewers. Design Requirements and Calculation Method.

**Keywords:** procedure, bridge, launch method, mixed structure, prefabricated.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1 “Estado del arte y la práctica del lanzamiento de puentes de estructura compuesta y prefabricada”.....	8
1.1- Método de Lanzamiento. Términos y definiciones.....	8
1.1.1- Equipo Auxiliar para el lanzamiento de la estructura.....	10
1.1.2- Ventajas del Método de Lanzamiento.....	11
1.2- Las Estructuras Prefabricadas en la construcción de puentes lanzados.....	11
1.2.1- Ventajas y desventajas del empleo de estructuras prefabricadas. ....	13
1.3- Estructuras Mixtas y su empleo en la superestructura de puentes.....	14
1.3.1- Características Estructurales de las construcciones mixtas. ....	15
1.3.2- Ventajas y desventajas de las estructuras compuestas.....	16
1.4- Proyecto de una infraestructura vial en la provincia de Matanzas. ....	16
1.4.1- Principal inconveniente para el desarrollo del proyecto. ....	17
1.5- Principales características del Proyecto del Puente del Abra del Yumurí.....	19
1.5.1- Criterios de Diseño. ....	21
1.5.2- Significación del Proyecto del Puente del Abra del Yumurí.....	22
1.6- Antecedentes de puentes con solución similar. ....	22
1.6.1- Antecedentes en Cuba. ....	28
1.7- Normativa a Consultar.....	30
1.8- Conclusiones Parciales .....	30
Capítulo 2 “Procedimiento de pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados de secciones compuestas y prefabricadas” .....	31
2.1- Predimensionamiento de la Estructura .....	31
2.1.1- Predimensionamiento de la Sección Vial .....	31
2.1.2- Predimensionamiento de las vigas.....	33
2.1.2.1- Determinación del peralte de las vigas.....	34
2.1.2.2- Espaciamiento entre las vigas.....	34
2.1.2.3- Diseño del alma de las vigas.....	35
2.1.2.4- Diseño de las alas de las vigas.....	36
2.1.2.5- Diseño de las vigas conformadas.....	37
2.1.3- Predimensionamiento de la losa. ....	38
2.2- Dimensionamiento longitudinal de los segmentos de viga .....	39
2.3- Organización de obra.....	40
2.4- Lanzamiento y colocación de las vigas del tablero. ....	41
2.5- Colocación de la losa de hormigón.....	44
2.6- Etapa final del proyecto. ....	45
2.7- Procedimiento de pre-diseño y construcción para el lanzamiento de tableros de puentes de estructura mixta y prefabricada.....	45
2.8- Conclusiones Parciales .....	46
Capítulo 3 “Aplicación del procedimiento de pre-diseño y construcción de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada al caso de estudio del puente del Abra del Yumurí.” .....	47
3.1- Conceptualización de las vigas y losa del tablero .....	47
3.2- Predimensionamiento de la estructura.....	47

3.2.1- Predimensionamiento de las vigas.....	47
3.2.1.1- Determinación del peralte de las vigas.....	48
3.2.1.2- Descripción de las vigas .....	50
3.2.1.3- Diseño del alma de las vigas.....	50
3.2.1.4- Diseño de las alas de las vigas.....	50
3.2.1.5- Diseño de las vigas conformadas.....	51
3.2.2- Predimensionamiento de la losa .....	52
3.3- Dimensionamiento longitudinal de los segmentos de viga .....	53
3.4 Criterios para el pre-dimensionamiento de la nariz de lanzamiento .....	54
3.5- Lanzamiento y colocación de las vigas del tablero. ....	55
3.6- Colocación de la losa de hormigón.....	57
3.7 Conclusión Parcial: .....	64
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reporta en el mundo el uso de diversos sistemas constructivos que emplean estructuras compuestas para lograr la combinación de dos materiales en una unidad estructural, donde se aprovecha al máximo las características de cada uno de ellos, logrando la resistencia y durabilidad requerida en los proyectos. Entre los materiales habituales el hormigón y el acero han sido los más empleados por su versatilidad y adaptación en todo tipo de estructuras. La unión de ambos, y su utilización como estructura mixta, optimizan considerablemente las soluciones constructivas.

En nuestro país es escasa la utilización de estructuras compuestas a pesar de las ventajas que ofrece, siendo una de las causas, al no estar incluidas en nuestras normativas, la falta de conocimientos sobre las posibilidades reales y ventajas de su utilización. No ajenas a dichas razones es el predominio general de las estructuras de hormigón sobre las metálicas, subvalorándose el beneficio que reporta acortar los plazos de ejecución al facilitarse la comodidad y rapidez en el montaje.

Diversas bibliografías demuestran la utilización de estructuras mixtas en el diseño y construcción de puentes que emplean como sistema constructivo el lanzamiento por incrementos sucesivos o empuje del tablero, el cual consiste en la fabricación de la superestructura por medio de elementos sucesivos en un área localizada atrás del estribo y orientada según el eje del puente para después lanzarla hacia su posición definitiva mediante una traslación longitudinal.

El proceso constructivo mediante empuje del tablero ha permitido resolver satisfactoriamente los problemas originados por las peculiaridades de su posición en el terreno, existencia de obstáculos naturales, cruces de ríos, dificultades motivadas por condiciones especiales de trazado de la carretera y sin la necesidad de empleo de grandes medios de elevación; por lo que reduce el plazo de ejecución y con un mínimo de afectaciones al medio ambiente.

En Cuba se plantea la necesidad de la introducción de los avances científico-técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos, así como lograr el acortamiento de los plazos de elaboración de estos sin deterioro de su calidad.

Actualmente, en la provincia de Matanzas, se estudian alternativas que permitan un flujo vehicular y de cargas que disminuya el impacto sobre las vías actuales de la ciudad y el importante tránsito originado por el vínculo entre el principal polo turístico del país, Varadero, y La Habana, el cual tiene tendencia a incrementar; considerándose necesario el diseño y construcción de una circunvalante, donde el principal obstáculo es la no realización del cruce alternativo sobre el río Yumurí, lo que provoca saturaciones en el tránsito de la ciudad y presenta un gran riesgo al transitar totalmente sobre el puente de la Concordia con 125 años de explotación, y un diseño para cargas inferiores a las que hoy soporta.

La antes expuesto evidencia como **Situación Problemática** en el caso de estudio del Puente del Abra del Yumurí, en la Carretera Circunvalación Norte de la Ciudad de Matanzas, se ha propuesto utilizar el método de lanzamiento para la confección del tablero de estructura compuesta y prefabricada, donde se combine secciones de acero y hormigón trabajando en conjunto, siendo necesario desarrollar un procedimiento para el pre-diseño y construcción de los elementos que lo conforman.

Es por ello que se define como **problema científico de la investigación**: ¿Cómo contribuir a un mejor pre-diseño y construcción de puentes de estructura mixta y prefabricada que emplean como sistema constructivo el método de lanzamiento?

Siendo el **objeto de estudio** el pre-diseño y construcción del tablero del Puente del Abra del Yumurí; y el **campo de acción** puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.

Por lo antes expuesto, se establece como **hipótesis** que mediante el estudio y la aplicación de un procedimiento de pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada se podría obtener un diseño satisfactorio del tablero del Puente del Abra del Yumurí.

Por lo que se plantea como **objetivo general** desarrollar un procedimiento de pre-diseño y construcción para tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada, aplicada a un caso real.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se trazan como **objetivos específicos**:

- Analizar el estado del arte del diseño de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.
- Elaborar un procedimiento de pre-diseño y construcción para tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.
- Aplicar el procedimiento conceptualmente al tablero del Puente del Abra del Yumurí.

De dichos objetivos específicos, se derivan las siguientes **tareas principales de la investigación**:

- Análisis del estado del arte del diseño de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.
- Elaboración de un procedimiento de pre-diseño y construcción para tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.
- Aplicación del procedimiento conceptualmente al tablero del Puente del Abra del Yumurí.

Como parte de la **Operacionalización de las variables relevantes** se define como **variable independiente** el procedimiento de pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada como geometría propuesta para el Puente del Abra del Yumurí; y como **variable dependiente** la mejora en el pre-diseño y construcción del puente lanzado del Abra del Yumurí de estructura compuesta y prefabricada.

## **Pertinencia**

Inducirá una nueva alternativa de comunicación dentro de la red vial de la ciudad de Matanzas y permitirá disminuir el impacto sobre las vías actuales de la ciudad y el importante tránsito originado por el vínculo entre el principal polo turístico del país, Varadero, y La Habana, el cual tiene tendencia a incrementar.

## **Novedad Científica**

Utilización de estructuras mixtas en el diseño y construcción de puentes que emplean como sistema constructivo el lanzamiento del tablero o método de empuje, debido a que en Cuba se plantea la necesidad de la introducción de los avances científico-técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos.

Métodos Científicos:

Para desarrollar la presente investigación se emplearán diferentes **métodos teóricos**, entre los que figuran:

- Análisis-síntesis.

Una vez definidos el objetivo general y las tareas de la investigación, se comenzará la recopilación de información referente al tema, estableciendo puntos de concatenación entre la presente indagación y materiales anteriores en cuanto a enfoque, visión y perspectiva. Al localizar la información en las diferentes fuentes bibliográficas, se realizará el fichaje para su posterior procesamiento, el cual consistirá en una lectura exhaustiva con el fin de describir los elementos relacionados en la búsqueda y establecer conexiones entre los mismos que posibilitarán el logro de los objetivos y el cumplimiento de las tareas de investigación.

- Histórico-lógico.

Como parte de la caracterización del objeto de estudio, y como resultado de la revisión bibliográfica, se elaborará una reseña con la descripción de los antecedentes de los

estudios de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada, tanto en el ámbito nacional como en el internacional.

- Inducción-deducción.

Tomando como referente los resultados de investigaciones referidas al diseño de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada se inducirá una nueva alternativa de comunicación dentro de la red vial de la ciudad de Matanzas.

### **Métodos Empíricos:**

- Revisión de documentos: Para el desarrollo de la investigación se consultarán diferentes fuentes tanto en formato digital como impreso en diferentes idiomas, con el objetivo de profundizar en aspectos fundamentales de diseño de tableros de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada.
- Entrevista: Se realizarán entrevistas informativas estructuradas de carácter abierto, para facilitar al entrevistado dar cualquier respuesta que considere apropiada sobre hechos, situaciones, acontecimientos, opiniones y actitudes que involucren al caso de estudio. Las mismas serán de tipo directiva centrada, pues tienen el objetivo de conocer las opiniones de diferentes personas con respecto al tema objeto de la investigación, fundamentalmente directivos de los organismos incidentes en el proyecto de la Circunvalación Norte de la Ciudad de Matanzas y principalmente en el caso de estudio del Puente del Abra del Yumurí.
- Encuesta: Se aplicarán encuestas de tipo mixta-estructurada, con el objetivo de conocer el grado de satisfacción de los organismos involucrados con el avance del proyecto de la Circunvalación Norte de la Ciudad de Matanzas y principalmente en el caso de estudio del Puente del Abra del Yumurí.

Los **valores** que destacan de la investigación son:

- Valor social: Se pretende agilizar con este trabajo de diploma, el diseño del tablero del Puente del Abra del Yumurí, y así permitir que esta obra vial entre en servicio en un menor plazo y sirva como una nueva alternativa de comunicación dentro de la red vial de la Ciudad de Matanzas.

- Valor económico: Optimizar el diseño del tablero del Puente del Abra del Yumurí como obra inducida para el desarrollo industrial de la Refinería de Matanzas.
- Valor metodológico: Introducción de los conceptos del diseño de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada.
- Valor práctico: Con este trabajo de diploma se propone el uso de un procedimiento de diseño de tableros de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada aplicada al caso real del diseño del tablero del Puente del Abra del Yumurí.

El Trabajo de Diploma se estructura de la siguiente forma:

- Resumen / Abstract.
- Índice.
- Introducción.

En ella se define la Situación Problemática y se formula el protocolo de la investigación, en el cual se precisan el problema científico, objetivo general, los objetivos específicos y la hipótesis, así como los métodos utilizados en la investigación.

- Capítulo 1: Estado del arte y la práctica del lanzamiento de puentes de estructura compuesta y prefabricada.

Se hará un análisis del estado del arte, basándose en la evolución del método de lanzamiento y de las estructuras mixtas y prefabricadas hasta la actualidad, sus definiciones, las formas de trabajo, la asimilación de las cargas y los parámetros que se tienen en cuenta para su diseño y ejecución.

- Capítulo 2: Procedimiento de pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados de secciones compuestas y prefabricadas.

El autor elaborará un procedimiento para tableros de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada y profundizará en los aspectos medulares para la construcción de los mismos.

- Capítulo 3: Aplicación del procedimiento de pre-diseño y construcción de puentes lanzados de estructura compuesta y prefabricada al caso de estudio del puente del Abra del Yumurí.

Se aplicarán conceptualmente los resultados obtenidos al pre-diseño del tablero del Puente del Abra del Yumurí, para lograr un mayor avance en su ejecución.

- Conclusiones.

A partir de la situación problemática, luego de haberse aplicado los métodos de investigación y después de haber sido arrojados los resultados de la misma, se arriba a conclusiones en función de los objetivos específicos formulados por el autor.

- Recomendaciones.

Se sugiere tanto a la Universidad de Matanzas, al Instituto de Vialidad y a la EMPAI que se continúen los estudios propuestos en el presente Trabajo de Diploma, los que continuarán el camino hacia el desarrollo de las obras inducidas en el programa de la Refinería de Matanzas.

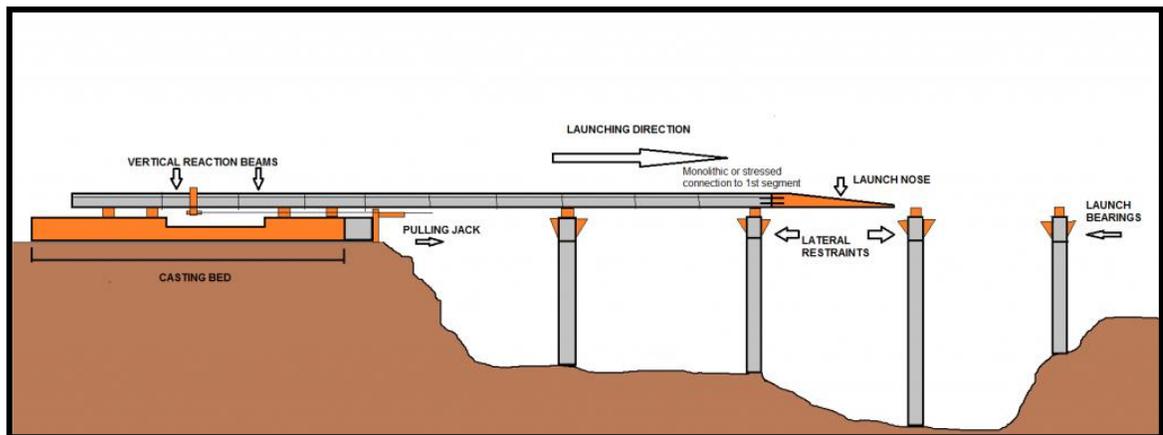
- Bibliografía.
- Anexos.

# CAPÍTULO 1 “ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA DEL LANZAMIENTO DE PUENTES DE ESTRUCTURA COMPUESTA Y PREFABRICADA”

En este capítulo se pretende introducir el empleo de las estructuras mixtas y prefabricadas en el diseño y construcción de puentes que utilizan el lanzamiento o método de empuje para la confección del tablero. Se destacan sus principales características, así como las ventajas y desventajas del método de lanzamiento. Además, se exponen las principales peculiaridades del proyecto del Puente del Abra del Yumurí y la importancia del mismo como principal obstáculo para la construcción de la Circunvalante Norte de la Ciudad de Matanzas.

## 1.1- Método de Lanzamiento. Términos y definiciones

El método de lanzamiento consiste en fabricar o montar el tablero detrás del estribo en un parque fijo y después trasladarlo longitudinalmente sobre las pilas, por fases sucesivas, hasta alcanzar su posición definitiva al llegar al otro estribo, sin necesidad de cimbras [Pérez S. 2004]. Se aprovecha la superficie inferior del tablero como elemento de deslizamiento sobre apoyos fijos (Figura 1.1).



*Figura 1.1: Proceso de lanzamiento del tablero de un puente*

*Fuente: (Yepes, 2017)*

El tablero desliza con gatos (Figura 1.2) sobre estribo y pilas, con ayuda de un pico de lanzamiento. Para que el procedimiento sea efectivo, el puente necesita un tablero de

canto constante y un trazado en planta recto y pendiente nula o ascendente, sin embargo, con los actuales sistemas de retenida, se permiten pendientes descendentes y alineaciones circulares [Yepes 2017]. Otro trazado, imposibilita que cualquier parte del puente pase durante la traslación por los mismos puntos, complicando la ejecución. Al principio el procedimiento se utilizó con tableros metálicos, pero hoy se aplica también a cajones de hormigón. Actualmente con la alta tecnología hidráulica, el sistema de empujado está totalmente controlado y cabe mencionar en este documento, que su depuración operativa tiene al menos 20 años, por lo que se sugiere no tratar de inventar algo diferente a lo existente y concentrar los esfuerzos en una buena planeación de obra [Pérez S. 2004].

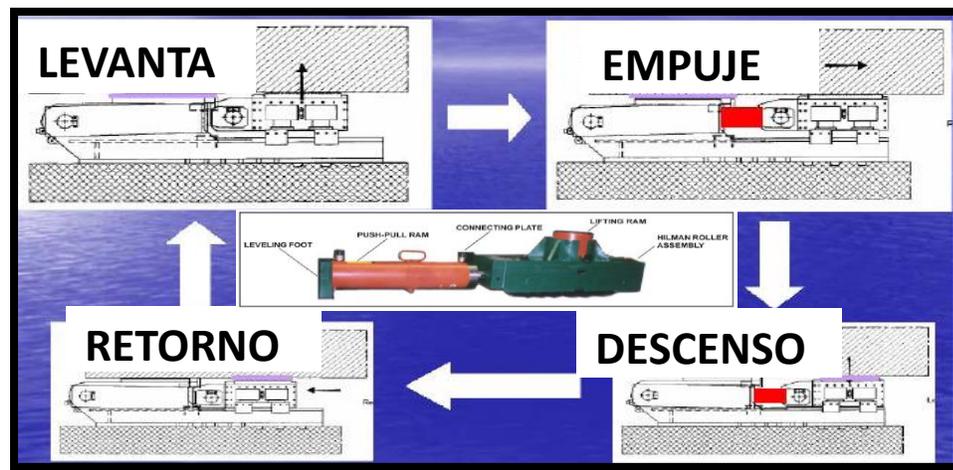
Los equipos modernos de empuje se componen de un cilindro vertical que levanta el puente, y que lo empuja. El cilindro vertical asciende 4 o 5 mm, con lo que recibe una gran carga vertical y en consecuencia transmite una carga horizontal por el rozamiento que existe con el concreto. A continuación, se ponen en marcha los cilindros horizontales que empujan hacia adelante movilizándolo al conjunto cilindro vertical más puente, del orden de 25 cm. Al terminar este ciclo el cilindro vertical desciende, se libera del puente y el conjunto horizontal se retrae y se lleva consigo al cilindro vertical (Figura 1.3). Este ciclo tarda aproximadamente 2, 5 min (Yepes, 2017).



**Figura 1.2:** Tecnología hidráulica para el lanzamiento de la estructura

**Fuente:** (Ministerio de Fomento, 2000)

El equipo de lanzamiento permite además de mover el puente hacia adelante regresarlo a voluntad. Esta operación complementaria es absolutamente indispensable en la ejecución de las obras, para poder corregir ciertos errores en el alineamiento, al aproximar la nariz a las pilas, cuando alguna almohadilla es insertada en forma inversa. Este sistema proporciona buenas calidades de ejecución al agrupar todas las operaciones en una zona específica.



*Figura 1.3: Sistema de Empuje.*

*Fuente: (Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Yumurí, 2013)*

### 1.1.1- Equipo Auxiliar para el lanzamiento de la estructura

La nariz de lanzamiento es una estructura metálica normal, de preferencia fabricada en varias secciones para facilitar su transporte a la obra. Deberá unirse “in situ” con tornillos calibrados o bien con soldadura que garantice que no existan movimientos relativos entre las secciones (Figura 1.4 y 1.5). El patín inferior de las vigas metálicas debe ser previsto, en su parte exterior, de un ala vertical que sirve de encarrilador del puente sobre los topes laterales de los apoyos deslizantes (Pérez S.,2004). El arriostramiento transversal entre las dos almas o vigas metálicas no debe cubrir más que las necesidades al pandeo de los patines superior e inferior. En la parte delantera de la nariz, en la zona de aproximación a las pilas, se instalarán unos gatos especiales, cuyo objetivo es recuperar la flecha de peso propio que toma la ménsula al llegar a la pila. En la parte trasera se efectúa la unión de la

nariz con el concreto de la superestructura. Esa unión deberá ser capaz de transmitir la flexión y el cortante producido por la reacción de la pila en la nariz.



*Figura 1.4. Nariz de Lanzamiento.*



*Figura 1.5. Nariz de Lanzamiento.*

*Fuente: (Ministerio de Fomento, 2000)*

Aunque el método de lanzamiento conlleva a una elevada inversión inicial, producto en gran medida a la maquinaria a emplear, es actualmente una de las tecnologías más utilizadas en la construcción de grandes e importantes proyectos a nivel mundial debido a las ventajas que este presenta.

### **1.1.2- Ventajas del Método de Lanzamiento.**

El proceso constructivo mediante empuje del tablero ha permitido resolver satisfactoriamente los problemas originados por las peculiaridades de su posición en el terreno [Pérez S.,2004], es decir existencia de obstáculos naturales, cruces de ríos, dificultades motivadas por condiciones especiales de trazado de la carretera, etc., sin la necesidad de empleo de grandes medios de elevación y con un mínimo de afecciones al medio ambiente.

### **1.2- Las Estructuras Prefabricadas en la construcción de puentes lanzados.**

La construcción de puentes actualmente ha incorporado aspectos que permite agilizar su proceso constructivo. Como parte de este proceso, se ha incluido la utilización de

prefabricados para lograr, probablemente, la opción más rápida de construcción para este tipo de elementos. Pese a que la prefabricación de vigas no es un concepto novedoso, la construcción de puentes las ha utilizado para acelerar la finalización de los proyectos y disminuir los costos de los mismos. Según [Pérez S.,2004] recientemente, se ha hecho más común el uso de prefabricados para losas y elementos de subestructura de puentes como son pilares, zapatas, estribos y muros de contención.

La utilización de prefabricados requiere juntas entre los elementos; sin embargo, como parte de la evolución de la industria de la prefabricación se ha incluido recientemente la propuesta de remplazar las juntas necesarias por conexiones prefabricadas, igualmente de concreto. Entre estos elementos se incluyen pequeños cierres de vaciado de concreto, tubos inyectados con espigas reforzadas y lazos soldados con acopladores mecánicos. Según [Romea, 2001] varias de estas conexiones ya han sido ensayadas y han presentado un resultado favorable frente a aspectos como capacidad estructural, sismicidad y durabilidad. La búsqueda de elementos que disminuyan el número de conexiones en los prefabricados ha llevado a esta industria a que se emplee una tecnología denominada modular. Ésta consiste en que elementos de grandes dimensiones estén compuestos por prefabricados de concreto de menores dimensiones. Este mecanismo es el que ha permitido la composición de losas prefabricadas de concreto soportadas por dos vigas prefabricadas del mismo material.

Una de las ventajas de este sistema constructivo para puentes es la corta duración que toma este proceso debido a que el izaje y montaje del mismo se realiza por personal especializado con la ayuda de equipos mecánicos sofisticados. Éstos garantizan la seguridad y la calidad de las estructuras tomando el menor tiempo posible de ejecución [Romea, 2001]. Esta ventaja permite que la construcción de infraestructura en concreto se pueda realizar de forma parcial, trabajando por horas o realizando intervenciones exclusivamente nocturnas que no afectan en gran proporción la movilidad y el servicio prestado a la comunidad.

Es comprensible que la elaboración y el desplazamiento de las estructuras prefabricadas para puentes es de gran complejidad. Por esto se requiere de una planeación adecuada

que garantice la correcta ejecución; sin embargo, es posible fabricar grandes tramos de un puente y luego moverlos al sitio sin presentar mayores riesgos. Estos sistemas prefabricados incluyen las superestructuras completas, incluso con pilares integrados y hasta se la logrado la elaboración de puentes completos.

### **1.2.1- Ventajas y desventajas del empleo de estructuras prefabricadas.**

A partir de lo planteado por [Millanes F.,2004] el autor considera que la utilización de elementos prefabricados de hormigón en la construcción de puentes tiene indudables ventajas:

- Los elementos se fabrican en un lugar distinto del puente, permitiendo simultanear su fabricación con la construcción de otros elementos del puente como cimentaciones, pilas y estribos, con la consiguiente reducción de plazos de construcción
- Se puede disponer de mayor espacio de fabricación pues incluso se pueden utilizar varias fábricas, ventaja especial si en la obra existe disponible sólo un espacio reducido.
- Se utilizan hormigones de mayor resistencia y de mejores prestaciones
- Las tolerancias de fabricación, la calidad del acabado y el Control de Calidad son mejores
- Se ahorran apuntalamientos y encofrados en la obra

Pero también tiene algunas desventajas:

- Se necesitan grandes medios de transporte y montaje y sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra. El agua de mares, lagos y grandes ríos puede facilitar las operaciones de transporte y montaje.
- Las uniones entre elementos o entre elementos y partes “in situ” pueden ser bastante o muy complicadas, en especial en estructuras hiperestáticas (se complejiza la unión losa-viga).

- Los elementos prefabricados para puentes se fabrican, en general, con un hormigón de mayor resistencia que el utilizado en partes de puentes “in situ” con la misma función resistente, por varias razones:
- Una mayor resistencia permite disminuir la sección necesaria y con ello el peso de la pieza y la magnitud de los medios de transporte y montaje necesarios para la construcción
- El desmolde en edades tempranas, para la reutilización del molde y reducir el ciclo temporal de fabricación, requiere suficiente resistencia a esas edades tempranas, en especial en piezas pretensadas, lo que exige hormigones de alta resistencia final. En general, una mayor resistencia requiere una proporción mayor de cemento y una relación agua-cemento más reducida, lo que proporciona un hormigón con una mayor compacidad y durabilidad.

### **1.3- Estructuras Mixtas y su empleo en la superestructura de puentes.**

Se denominan Estructuras Mixtas a aquellas estructuras resistentes que poseen secciones mixtas, es decir secciones resistentes en las cuales el acero estructural (Estructuras Metálicas) y el hormigón (Estructuras de Hormigón Armado) trabajan en forma solidaria [Caneiro et al. 2018]. Cada material por separado ofrece soluciones valiosas en el ámbito de la construcción; por ello, el empleo racional y combinado donde se aprovechan las cualidades de cada uno y se limita o elimina lo desfavorable, se complementan con una apropiada utilización de técnicas. Se consideran variables como la zonificación, maquinarias, mano de obra, plazos de ejecución entre otros.

Según [AASHTO 2012] una pieza mixta está compuesta básicamente por tres elementos estructurales diferenciados:

- La sección del hormigón
- La sección metálica
- Los conectores

Estos últimos pueden llegar a reemplazarse total o parcialmente por la adherencia entre el acero y el hormigón.

Como el hormigón colabora con el acero, además de funcionar como distribuidor de cargas, está sometido a posibles deformaciones por la acción de ciertos elementos incluidos en el hormigón y solidarios con las piezas metálicas. La misión de estos elementos llamados conectadores es evitar o controlar los deslizamientos relativos de ambos materiales. Así, el hormigón colabora en la zona comprimida aumentando la resistencia del conjunto.

### **1.3.1- Características Estructurales de las construcciones mixtas.**

Según (Romea, 2001) las principales características estructurales de las construcciones mixtas son:

- Reducción del Canto en los Dinteles:

A medida que las luces de las piezas aumentan, es apreciable y más acusado el canto. Esto se debe al gran incremento de inercia y resistencia que la sección parcial del hormigón determina en relación a una solución metálica, y a la mayor rigidez de las zonas sometidas a tracción de la sección en relación a las soluciones de hormigón armado o pretensado.

- Aumento de la Rigidez:

Un factor importante cuando se presentan cargas dinámicas o con impacto: El hormigón varía entre dos y cuatro veces la que logra con los mismos cantos la construcción metálica simple, lo que determina que las limitaciones por flecha o vibración no sean determinantes en casi todos los casos.

- Soportes más Esbeltos:

En gran medida vinculado con las piezas de hormigón, pero es apreciable en relación a los soportes metálicos, si se tiene en cuenta la protección antifuego.

- Economía en el Uso del Acero:

En comparación con una construcción metálica tradicional, puede lograrse un ahorro que oscila entre el 10% y el 50%, incluidos los conectadores necesarios.

Al analizar las principales características de dichas estructuras, se hace necesario abordar las ventajas y desventajas que estas presentan para una mejor utilización de las mismas.

### **1.3.2- Ventajas y desventajas de las estructuras compuestas.**

Según diversos autores, internacionalmente son reconocidas las ventajas que proporciona el empleo de este tipo de estructuras, tales como: se aligeran considerablemente las estructuras; se logran secciones muy rígidas y resistentes, por lo que permiten salvar grandes luces entre apoyos; se logra un elevado ahorro de madera y encofrado; se reduce además la fuerza de trabajo necesaria para el proceso constructivo; facilitan la construcción y montaje, para un mayor avance físico en la ejecución de las obras con respecto a los sistemas más tradicionales.

También se conocen desventajas, como la dificultad para alcanzar una adecuada capacidad de resistencia al fuego y que deben ser protegidas para que resista los efectos atmosféricos.

### **1.4- Proyecto de una infraestructura vial en la provincia de Matanzas.**

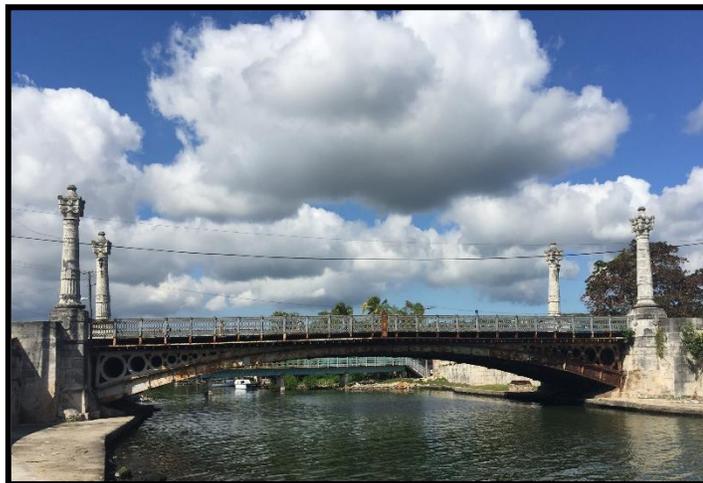
El sector de vialidad es clave para la competitividad, el desarrollo social y económico de toda ciudad, las vías son el medio más importante para la movilización de personas y mercancías, y tienen como objetivo principal disminuir los tiempos de traslado y los costos de producción, facilitar la introducción de servicios básicos a la población, coadyuvar al crecimiento de sectores productivos en el entorno nacional e internacional y mejorar el nivel de vida de los habitantes [Hernández et al. 2011].

Para la ciudad de Matanzas los puentes son vitales para su funcionamiento debido a que estos son puntos medulares de la red vial para la transportación en general y en consecuencia para el desarrollo de los habitantes. El importante plan inversionista prospectivo de la Zona de Desarrollo Industrial de Matanzas (*ZODIM*), ubicada al noreste de la bahía, implica la necesidad de ampliar y desarrollar una importante infraestructura vial que mitigue el fuerte impacto sobre la vialidad de la ciudad, como consecuencia de la necesidad de transportar grandes volúmenes de materiales de construcción durante su ejecución y posteriormente, durante su explotación.

Con el objetivo de disminuir parte del importante incremento en el flujo vehicular que atraviesa la ciudad y eliminar el riesgo de la transportación de cargas contaminantes y peligrosas, surge la idea desarrollada por Instituto de Planificación Física de Matanzas (*IPF*) de vincular la *ZODIM* con la circunvalante sur de la ciudad a través de la Carretera Central para lograr, de esta forma, un rodeo total de la ciudad “costa a costa”. La entidad encargada de este diseño fue la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería (*EMPAI*) del Ministerio de la Construcción, según contrato suscrito entre esa parte y la representación en Matanzas del Centro Nacional de Vialidad (*CNV*) del Ministerio de Transporte.

#### **1.4.1- Principal inconveniente para el desarrollo del proyecto.**

Según [Hernández et al. 2011] en la idea propuesta del proyecto, la principal dificultad ingeniera es el cruce del río Yumurí como consecuencia del corte que este ha realizado a las elevaciones por las cuales esta circunvalación debe proyectarse. Dicha situación provoca saturaciones en el tránsito de la ciudad y presenta un gran riesgo al transitar totalmente sobre el puente de la Concordia (Figura 1.6), con 125 años de explotación, y un diseño para cargas inferiores a las que hoy soporta; por lo que se origina la necesidad de ejecutar un puente para superarla.

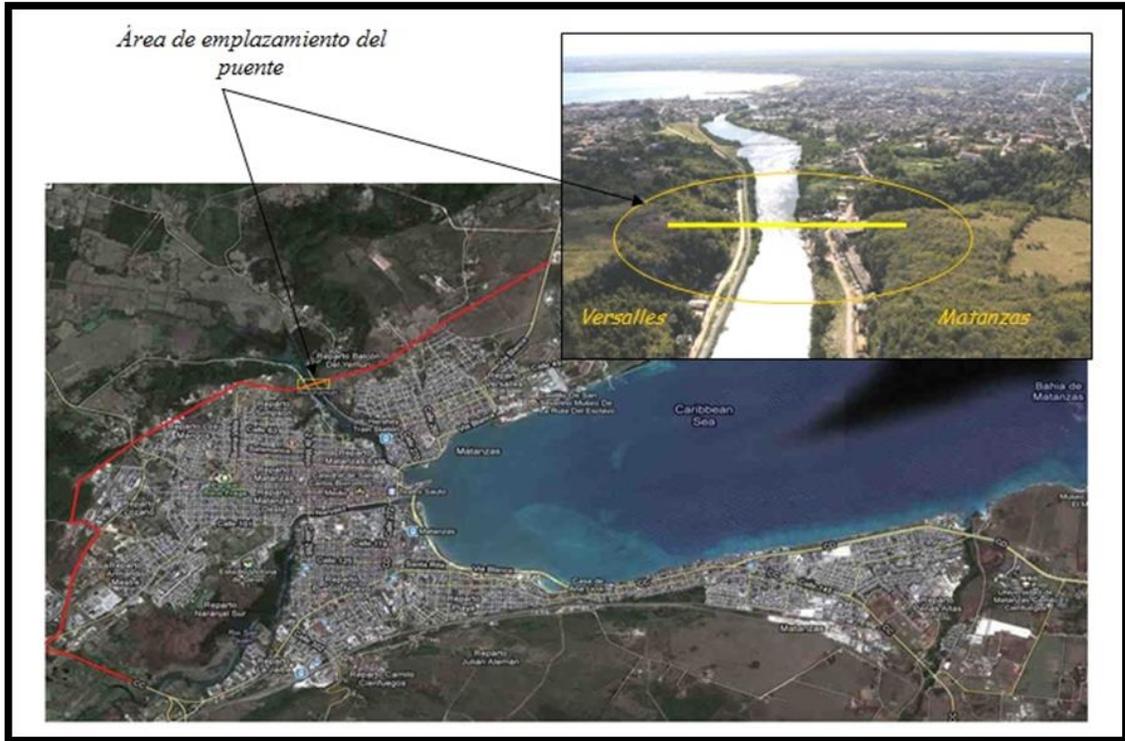


*Figura 1.6. Puente de La Concordia*

*Fuente: (Elaborada por el autor).*

Las nuevas inversiones propuestas en la zona industrial provocarán un incremento en los tráficos urbano e industrial que se sumaría al incremento permanente del tráfico turístico entre La Habana y Varadero. En la actualidad este tráfico está en el orden de los 8,000 vehículos en 12 horas [Hernández et al. 2011]. Estos incrementos tendrían que ser asumido totalmente por la red vial existente, cuyo punto crítico es el puente de la Concordia sobre el río Yumurí, por tener solamente dos sendas simples, sin posibilidades de ampliación. La alternativa de ejecutar la continuación del proyecto del Viaducto, en cualquiera de sus variantes, favorecería al tráfico urbano y turístico, pero muy poco al industrial, pues su recorrido por la calzada General Betancourt, en la Playa, no es recomendable, además del riesgo que implica para las zonas más pobladas la transportación de cargas contaminantes y peligrosas a través de la ciudad.

En el análisis de las primeras variantes de solución para atravesar el río Yumurí, se estudiaron diferentes sistemas constructivos, con su tecnología asociada, teniendo en cuenta la experiencia cubana e internacional en la ejecución de este tipo de obra. En ese primer intento, no se prescindió de las limitaciones tecnológicas del país para acometer una obra de tal envergadura. Finalmente se seleccionó la solución de un puente (Figura 1.7) de pilas de hormigón armado con encofrados deslizantes o trepadores, un tablero empujado de estructura mixta (acero y hormigón) y construcción in situ, puesto que era lo más factible en nuestras condiciones.



*Figura 1.7. Área de emplazamiento del puente*

*Fuente: (Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Río Yumurí, 2013)*

Actualmente se decidió mantener las mismas características constructivas, pero a diferencia de la variante anterior, se decidió por parte del Consejo Técnico de la EMPAI eliminar del proyecto la pila ubicada en el centro del río, por lo que su luz central será de 90m sobre el mismo. La anterior modificación del proyecto implica la necesidad de realizar el lanzamiento del tablero por ambas bandas (Matanzas-Versalles). Además, la superestructura será compuesta y prefabricada, para aprovechar las características y ventajas de estos elementos sobre los fabricados in situ, expresadas en epígrafes anteriores.

### **1.5- Principales características del Proyecto del Puente del Abra del Yumurí.**

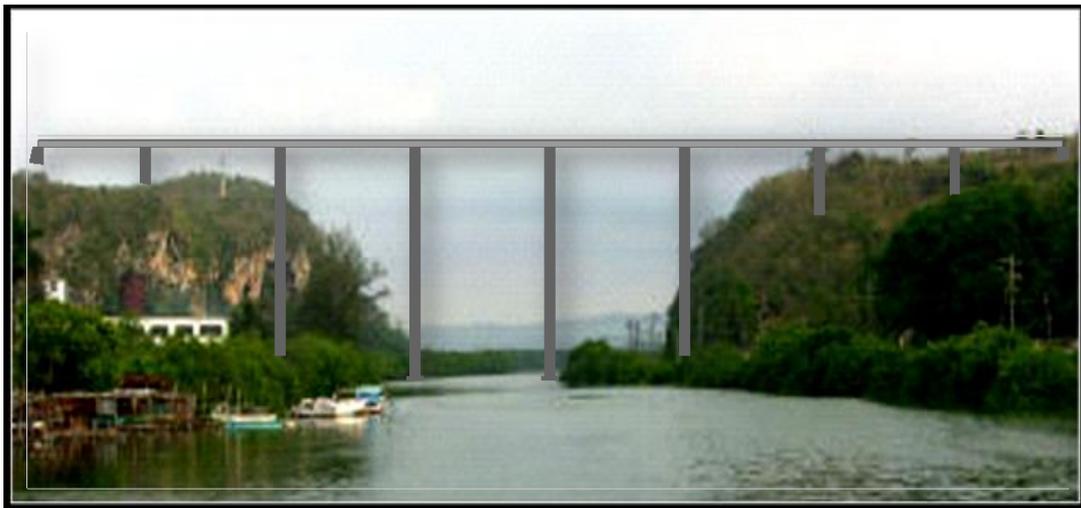
El cruce del río Yumurí, consistente en un corte de alrededor de 300 m de largo y desniveles del orden de 50 m que constituye su abra (Figura 1.8), sólo puede ser salvado

mediante la ejecución de un puente (Figura 1.9), el cual ha sido concebido con un ancho de 12.30 m y una longitud de 297m, tendrá 7 vanos: 5 luces de 45 m interiores y 2 luces de 36 m extremas, en función de la topografía y la optimización de su sección estructural. La altura de rasante será de 65 m [Hernández et al. 2011].



**Figura 1.8.** *Abra del Río Yumurí. Condición natural en la actualidad.*

**Fuente:** *(Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Río Yumurí, 2013)*



**Figura 1.9.** *Primera propuesta del trazado del puente sobre el Abra del Yumurí.*

**Fuente:** *(Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Río Yumurí, 2013)*

### **1.5.1- Criterios de Diseño.**

Según lo planteado por [Hernández et al. 2011] en las ideas conceptuales del proyecto, se consideran los siguientes criterios de diseño:

- Lograr salvar los desniveles originados por los acantilados mediante una luz que permitiese una cimentación lo más alejada de sus bordes. Para lograr esto la luz debía variar entre 35 y 50m.
- Desde un inicio se planteó la solución de pilas de hormigón con sección cajón para ser fundida mediante el empleo de moldes trepantes o deslizantes.
- El puente se consideró continuo y sin juntas interiores.
- Lograr un equilibrio con la naturaleza.
- Emplear una técnica constructiva que simplifique la utilización de los medios de izaje y el montaje: Método de Empuje.

### **Cimentación**

Las pilas en el cauce del río serán dos y el resto estarán distribuidas en el valle, se cimentarán sobre pilotes metálicos de diámetro  $\Phi = 1200$  mm; de hecho, se considera que las condiciones del suelo subyacente son desfavorables, tal cual sucede en los puentes aguas bajo de esta obra sobre esta misma corriente. Podría asumirse que la longitud estimada de éstos trabajando a fricción será de 40,00 – 45,00 metros. En cada pila se considerará un grupo formado por 14 pilotes. La carga de trabajo será de 250 toneladas

### **Pilas**

Las pilas serán de hormigón armado de resistencia 30 MPa, fundidas mediante el empleo de moldes trepante. Teniendo en cuenta la diferencia de niveles del perfil se han concebido dos tipos de pilas: pilas cajón y pilas pared.

### **Tablero**

La variante de tablero mixto y prefabricado fue seleccionada debido a la posibilidad de los suministros de la estructura metálica y las ventajas de su ensamblaje en un taller de

prefabricación en los extremos del puente. Se empleará el Método de Lanzamiento por ambos extremos, para evitar así, el empleo de grandes equipos de elevación y lograr un mínimo de afectaciones al medio ambiente.

### **1.5.2- Significación del Proyecto del Puente del Abra del Yumurí.**

El autor, después de un análisis exhaustivo de lo expresado por [Hernández et al. 2011], considera que el Proyecto del Puente del Abra del Yumurí posee una significación dentro del desarrollo económico y social de la provincia de Matanzas, por lo que arriba a las siguientes conclusiones:

- Inducirá una nueva alternativa de comunicación dentro de la red vial de la ciudad de Matanzas y permitirá disminuir el impacto sobre las vías actuales de la ciudad y el importante tránsito originado por el vínculo entre el principal polo turístico del país, Varadero, y La Habana, el cual tiene tendencia a incrementar.
- Se emplearán estructuras mixtas en el diseño y construcción de puentes que emplean como sistema constructivo el Método de Lanzamiento o Método de Empuje, debido a que en Cuba se plantea la necesidad de la introducción de los avances científico-técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos.

### **1.6- Antecedentes de puentes con solución similar.**

Diversas bibliografías demuestran el empleo de estructuras mixtas y prefabricadas en la construcción de tableros de puentes lanzados. Debido a las amplias ventajas que poseen dichas estructuras y la utilización del Método de Empuje se ha logrado la calidad y satisfacción requerida en los proyectos de vialidad y en especial de puentes.

Según [Leonhardt et al. 1999] el empuje de puentes se desarrolló en la segunda mitad del siglo XIX para ubicar en su situación definitiva grandes viaductos metálicos de celosía. De hecho, la ligereza de los tableros metálicos y mixtos es una ventaja sobre los de hormigón, mucho más pesados; sin embargo, es habitual la construcción de estos puentes con hormigón pretensado. Los puentes de ferrocarril, en particular, son estructuras

idóneas para construirlas mediante empuja pues han de soportar, además de su peso propio, unas cargas de servicio elevadas que obligan a dimensionar secciones con una gran capacidad resistente. Al construir el puente, donde sólo actúa el peso propio, el exceso de capacidad puede aprovecharse sin sobredimensionar la estructura.

El primer viaducto de segmentos de hormigones prefabricados empujados fue el Puente de Ager en Austria en 1959, donde se usaban dovelas cortas prefabricadas; sin embargo, muchos autores citan el puente sobre el río Caroní (Venezuela), con un vano principal de 96 m y terminado en 1964, de Leonhardt y Baur como iniciadores de esta técnica con el hormigón. En este caso se utilizaron pilas intermedias para el lanzamiento para reducir la luz de lanzamiento. Este procedimiento encarece la construcción, pues no tiene sentido que las pilas provisionales no queden definitivas. Sólo podría plantearse el uso de una sola pila provisional en el caso de una luz de empuje extraordinaria. En España, el primer puente empujado de hormigón se construyó en 1972 en la línea férrea Almería-Linares, sobre el río Andarax (Almería), con un vano principal de 42,5 m [Leonhardt et al.1999]

Por ejemplo, Millanes y Matute (1999) describen la construcción de un viaducto con un tramo continuo singular compuesto por dos vanos de 40 m y un vano central de 80 m que se construyó mediante lanzamiento de las vigas mediante un carro. Se emplearon dos pilas provisionales y se tesó la losa para darle continuidad antes de eliminar dichas pilas.

Un ejemplo significativo es el caso del Viaducto Caracas – La Guaira en Venezuela (Figura 1.10) donde se optó por utilizar una estructura mixta recta, de altura constante cuya construcción se pudo adelantar en tres frentes de trabajo distintos y que posteriormente pudo ensamblarse en un extremo del alineamiento e irse armando y empujando sucesivamente, con el fin de poder cumplir con los cortísimos plazos de ejecución requeridos por la necesidad de la obra para lo que se desarrollaron todas las metodologías de construcción necesarias, todo lo cual permitió completar la construcción efectiva del Viaducto Alternativo en un lapso efectivo de 16 meses.

La superestructura fue concebida metálica en acero de alta resistencia y el tablero fue conformado por losas de concreto prefabricadas, defensas de concreto y carpeta de rodamiento asfáltica. En el caso de su ejecución, la estructura mixta permitió prefabricar

la parte metálica mientras en el sitio de obra se ejecutaron las fundaciones y pilas y en un patio de prefabricado se llevó a cabo la fabricación de las losas del tablero de concreto, para así completar posteriormente el montaje de la misma mediante el sistema de empujes sucesivos que permitió salvar las grandes alturas y dificultades topográficas del sitio y garantizar los tiempos de entrega.



**Figura 1.10.** Viaducto Caracas-La Guaira, Venezuela.

**Fuente:** (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, 2007)

Los Estribos son estructuras convencionales y solo cabe resaltar que el estribo de lanzamiento en lado la Guaira no pudo ser totalmente ejecutado hasta terminar el lanzamiento de la estructura metálica, ya que sobre el descansaban los sistemas de lanzamiento. En este estribo fue necesario construir una plataforma de dimensiones tales que permitieran la instalación del taller de ensamblado final y lanzamiento de las vigas metálicas de la superestructura del Viaducto. Dicha plataforma se construyó con un gran relleno soportado por muros en Tierra Armada con unas dimensiones de aproximadamente 100 m. de longitud por 25 m. de ancho sobre las que se construyó el denominado Galpón de Ensamblaje y Lanzamiento (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, 2007).

Debido a los grandes riesgos asociados al lanzamiento de una estructura, según [Vaquero 2007], que al final alcanza un peso de 6.000 tons, esta actividad representa la parte más

sensible durante la ejecución de la obra por lo que fue imperativo contar con un sistema de control confiable que permitiera constatar paso a paso el avance de la estructura y su repercusión sobre el resto de las estructuras en este caso las pilas y los sistemas de deslizamiento sobre las que se fue deslizando

Para ello se hizo necesario implementar un altísimo control en las deflexiones y contra flechas de la viga de lanzamiento y vigas principales, los desplazamientos de las pilas, las presiones y cargas del sistema de gateado, manteniendo todo dentro de los parámetros máximos calculados teóricamente para cada una. Todo ello se logró al implementar controles sobre la estructura metálica, en el patio de lanzamiento y en cada una de las pilas utilizando sistemas láser y teodolitos.

El puente se ensambló en tramos de aproximadamente 60 m. con los segmentos de 20 m. de longitud transportados por vía marítima y terrestre y se realizó el empalme de las distintas secciones, las alas y almas mediante soldadura y los diafragmas y diagonales mediante apernados. Una vez ensamblado cada módulo, ratificado el correcto alineamiento en los tres planos, y certificada la calidad de soldadura y uniones, fue empujado sobre patines de 300 ton de capacidad ubicados en el taller de lanzamiento y sobre apoyos deslizantes de 500 ton [Vaquero 2007].

Al terminar el lanzamiento de la totalidad de la estructura a su posición definitiva (Figura 1.11) se hizo necesario levantar un control muy estricto de los movimientos de la geometría donde intervinieron de manera muy importante las elongaciones provocadas por el diferencial de temperatura que alcanzaron en este caso hasta 200mm, de desplazamiento, donde se tuvo que controlar desplazamientos en la estructura y en las pilas de distinta magnitud que ameritaron un laborioso seguimiento de mediciones a distintas temperatura hasta lograr el patrón adecuado para fijar la estructura sobre los apoyos definitivos ubicados en las pilas, en la posición requerida de acuerdo al Proyecto, para la posterior colocación de las losas del tablero y la junta de dilatación utilizada en ambos estribos.



**Figura 1.11.** Lanzamiento de la estructura

**Fuente:** (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, 2007)

Posterior al apoyo de la estructura metálica sobre los apoyos definitivos, se completó la estructura con la colocación del tablero de concreto (Figura 1.12) conformada por 704 losas de 11.20 m x 2.29 m y espesor variable de 0.28 a 0.22 m también prefabricadas en concreto fuera de la obra y en paralelo con las otras actividades en ejecución en el sitio de obra. Las losas fueron transportadas y colocadas sobre la estructura metálica mediante el uso de dos (2) grúas de celosía sobre oruga 60 toneladas, de capacidad c/u que garantizaron la colocación de todo el tablero en menos de treinta (30) días [Vaquero 2007]. Estas losas están provistas de ranuras las cuales quedan ubicadas sobre las alas superiores de las vigas metálicas lo que permitió la fijación mediante conectores de corte tipo “Nelson Studs” soldados a las alas de las vigas para que con el posterior vaciado de concreto de estas ranuras se completara la unión concreto-acero del tablero con la superestructura metálica.

Durante este proceso de colocación de losas se mantienen los estrictos controles sobre las deflexiones de la estructura metálica para verificar nuevamente el comportamiento de las contraflechas al recibir las cargas propias de las losas y garantizar la obtención de la geometría proyectada.



**Figura 1.12.** Colocación del tablero

**Fuente:** (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil,2007)

Por último, se procedió a la ejecución de las Juntas de Dilatación, las Defensas de Concreto y la colocación de la Carpeta de Rodamiento de asfalto de 5 cm., de espesor. Al finalizar estas operaciones se colocó la iluminación y la demarcación vial para dar apertura al tráfico (Figura 1.13).



**Figura 1.13.** Apertura del tráfico

**Fuente:** (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil,2007)

Otro ejemplo significativo es el viaducto de Millau (Figura 1.14) con una longitud de 2460 m, está constituido por ocho tramos de tablero de acero, que se apoyan sobre siete pilares de hormigón. Primero se construyeron las pilas que soportarían los pilonos en la configuración definitiva del puente.



**Figura 1.14.** Puente de Millau, Francia.

**Fuente:** (Internet-<http://ARQHYS.com>)

La construcción del tablero se llevó a cabo en los extremos. Mediante esta técnica y según se van construyendo las secciones transversales, periódicamente se empuja desde el tablero sobre las pilas, dejando espacio para la colocación de nuevas secciones del puente. Para evitar grandes sobreesfuerzos que obligaran a reforzar la sección excesivamente respecto a la fase de servicio, se dispusieron una serie de apeos intermedios de forma que los vanos fueran de menor longitud durante la fase de construcción. Una vez empujado el tablero desde ambos extremos y alcanzado el punto de unión, se solidarizaron ambas mitades y se colocaron las torres de atirantamiento. Finalmente se retiraron los apeos provisionales.

#### **1.6.1- Antecedentes en Cuba.**

Un ejemplo importante en Cuba, de la utilización de estructuras mixtas y prefabricadas en puentes que utilizan como método constructivo el lanzamiento progresivo de los tableros, es el caso del Puente sobre el Río Toa (Figura 1.15), ubicado en la provincia de Guantánamo, a una distancia de aproximadamente 2km de su desembocadura al Mar Caribe, cuya estructura se ubica exactamente en la misma posición que la estructura previamente existente, cumpliendo con la premisa de mantener el mismo, alineamiento vial existente para disminuir el impacto de las obras viales de acceso requeridas. Así mismo, las posiciones de los estribos se mantuvieron. Sin embargo, la solución mantuvo

una cota de elevación superior a la del puente previo, puesto que se siguieron las recomendaciones del Análisis Hidráulico realizado.



**Figura 1.17.** *Puente sobre el Río Toa, Guantánamo.*

**Fuente:** *(Memoria Descriptiva “Diseño Puente sobre el Río Toa”, 2016).*

La subestructura se dividió en un sistema de fundaciones compuesto por pilotes, cabezales, pilas (monocolumnas) y vigas de pila. En el caso de la superestructura se conformó por tableros de vigas metálicas y losa de concreto, apoyadas sobre las pilas y estribos del puente.

Los elementos metálicos de vigas se diseñaron para ser construidos en taller y llevados al sitio en dimensiones transportables. La estructura viga metálica – losa de concreto se diseñó como una sección compuesta para lograr mayor efectividad en las zonas de momento positivo (zona central de los paños), para lo cual se previó el uso de conectores de corte a lo largo de las vigas. Inicialmente se determinó diseñar el tablero como una estructura continua a lo largo del puente, lo cual era consistente con el sistema de lanzado de los tableros, y además generaría hiperestaticidad entre los paños (Memoria Descriptiva “Diseño Puente sobre el Río Toa”, 2016). Dicha solución no fue concretada en la práctica, por lo que se decidió construir un terraplén de acceso para el traslado de los equipos de elevación que se utilizarían para la confección del tablero (Figura 16).

Este nuevo puente se desarrolló como solución para sustituir una estructura vial previamente existente que fue colapsada por el paso del Huracán Matthew en el mes de octubre de 2016, y en su proyecto original plasmó las ventajas de las estructuras mixtas y prefabricadas en el diseño y construcción de puentes lanzados.

### **1.7- Normativa a Consultar**

Actualmente las normas cubanas no poseen procedimientos de estructuras mixtas y prefabricadas para el pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados por lo que se empleará para el diseño de los elementos del tablero la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 2012* y la Normativa Cubana 733.2009 Carreteras. Puentes y Alcantarillas. Requisitos de Diseño y Método de Cálculo.

### **1.8- Conclusiones Parciales**

1. Se destaca la situación actual de la provincia de Matanzas en el sector de vialidad, se hace énfasis en la necesidad de la construcción de la Circunvalante Norte y de su principal obstáculo el cruce por el Río Yumurí. Se realiza un bosquejo sobre la evolución del empleo de estructuras mixtas y prefabricadas en la confección de tableros de puentes lanzados.
2. Se realizó un análisis de las principales ventajas y desventajas de las estructuras mixtas y prefabricadas en el diseño y construcción de puentes, así como de la utilización del Método de Lanzamiento o Empuje del Tablero, destacando la necesidad de introducir en Cuba los avances científicos técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos.
3. Con la implementación de estructuras mixtas y prefabricadas se pudiera obtener un diseño satisfactorio del tablero lanzado del Puente del Abra del Yumurí.

## **CAPÍTULO 2 “PROCEDIMIENTO DE PRE-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TABLEROS DE PUENTES LANZADOS DE SECCIONES COMPUESTAS Y PREFABRICADAS”**

En el presente capítulo se pretende analizar los criterios para el predimensionamiento de tableros de puentes lanzados de secciones compuestas y prefabricadas para obtener un procedimiento de pre-diseño y construcción que se aplicará posteriormente al caso de estudio.

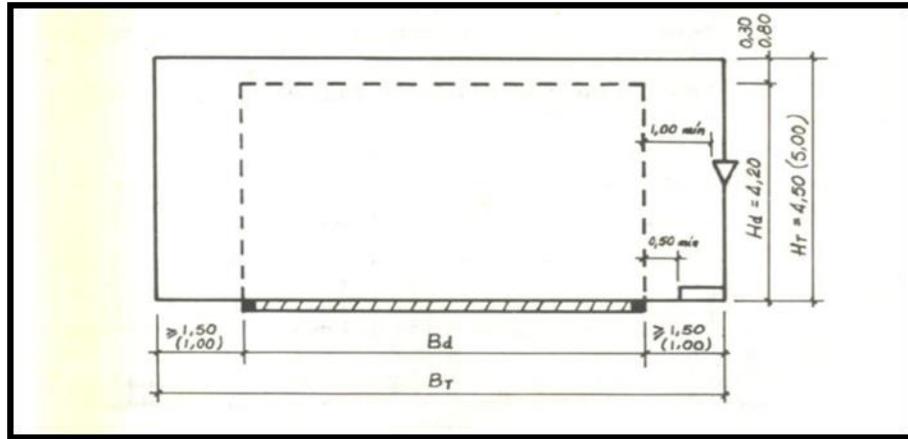
### **2.1- Predimensionamiento de la Estructura**

Se define por predimensionado o predimensionamiento al conjunto de técnicas que permiten calcular elementos de ingeniería de manera sintetizada. El objetivo de esta reducción es el de encontrar unas magnitudes orientativas en cuanto a dimensiones o características del elemento que puedan servir para afinar un proceso de diseño que, finalmente, habrá de ser ratificado por un cálculo exhaustivo [August 2002]. En el predimensionamiento intervienen una serie de aspectos que involucran el criterio a considerar, por lo cual se tiene que tener en cuenta que estos parámetros pueden variar dependiendo de aspectos como la calidad de material, mano de obra calificada, etc.

#### **2.1.1- Predimensionamiento de la Sección Vial**

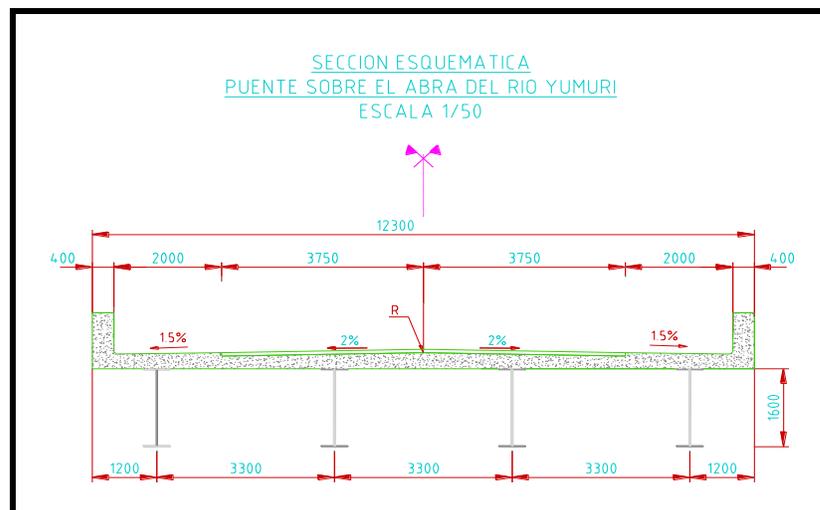
Para el predimensionamiento de la sección de un puente con una subestructura de hormigón armado y tablero de vigas de acero y losa de hormigón armado continuo y sin juntas transversales interiores, la sección vial está concebida por una vía compuesta por dos sendas, cada una de un carril de 3.50m de ancho y sus correspondientes guarniciones o paseos, obteniéndose un ancho mínimo útil:  $3.50 \times 2 = 7.00\text{m}$ . Para la determinación del ancho de los paseos se plantea el valor 2 m [NC 733 2009: Carreteras, Puentes y Alcantarillas. Diseño y método de cálculo], la cual prescribe en su párrafo 5.7.2 del epígrafe 5.7: Paseos: “El ancho dependerá de la categoría de la vía y la topografía del terreno en la zona de ubicación del puente, se deberá adoptar como rango de valores los comprendidos entre 1,00 m y 3,00 m”. Además, en la mencionada norma, se prescribe en el epígrafe 5.10.1 que los gálibos horizontales deberán corresponder con los

especificados en diferentes normas, siendo la más explícita para puente [NC 53 002 1986: Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo]. En esta norma, se establece, en el párrafo 2.3.2.3 los requisitos a cumplir para garantizar el gálibo libre (Figura 2.1), especificando un valor mínimo de 1 m, como se ilustra en la siguiente figura de dicha norma:



**Figura 2.1:** Esquema del Gálibo

**Fuente:** (NC 53 002 1986: Carreteras rurales. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo)



**Figura 2.2:** Ejemplo de predimensionamiento de sección transversal.

**Fuente:** (Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Yumurí, 2013)

### 2.1.2- Predimensionamiento de las vigas.

El predimensionamiento de vigas es el proceso previo al cálculo de dimensionado que es necesario llevar a cabo en estructuras hiperestáticas antes de poder calcular con precisión los esfuerzos sobre las mismas. Con el predimensionado se establecen unas dimensiones orientativas de las secciones transversales de vigas que sirven de base para un cálculo de comprobación y reajuste de las dimensiones definitivas de las secciones, por lo que según [August 2002] es necesario regirse por los siguientes criterios:

- El valor de peralte total (D) debe poseer un valor mínimo igual a la distancia entre puntos cero ( $L_0$ ) dividida entre 18 y no debe exceder dicha distancia dividida entre 12.
- El ancho de las alas (2b) debe estar comprendido entre el valor de peralte total dividido entre 4 y 2.
- El espesor de las alas (T) no debe exceder el ancho de alas dividido entre 8 ni poseer un valor inferior a dicho ancho dividido entre 12.

Lo criterios anteriores se ejemplifican en la siguiente tabla donde se establece la descripción de cada elemento y los valores mínimos y máximos establecidos:

*Tabla 2.1: Criterios de predimensionamiento*

Descripcion		Criterios	
		Min	Max
Dimensiones de las luces	L		
Factor Puntos`Cero	F		
Distancia entre puntos cero	$L_0$		
Peralto Total	D	$L_0/18$	$L_0/12$
Ancho de las alas	2b	D/4	D/3
Espesor de las alas	T	b/12	b/8
Espesor del alma	t	D/125	

*Fuente: Elaborada por el autor.*

### 2.1.2.1- Determinación del peralte de las vigas.

Para la determinación del peralte ( $h_v$ ) se emplearán los siguientes dos criterios en dependencia de la luz recomendados por diferentes manuales de diseño de este tipo de puente:

- $h_v \geq 0.033 L$  (2.2)

- $h_v \geq L/25$  (2.3)

### 2.1.2.2- Espaciamiento entre las vigas.

En los puentes rectos, las vigas interiores y exteriores deben detallarse como igual. El espaciamiento debe ser tal que la distribución de cargas de la rueda en la viga exterior esté cerca de la viga interior. El número de líneas de la viga debe minimizarse, con un espacio máximo de 14 pies. Tres o más líneas de las vigas son consideradas redundantes. La práctica actual es usar un mínimo de tres vigas para proporcionar las estructuras de camino de carga redundantes [August 2002]. Se consideran las superestructuras de dos vigas no redundante y de fractura crítica. El arte de vigas de acero es minimizar el material y gasto de fabricación mientras que se asegura la fuerza adecuada, rigidez y estabilidad.

Con el objetivo de optimizar el costo de fabricación mediante el empleo de un solo tipo de viga, estas se distribuyen según el criterio de lograr que el momento de fluencia sea el mismo para cada una de ellas, lo que se logra con una relación entre la longitud del voladizo y la separación entre vigas comprendida en el rango del 35% al 45%, según [August 2002], lo que garantiza una contribución efectiva de las vigas de borde al soporte de las cargas en conjunto con las vigas interiores. Este criterio de diseño se satisface por la siguiente formula:

$$d_c = \frac{A}{[(n_v - 1) + (2 \times c_d)]} \text{ [Hernández, 2011].} \quad (2.1)$$

Donde,

A: Ancho del Puente

$n_v$ : Cantidad de Vigas

$C_d$ : Criterio de Diseño

$d_c$ : Distancia entre vigas calculada

$d_v$ : Distancia entre vigas diseño (redondear  $d_c$ )

V: Valor voladizos

### 2.1.2.3- Diseño del alma de las vigas

En la bibliografía consultada se encontraron varias recomendaciones empíricas entre el espesor del alma ( $t_w$ ) y su peralte ( $h_v$ ), que varían en el rango 1/80 a 1/125. El espesor del alma es el parámetro principal para despreciar el pandeo flexional del alma al diseñar secciones compuestas en flexión positiva. El espesor del alma es fundamental en su rigidización transversal, determinando el espaciamiento de los rigidizadores, lo cual es uno de los aspectos que incrementan apreciablemente los costos y los esfuerzos de fabricación en obra [August 2002]. El valor de espesor, además, puede considerarse que incluya los requisitos exigidos por la normativa española: Recomendaciones para la construcción de puentes mixtos para carreteras (RPX-95), en la que se especifica:

Las superficies inaccesibles a la inspección o a la reposición de la pintura y que no sean adecuadamente selladas, estarán dotadas inicialmente con una protección calculada para la vida útil de la obra siguiendo las especificaciones que figuran en el apartado 2.8.1 y adicionalmente se incrementará el espesor de la chapa estrictamente calculada, con un sobreespesor que compense los efectos previsibles de la corrosión durante la vida de la obra.

En ausencia de datos específicos, el incremento de los espesores nominales, según el ambiente en que se encuentre ubicada la obra, se establecerá de acuerdo con los datos siguientes:

- a) Ambientes marinos o industriales de alta agresividad: 1,5 mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista para el puente.

- b) Ambientes exteriores con agresividad media: 1 mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista para el puente.
- c) Ambientes poco contaminados: 0,5 mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista para el puente.

En el acápite AASHTO 6.10.2.1 Proporciones del alma se especifican el requisito para el espesor del alma en función de su peralte:

$$\frac{h_v}{t_w} \leq 150. \quad (2.4)$$

#### 2.1.2.4- Diseño de las alas de las vigas

El diseño de las alas consiste en determinar su ancho ( $b_f$ ) y su espesor ( $t_w$ ). El ancho preliminar se estima dentro del rango establecido por la relación empírica entre el valor del peralte de la viga y su ancho:

$$b_f = \text{rango} (h_v/3 ,o, h_v/4), \quad (2.5)$$

es decir, valores comprendido entre 533 mm y 400 mm.

El espesor del ala preliminar se estima dentro del rango establecido por la relación empírica entre el valor del ancho del ala y su espesor:

$$t_f = \text{rango} (b_{vf}/16 ,o, b_f/24), \quad (2.6)$$

es decir, valores comprendido entre 31 mm y 20 mm.

Las alas de compresión y tracción se deberán diseñar de manera que:

- a) AASHTO 6.10.2.2-1: La siguiente ecuación es un límite práctico que asegura que el ala no se distorsionará excesivamente al soldarla al alma:

$$b_f/2t_f \leq 12.0 \quad (2.7)$$

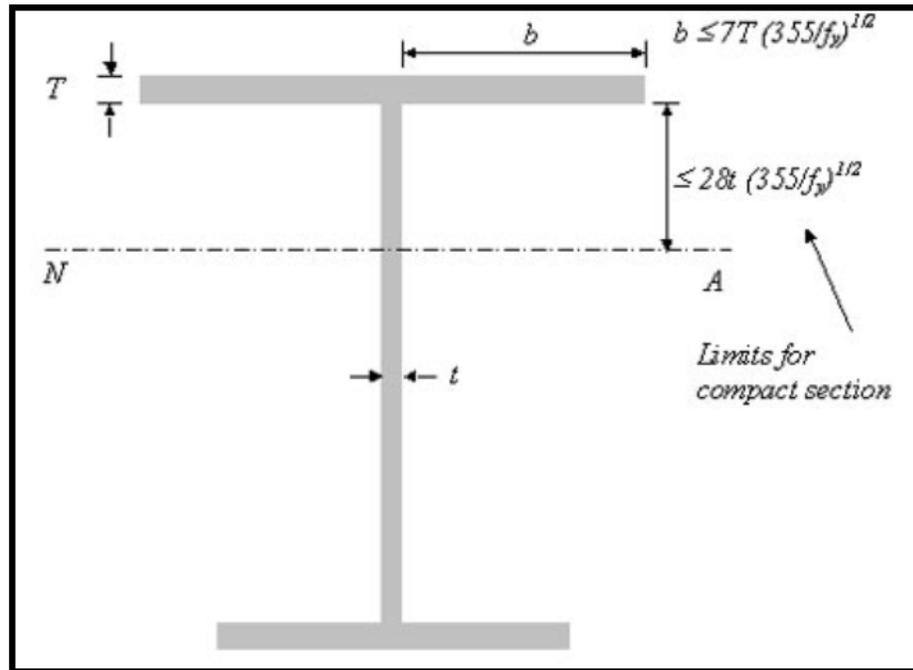
- b) AASHTO 6.10.2.2-2: El objetivo de la siguiente ecuación es limitar esta relación a un valor máximo de 6, tanto para alas a compresión como para las alas a tracción, asegura que, si la sección a lo largo de todo el panel está dimensionada

de manera de satisfacer la Ecuación 6.10.9.3.2-1, los paneles interiores del alma rigidizados puedan desarrollar resistencia al corte postpandeo debido a la acción del campo de tensiones:

$$b_f \geq h_v/6 \quad (2.8)$$

- c) AASHTO 6.10.2.2-3: La siguiente ecuación asegura que las alas proporcionarán algo de restricción contra el pandeo por corte del alma, y también que las condiciones de borde supuestas en las uniones alma-ala en las fórmulas de pandeo flexional del alma y pandeo local del ala de compresión incluidas en estas Especificaciones AASHTO sean lo suficientemente precisas:

$$t_f \geq 1.1t_w \quad (2.9)$$



**Figura 2.3:** Ejemplo de diseño del ala y alma de una viga

**Fuente:** (August, 2002).

### 2.1.2.5- Diseño de las vigas conformadas.

Según [Hernández et al. 2013] para diseñar las vigas conformadas con sus respectivas dimensiones implica que su ejecución se debe realizar en dos etapas

1. Conformación de las vigas en fábrica.
2. Ensamblaje de las vigas en obra

Se hace imprescindible definir los principales trabajos que se realizarán en cada una de estas etapas.

### 2.1.3- Predimensionamiento de la losa.

El espesor mínimo de losa de tableros de hormigón (Figura 2.4), según la [AASHTO 2012], que se recomienda en el diseño de puentes es de 175 mm a menos que el Propietario lo autorice expresamente. En algunos casos dicho límite inferior es menor de 175 mm [AASHTO, Artículos 4.6.2.2.2, 4.6.2.2.3 y 9.7.1.1, 2012]. En el caso de los voladizos el espesor mínimo será de 30 cm. Para determinar los valores de peralte de losa y de los voladizos se utilizan las expresiones relacionadas en la tabla 2.1.

El ancho de pre losa debe depender del peso de ellas y de las grúas que se decidan emplear para el posterior montaje de las mismas.

**Tabla 2.2** Peraltos mínimos recomendados para vigas, y losas que trabajan en una dirección.

$h_{min}$ (Recomendado para losas)			
Condiciones de apoyos			
Simplemente apoyada	Un extremo continuo	Ambos extremos continuos	Voladizo
$l/13$	$l/17$	$l/22$	$l/5,5$

**Fuente:** (ACI 440.1R-06)



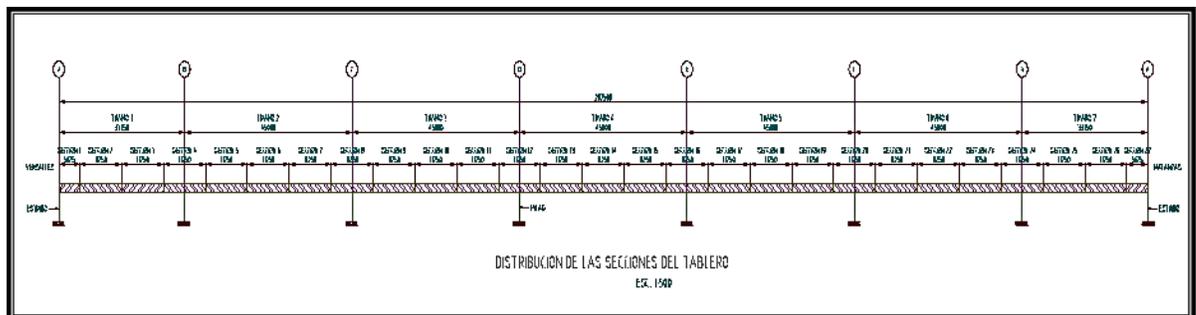
**Figura 2.4:** Losas de tablero de hormigón

**Fuente:** (Diseño Puentes sobre el Río Toa, 2016).

## 2.2- Dimensionamiento longitudinal de los segmentos de viga

De acuerdo a la tecnología constructiva que se empleará y al tipo de puente, para el dimensionamiento de las secciones (Figura 2.5) prevalecen dos criterios fundamentales:

- 1) El peso de la sección no debe exceder de 45 toneladas.
- 2) En el diseño es importante velar que los empalmes entre los elementos constituyentes no se realicen en los puntos críticos, es decir sobre los apoyos y en el centro de la luz.



**Figura 2.5:** Ejemplo de Distribución de Sección Longitudinal

**Fuente:** (Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Yumurí, 2013).

### 2.3- Organización de obra

Para iniciar la etapa constructiva se hace necesario realizar una correcta organización de obra con el objetivo de considerar los locales necesarios para las actividades fundamentales en los estribos del puente, la cantidad de trabajadores que se necesitarán para el desarrollo de las mismas, así como maquinarias, herramientas y medios de protección.

La siguiente tabla relaciona los locales que se necesitarán con una breve descripción de los mismos:

**Tabla 2.3:** Descripción de los locales necesarios en la construcción de puentes lanzados

Locales	Descripción
Losa de ensamblaje	Losa de hormigón armado, mejoramiento compactado
Pailería	Nave cerrada, cubierta ligera, paredes con bloques, corriente 110V-220V mono
Taller de acero	Nave abierta, cubierta ligera, corriente 220 3F, agua banco de trabajo
Almacén Acero	Parcela cerrada con burros de acero, para la estiba posible grúa eléctrica ligera
Comedor, baños y taquillas	Nave semi abierta
Almacén de estructura	Parcela cercada, piso de mejoramiento compactado con apoyos para estiba
Almacén resto de estructura	Parcela cerrada, piso de mejoramiento compactado

**Fuente:** Elaborada por el autor

Para la composición de la cuadrilla será necesario contratar un encargado de controlar el correcto cumplimiento de las actividades y la calidad de los elementos a elaborar. Se necesitará un técnico, dos montadores operarios, cuatro ayudantes, dos soldadores y dos operarios de quipos pesados; en total doce trabajadores operarán en las diferentes áreas, profesionales altamente calificados que garantizarán servicios técnicos de elevada profesionalidad.

#### **2.4- Lanzamiento y colocación de las vigas del tablero.**

El sistema de empuje (Figura 2.6) está compuesto por dos rieles por los que se desplazan los patines que soportan la estructura metálica a la cual se le adosa en la punta una estructura aligerada o Viga de Lanzamiento (Nariz) (Figura 2.7) la cual es armada previamente en el área de montaje y ensamblada y lanzada en conjunto con el resto de la estructura metálica mediante la utilización de cuatro (4) unidades de tiro, dispuestas en el Estribo de Lanzamiento debajo del ala inferior de las vigas y accionadas y controladas por una central hidráulica computarizada [Hernández et al. 2013]. La estructura metálica se completa con un sistema de arriostramientos horizontales, verticales y transversales con perfiles de una determinada serie, a lo largo de toda la longitud del puente.



**Figura 2.6:** Sistema de Empuje



**Figura 2.7:** Viga de Lanzamiento

**Fuente:** (*Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Yumurí, 2013*).

Primeramente, se hace necesario el movimiento de tierra general del patio desde donde se producirá el ensamblaje y empuje del puente y posteriormente se considera el pre ensamblaje del primer tramo del puente y de la nariz del empuje como actividades

esenciales (Figura 2.8 y 2.9) Se comienza con el sistema de empuje de la primera sección del puente hasta alcanzar la longitud del primer tramo  $L_1$  y se colocan las otras secciones a medida que se va avanzando (Figura 2.10-A). Es imprescindible que la primera sección en conjunto con la nariz de lanzamiento sea capaz de desplazarse justamente hasta el primer estribo del puente (Figura 2.10-B).



*Figura 2.8: Pre ensamblaje de la primera Sección.*

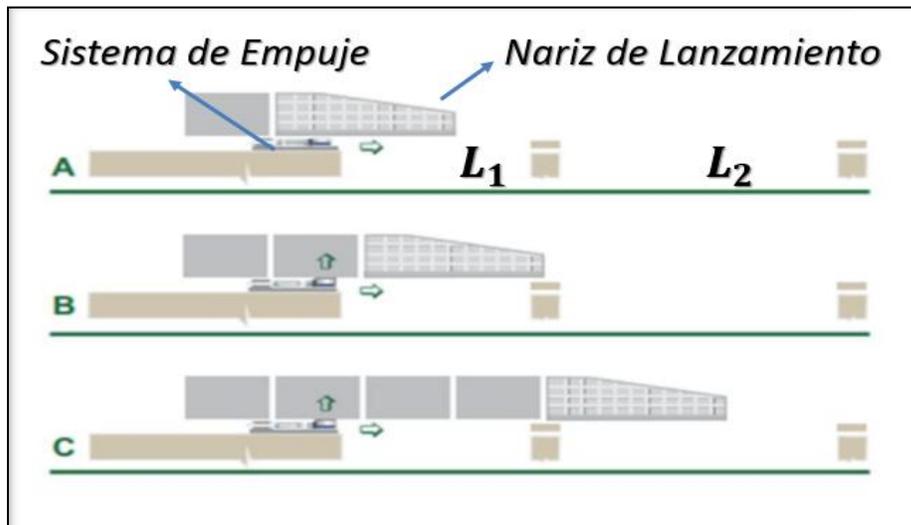


*Figura 2.9: Pre ensamblaje de la nariz.*

*Fuente: (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, 2007)*

En la parte delantera de la nariz, en la zona de aproximación a las pilas, se instalarán unos gatos especiales, cuyo objetivo es recuperar la flecha de peso propio que toma la ménsula al llegar a la pila, de lo contrario se hará necesario colocar tirantes. En la parte trasera se efectúa la unión de la nariz con el concreto de la superestructura que deberá ser capaz de transmitir la flexión y el cortante producido por la reacción de la pila en la nariz.

El peso de la sección que ocupará el primer vano debe ser mayor que el peso que poseerá la primera sección al ser lanzada hacia el segundo estribo para que actúe como contrapeso y así evitar el vuelco de la sección. Así sucesivamente se continúan lanzando las otras secciones que conformarán el puente hasta lograr que la superestructura llegue a su posición definitiva.



**Figura 2.10:** Proceso de Lanzamiento del tablero

**Fuente:** Elaborada por el autor.

Después de haber logrado desplazar la primera sección y pre ensamblado la segunda se continua el empuje del tablero (Figura 2.10-C) hasta lograr que la segunda sección alcance la posición del primer estribo y la nariz de empuje junto con la primera sección ya lanzada, logre ocupar la longitud del segundo tramo del puente  $L_2$ .

Posterior al lanzado de las vigas y una vez que se encuentren en su posición definitiva, las mismas deberán elevarse sobre cada pila y estribo con ayuda de gatos hidráulicos para colocar los apoyos definitivos, compuestos por planchas metálicas y almohadillas de neopreno con láminas metálicas intercaladas. Las planchas metálicas de apoyo inferiores, van fijadas a las vigas de concreto de las pilas mediante “grout” (relleno estructural para la colocación bajo estructuras y maquinaria) sin retracción y anclajes dejados para tal fin, y en el caso de las planchas metálicas de apoyo superiores se fijarán a las vigas metálicas mediante soldadura de campo (Figura 2.11).



**Figura 2.11:** Sistema de Apoyo. Variante para la etapa deslizable y final

**Fuente:** (*Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Yumurí, 2013*).

## 2.5- Colocación de la losa de hormigón.

Posterior al apoyo de la estructura metálica sobre los apoyos definitivos, se completa la estructura con la colocación del tablero de concreto prefabricado fuera de la obra y en paralelo con las otras actividades en ejecución en el sitio de obra. Las losas son transportadas y colocadas sobre la estructura metálica (Figura) mediante el uso de una (1) grúa de celosía sobre oruga 60 ton., de capacidad c/u que garantizan la colocación de todo el tablero en menos plazo de tiempo.

La estructura viga metálica – losa de concreto se diseñará de forma tal que la viga metálica sea capaz de soportar todas las cargas incluyendo el peso de las losas de hormigón y las cargas móviles. Para resolver este aspecto se engrosarán las alas en el ancho que sea necesario en los momentos máximos, positivos y negativos, de esta forma la unión viga-losa se debe diseñar de forma tal que garantice un trabajo monolítico entre ambos elementos reforzándose las carpetas de hormigón complementaria para absorber un esfuerzo de fisuramiento correspondiente al momento crítico por fisuración sobre los apoyos.

La estructura viga metálica – losa de concreto se diseñará como una sección compuesta, la cual tendrá mayor efectividad en las zonas de momento positivo (zona central de los paños). Para ellos estas losas están provistas de ranuras las cuales quedan ubicadas sobre

las alas superiores de las vigas metálicas permitiendo la fijación mediante conectores de corte tipo “Nelson Studs” soldados a las alas de las vigas para que con el posterior vaciado de concreto de estas ranuras se complete la unión concreto-acero del tablero con la superestructura metálica.



*Figura 2.12: Colocación de la losa de hormigón.*

*Fuente: (Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, 2007)*

## **2.6- Etapa final del proyecto.**

Por último, se procede a la ejecución de las juntas de dilatación, las aceras, las defensas de concreto y la colocación de la carpeta de rodamiento de asfalto con el espesor requerido. Al finalizar estas operaciones se procede a la colocación de la iluminación y la demarcación vial para dar apertura al tráfico.

## **2.7- Procedimiento de pre-diseño y construcción para el lanzamiento de tableros de puentes de estructura mixta y prefabricada.**

De acuerdo con los aspectos analizados en los epígrafes anteriores y producto a que las normativas actuales no contienen un procedimiento de pre-diseño y construcción de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada, se plantea la siguiente secuencia de pasos con el objetivo de facilitar su comprensión.



*Figura 2.13: Procedimiento de pre-diseño y construcción para tableros de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada.*

*Fuente: Elaborada por el autor.*

## 2.8- Conclusiones Parciales

1. Se analizan los criterios para el predimensionamiento de los elementos que conforman los puentes lanzados durante la etapa de construcción y posteriormente de explotación.
2. Se expone las principales actividades de organización de obra y los pasos a seguir para el lanzamiento y colocación de las vigas del tablero, así como de la losa de hormigón.
3. Se obtiene un procedimiento para la realización del pre-diseño y construcción de tableros de puentes lanzados de secciones compuestas y prefabricadas

### **CAPÍTULO 3 “APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE PRE-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES LANZADOS DE ESTRUCTURA COMPUESTA Y PREFABRICADA AL CASO DE ESTUDIO DEL PUENTE DEL ABRA DEL YUMURÍ.”**

En este capítulo se pretende aplicar conceptualmente el procedimiento de pre-diseño y construcción de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada, confeccionado por el autor en el capítulo anterior, al caso de estudio: tablero del Puente del Abra del Yumurí. Además, se incluye el cálculo de la nariz de lanzamiento que se colocará en la parte delantera de la estructura para alcanzar su posición definitiva.

#### **3.1- Conceptualización de las vigas y losa del tablero**

Según [Hernández,2011] en el proyecto inicial del Puente del Abra del Yumurí, la variante de tablero mixto y prefabricado, compuesto por vigas metálicas y losa de hormigón, fue seleccionada debido a la posibilidad de los suministros de la estructura metálica, las ventajas de su ensamblaje en un taller de prefabricación en los extremos del puente y para lograr el trabajo conjunto del acero y el hormigón como una sección compuesta.

#### **3.2- Predimensionamiento de la estructura**

##### **3.2.1- Predimensionamiento de las vigas**

Teniendo en cuenta los criterios de pre dimensionamiento analizados en el capítulo anterior, se determinan las dimensiones orientativas de las secciones transversales de vigas. En la tabla 3.1 se aprecian los parámetros a determinar como son el peralte total, ancho y espesor de las alas, así como los valores mínimos, medios y máximos obtenidos según los diferentes criterios:

**Tabla 3.1:** Criterios y valores obtenidos para el predimensionamiento de vigas.

Descripcion		Criterios		Calculos		
		Min	Max	Min	Medio	Max
Dimensiones de las luces	L			40		
Factor Puntos Cero	F			0,08		
Distancia entre puntos cero	$L_0$			33,600		
Peralto Total	D	$L_0/18$	$L_0/12$	1,867	2,240	2,800
Ancho de las alas	2b	D/4	D/3	0,467	0,640	0,933
Espesor de las alas	T	b/12	b/8	0,019	0,032	0,058
Espesor del alma	t	D/125		0,015	0,018	0,022

*Fuente:* Elaborada por el autor

### 3.2.1.1- Determinación del peralto de las vigas

El autor emplea los criterios analizados en el capítulo anterior, según [August, 2002], para la determinación del peralto ( $h_v$ ) en dependencia de la luz ( $L=45\text{ m}$ ) y obtiene el siguiente resultado:

- $h_v \geq 0.033 L$ , obteniendo un valor **L = 1.485 m.**
- $h_v \geq L/ 25$ , obteniendo un valor **L = 1.800 m.**

Al realizar varios cálculos preliminares y analizar los valores empleados en otros puentes similares, como el caso del puente sobre el Río Toa, se decide adoptar un peralto  $h_v = 1.600\text{ m}$ .

Después de un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos se seleccionaron los valores para los diferentes parámetros, los cuales se expresan la tabla 3.2:

**Tabla 3.2:** Valores seleccionados para el predimensionamiento de vigas.

Peralto Viga	D	1,600
Ancho de las alas	2b	0,500
Espesor de las alas	T	0,020
Espesor del alma	t	0,022

*Fuente:* Elaborada por el autor.

### 3.2.1.2- Espaciamiento entre las vigas.

Para cumplir con el criterio expresado en el epígrafe 2.1.2.1 en nuestro caso se parte del valor de 0.35 y después de ajustes modulares de dimensionamiento se obtuvo un valor de 0.36, por lo que cumple con el criterio. Según [Hernández, 2011] el ancho del puente (A) es un valor determinado en cálculos anteriores y la cantidad de vigas ( $n_v$ ) se determina según las recomendaciones de [August 2002] que plantea que el mínimo de vigas a colocar en una sección transversal de un puente es de 4. La distancia entre vigas ( $d_c$ ) se determina por la fórmula (2.1) analizada en el capítulo anterior:

$$d_c = \frac{A}{[(n_v-1)+(2 \times C_d)]} \text{ [Hernández, 2011].} \quad (2.1)$$

$$d_c = \frac{12,300}{[(4-1) + (2 \times 0,35)]}$$

$$d_c = 3,324m$$

Posteriormente, el valor obtenido de ( $d_c$ ) se redondea por defecto para obtener la distancia entre vigas de diseño ( $d_v$ ) y se procede a calcular el valor del voladizo empleando la fórmula que aparece en la tabla 2.2 del capítulo anterior. Los resultados obtenidos, luego de aplicar los criterios de diseño para la determinación de la separación entre las vigas y las dimensiones del voladizo, aparecen en la tabla 3.3:

**Tabla 3.3:** Resultados obtenidos para la separación entre las vigas y dimensiones del voladizo

Ancho del puente (A) =	12,300	
Cantidad de vigas ( $n_v$ ) =	4	
Criterio de diseño ( $C_d$ ) =	0,350	$C_d$ = Relación $d_v/V$
Distancia entre vigas calculada ( $d_c$ ) =	3,324	$d_c = [A/((n_v-1) + (2 \times C_d))]$
Distancia entre vigas diseño ( $d_v$ ) =	3,300	Redondear $d_c$
Valor voladizos (V) =	1,200	
Cumplimiento del criterio de diseño =	0,36	

**Fuente:** Elaborada por el autor.

En la tabla anterior el espaciamiento determinado entre las vigas longitudinales principales es de 3,30 metros y la longitud para los voladizos laterales exteriores es 1,20 metros.

### **3.2.1.2- Descripción de las vigas**

El diseño final de la viga metálica permitirá soportar el total de las cargas actuantes, una vez transmitidas por la losa las cargas vehiculares hacia las mismas transversalmente. Las vigas serán del tipo conformada mediante soldaduras con placas de acero estructural, debido a que no se producen vigas laminadas en caliente para el peralte necesario.

### **3.2.1.3- Diseño del alma de las vigas**

Para determinar el espesor del alma ( $t_w$ ) en relación con su peralte ( $h_v$ ) el autor selecciona el valor de 1/80 para satisfacer la relación expresada en el epígrafe 2.1.2.3:

$$t_w = h_v / 80 = 1600 / 80 = 20 \text{ mm}$$

Al considerar que dicho espesor incluye los requisitos exigidos por la normativa española: Recomendaciones para la construcción de puentes mixtos para carreteras (RPX-95) se considera el caso b: Ambientes exteriores con agresividad media: 1 mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista para el puente, por lo que se obtuvo un sobrecosto de 6mm para 90 años, determinando que el espesor total del alma es de 26 mm.

Para satisfacer la ecuación 2.4 del epígrafe 2.1.2.3 En nuestro caso esta relación tiene un valor  $1600/26 = 62 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$ , por lo que se cumple ampliamente.

### **3.2.1.4- Diseño de las alas de las vigas**

Para cumplir con el rango establecido por la relación empírica entre el valor del peralte de la viga y su ancho y obtener valores comprendidos entre 533mm y 400mm se emplea la expresión 2.5 del epígrafe 2.1.2.4:

$$b_f = \text{rango} (h_v/3, 0, h_v/4),$$

Se adopta un valor de 500 mm.

Preliminarmente se adopta un valor de 20 mm de espesor del ala preliminar y finalmente se adopta un valor de 22 mm, por lo que se cumple con el rango establecido entre 31 mm y 20 mm.

El diseño de las alas de compresión y tracción se chequea de acuerdo con las expresiones planteadas en el epígrafe 2.1.2.4:

- $b_f/2t_f \leq 12.0$

$$b_f/2t_f = 500/2 * 22$$

$$b_f/2t_f = 11,36 < 12,0 \text{ OK.}$$

- $b_f \geq h_v/6$

$$b_f \geq 1600/6$$

$$b_f = 266, \text{ en nuestro caso: } 500 > 266, \text{ OK.}$$

- $t_f \geq 1.1t_w$

$$t_f \geq 1.1 * 20$$

$$t_f = 22, \text{ OK}$$

### 3.2.1.5- Diseño de las vigas conformadas.

Para la continuidad de las vigas principales que constituyen el tablero de este puente, según lo expresado por el autor en el epígrafe 2.1.2.5, su ejecución se realizará en dos etapas:

1º) Conformación de las vigas en fábrica. En la fábrica se realizan los siguientes trabajos:

- Corte de las piezas
- Soldadura, mediante cordón y con penetración total, entre la placa que conforma el alma y las placas de las alas superiores e inferiores, de acuerdo al plano correspondiente y las especificaciones para la ejecución de la soldadura que se elaboren para esta unión.
- Soldadura de los conectores de corte tipo perno (studs) mediante arco eléctrico, cumplimentando las especificaciones para la ejecución de la soldadura que se elaboren para esta unión.
- Colocación de los elementos de izajes.
- Aplicación de la primera capa de pintura, primer, de acuerdo con las especificaciones que se elaboren, con excepción de del tope superior de las vigas y los pernos conectores.

2º) Ensamblaje de las vigas en obra. En la obra se ejecuta un taller con las condiciones para garantizar los trabajos en la línea montaje y empuje del puente. Este taller deberá tener todas las condiciones para garantizar todas las actividades del montaje con los requisitos y calidad exigidos en el proyecto. En este taller se realizan los siguientes trabajos:

- Ensamblaje de las vigas mediante empalmes por soldadura de acuerdo al plano correspondiente y las especificaciones para la ejecución de la soldadura que se elaboren para esta unión.
- Aplicación de la primera capa de pintura, primer, en las zonas de empalme de acuerdo con las especificaciones que se elaboren

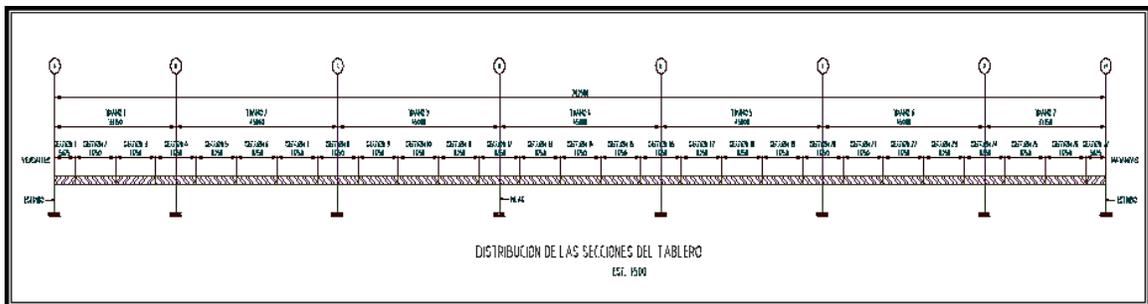
### **3.2.2- Predimensionamiento de la losa**

Producto a que la capacidad resistente de la sección será resistida por las vigas metálicas, el refuerzo principal de la losa es transversal al eje del puente y sobre los apoyos, en la dirección longitudinal se coloca un refuerzo por fisuración. Dicha solución trae consigo que la losa pueda ser colocada por grúas que se trasladen por encima del tablero a medida que se va montando, una vez lanzada las secciones de vigas. La losa del Puente del Abra

del Yumurí, se diseñará trabajando en la dirección de la sección transversal, la cual fue pre dimensionada con los valores expresados en el capítulo 2 epígrafe 2.1.1. Se propone un espesor de losa de 200 mm.

### 3.3- Dimensionamiento longitudinal de los segmentos de viga

La adopción de la longitud de 36.00 m para las luces extremas del puente permite elaborar el alma de la mayoría de los segmentos del tablero del puente con placas suministradas de acero estructural de dimensiones 1800 x 12500 mm. El requisito de que los puntos de máximo momento a flexión positiva y negativa no coincidan con empalmes implica lograr que estos coincidan con los puntos medios de las placas, razón por la cual se originan dos segmentos extremos de 5625 mm. La segmentación es: 5625 + 25x11250 + 5625.



**Figura 3.1:** Distribución de Sección Longitudinal del puente.

**Fuente:** Elaborada por el autor.

Las alas se confeccionan a partir de placas de dimensiones 500 x 11250 mm. La cantidad de placas a suministrar, considerando que los segmentos extremos son la mitad de los intermedios es la siguiente:

**Tabla 3.4:** Cantidad de placas por tipo de segmentos.

<b>Cantidad de placas de 11250 por tipo de segmentos</b>						
Tipo de segmento	Elemento	Placas por segmento	Cantidad de segmentos	Cantidad de vigas	Total neto de placas	Total neto + 10 % de placas
11250	Alma	1	25	4	100	<b>105</b>
	Alas	2				
5625	Alma	0,5	2	4	4	<b>4,2</b>
	Alas	0,5				

*Fuente: Elaborada por el autor.*

El peso del suministro para las vigas principales conformadas es el calculado en la siguiente tabla, considerándose un incremento en el número de las placas y redondeándolas al valor superior.

*Tabla 3.5: Peso de las placas a suministrar para las vigas principales*

<b>Peso de las placas a suministrar para las vigas principales</b>						
Elemento	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Peso (t)	Cantidad	Peso (t)
Alma	1600	11250	20	2,83	100	<b>282,6</b>
Alas	500	11250	22	0,97	5	<b>4,9</b>
Peso NetoTotal=					105	<b>287,5</b>

*Fuente: Elaborada por el autor.*

### **3.4 Criterios para el pre-dimensionamiento de la nariz de lanzamiento**

Después de realizar el dimensionamiento longitudinal de los segmentos de viga se procede a establecer las características que deberá poseer la viga o nariz de lanzamiento para lograr un correcto desplazamiento de la superestructura hacia su posición definitiva. La nariz se diseñará de forma tal que logre disminuir el peso en la punta del voladizo y que sea capaz de recuperar la flecha provocada por la ménsula al llegar a la pila. Su longitud será de 1/3 de la sección mayor del puente, por lo que se obtiene un valor de 15m.



*Figura 3.2: Nariz de lanzamiento al llegar a la pila*

*Fuente: (Viaducto Empujado Mixto Arroyo de las Piedras)*

### **3.5- Lanzamiento y colocación de las vigas del tablero.**

En la decisión final es importante garantizar el plazo de 14 meses de construcción, pues existen riesgos inherentes al propio proceso de ejecución de la obra y las facilidades que se requieren, sobre todo, las vinculadas con el acarreo y tráfico de materiales. De hecho, en las condiciones de país bloqueado es vital que se limiten dichos riesgos, a un mínimo, partiendo de que los financiamientos no serán nacionales.

En los Estribos solo cabe resaltar que el estribo de lanzamiento en lado de Versailles no puede ser totalmente ejecutado hasta terminar el lanzamiento de la estructura metálica, ya que sobre el descansan los sistemas de lanzamiento. En este estribo será necesario construir una plataforma de dimensiones tales que permita la instalación del taller de ensamblado final y lanzamiento de las vigas metálicas de la superestructura del Viaducto. Dicha plataforma se construirá con un gran relleno soportado por muros en Tierra Armada con dimensiones de aproximadamente 100 m. de longitud por 25 m. de ancho sobre la que se construirá el denominado Galpón de Ensamblaje y Lanzamiento. En el caso de la ejecución de superestructura, la estructura mixta permite prefabricar la parte metálica mientras en el sitio de obra se ejecutan las cimentaciones y pilas

Una vez que se realizan las actividades de movimiento de tierra general del patio desde donde se producirá el ensamblaje y empuje del puente (lado Versailles), se procederá con

el pre ensamblaje del primer tramo del puente y de la nariz del empuje. Posteriormente abarca el pre ensamblaje del segundo tramo y el ensamblaje del primero. Se prepara el acceso y se ejecutan las plataformas de trabajo para el lado Matanzas. Luego se inicia el pre ensamblaje del tercer tramo y se concluye el ensamblaje del segundo y así sucesivamente hasta lograr el pre ensamblaje del cuarto tramo y el ensamblaje del tercero. Creadas estas condiciones se procede al empuje del primer módulo, el cual, una vez lanzado, junto con la nariz de lanzamiento, debe ser capaz de superar la distancia desde el estribo hasta la primera pila (36m).

Con el objetivo de recuperar la flecha de peso propio que toma la ménsula al llegar a la pila se procede a un apuntalamiento de la primera sección, ya que las condiciones del terreno lo permiten, según (Hernández, 2011) al realizar un estudio topográfico de la zona de emplazamiento del puente. Después de haber logrado desplazar la primera sección se continua el empuje del tablero hasta lograr que la segunda sección alcance la posición del primer estribo y la nariz de empuje junto con la primera sección ya lanzada, logre ocupar la longitud del segundo tramo del puente (45m). En la parte frontal del empuje se dispondrán dos patines desmontables (Fig. 3.3) y un gato (Fig. 3.4) para hacer el paso de pila. Al llegar el voladizo a la segunda pila, el gato central recupera la flecha dejando la estructura a cota preparada para el paso de pila.



**Figura 3.3:** *Detalle del gato frontal y el gato en la nariz*



**Figura 3.4:** *Operación de paso de pila y repliegue de patines*

**Fuente:** *(Viaducto Empujado Mixto Arroyo de las Piedras)*

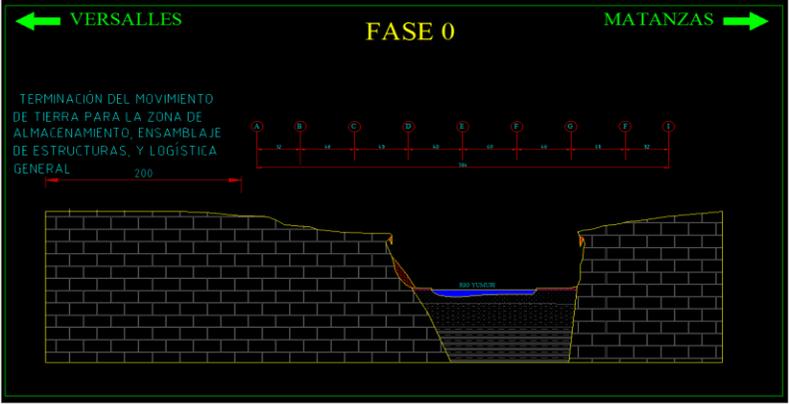
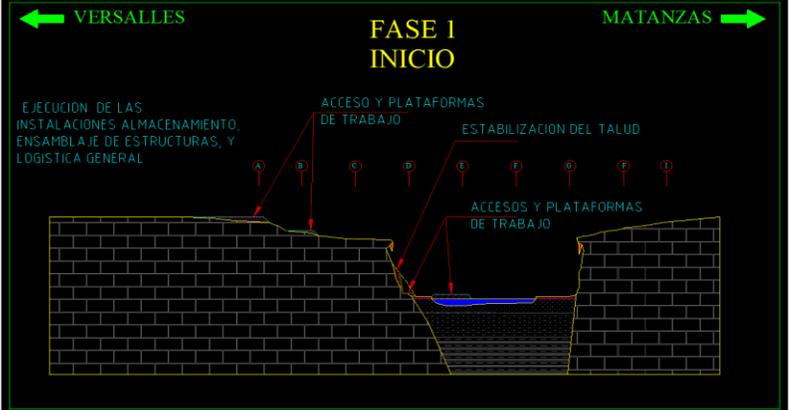
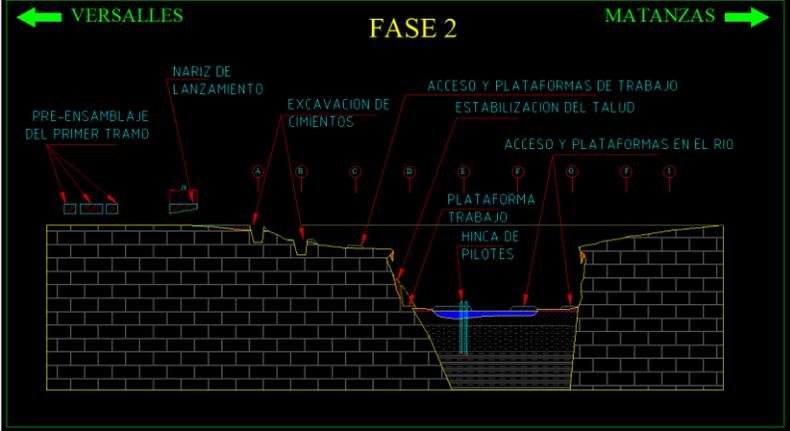
Con el gato levantado, se despliegan hasta la horizontal los patines de empuje, que hasta entonces estaban posición vertical para no topar con la pila. Los patines van dispuestos en prolongación de las platabandas inferiores, y al desplegarlos se apoyan sobre los apoyos deslizantes de la pila. Con los patines apoyados en los deslizantes se retira el gato, y se procede a continuar el empuje. Una vez el puente avanza y apoya con las platabandas inferiores, se vuelven a replegar los patines. Así sucesivamente se continúan lanzando las otras secciones que conformarán el puente hasta lograr que la superestructura llegue a su posición definitiva.

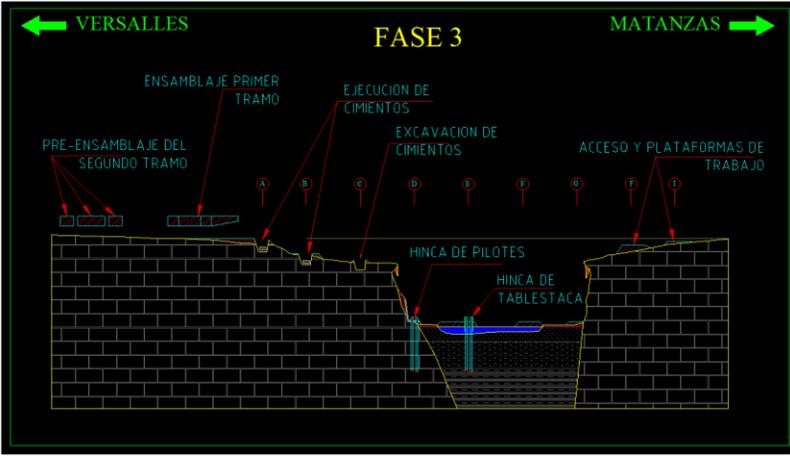
### **3.6- Colocación de la losa de hormigón**

Se completa la estructura con la colocación del tablero de concreto prefabricado una vez trasladado a la obra. Para que la viga metálica sea capaz de soportar todas las cargas incluyendo el peso de las losas de hormigón y las cargas móviles, se engrosarán las alas en el ancho que sea necesario en los momentos máximos, positivos y negativos, como se subscribe en el epígrafe 2.5, de esta forma la unión viga-losa se debe diseñar de forma tal que garantice un trabajo monolítico entre ambos elementos

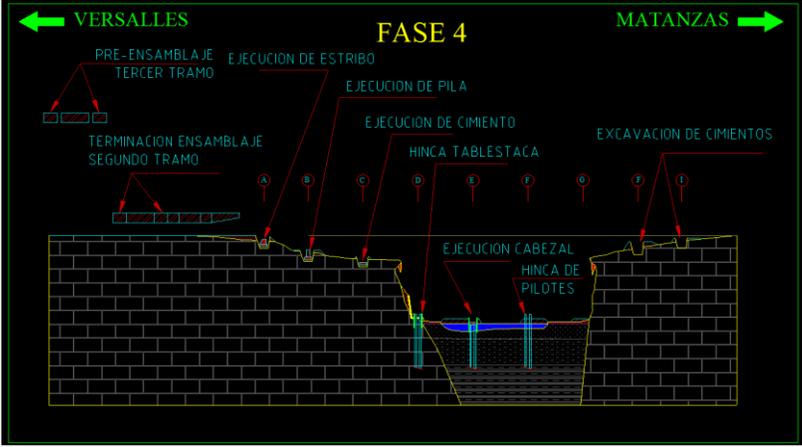
En la tabla 3.6 el autor resume de manera exhaustiva la secuencia constructiva para la confección del tablero del puente, con las fases y actividades definidas para lograr un plazo de ejecución de 14 meses.

**Tabla 3.6** Secuencia constructiva para la confección del tablero.

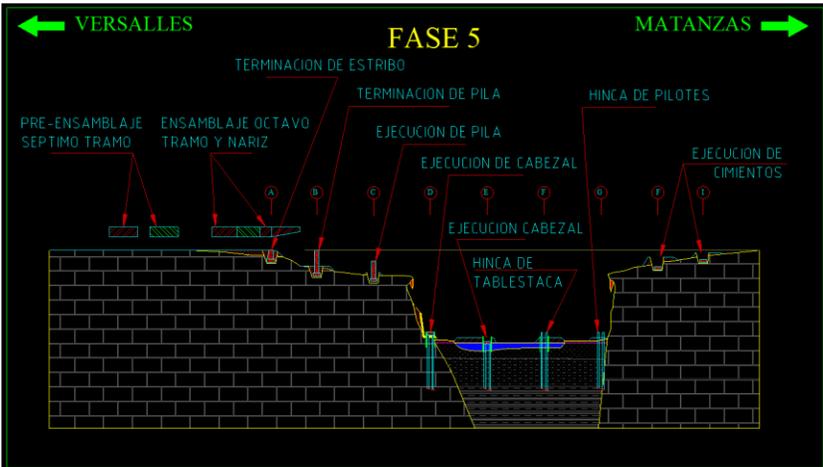
Fase	Actividad
 <p>← VERSALLES</p> <p style="text-align: center;"><b>FASE 0</b></p> <p style="text-align: right;">MATANZAS →</p> <p>TERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRA PARA LA ZONA DE ALMACENAMIENTO, ENSAMBLAJE DE ESTRUCTURAS, Y LOGÍSTICA GENERAL</p> <p>200</p>	<p>Movimiento de tierra general del patio (lado Versalles) desde donde se producirá el ensamblaje y empuje del puente.</p>
 <p>← VERSALLES</p> <p style="text-align: center;"><b>FASE 1 INICIO</b></p> <p style="text-align: right;">MATANZAS →</p> <p>EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES ALMACENAMIENTO, ENSAMBLAJE DE ESTRUCTURAS, Y LOGÍSTICA GENERAL</p> <p>ACCESO Y PLATAFORMAS DE TRABAJO</p> <p>ESTABILIZACIÓN DEL TALUD</p> <p>ACCESOS Y PLATAFORMAS DE TRABAJO</p>	<p>Ejecución, en el estribo Versalles, de las zonas para el almacenamiento de las estructuras y materiales, del trabajo de fábrica.</p>
 <p>← VERSALLES</p> <p style="text-align: center;"><b>FASE 2</b></p> <p style="text-align: right;">MATANZAS →</p> <p>PRE-ENSAMBLAJE DEL PRIMER TRAMO</p> <p>NARIZ DE LANZAMIENTO</p> <p>EXCAVACION DE CIMIENTOS</p> <p>ACCESO Y PLATAFORMAS DE TRABAJO</p> <p>ESTABILIZACIÓN DEL TALUD</p> <p>ACCESO Y PLATAFORMAS EN EL RIO</p> <p>PLATAFORMA DE TRABAJO</p> <p>HINCA DE PILOTES</p>	<p>Considera el pre ensamblaje del primer tramo del puente y de la nariz del empuje, como actividades esenciales.</p>



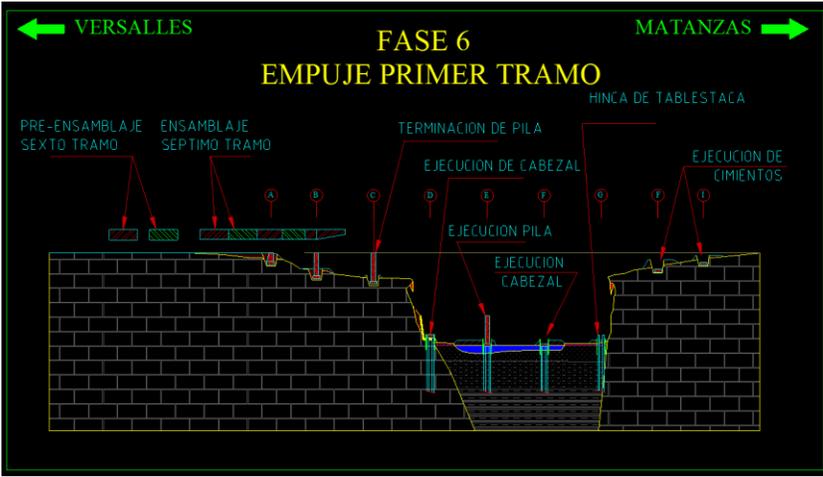
Abarca el pre ensamblaje del segundo tramo y el ensamblaje del primero. Se prepara el acceso y se ejecutan las plataformas de trabajo para el lado Matanzas.



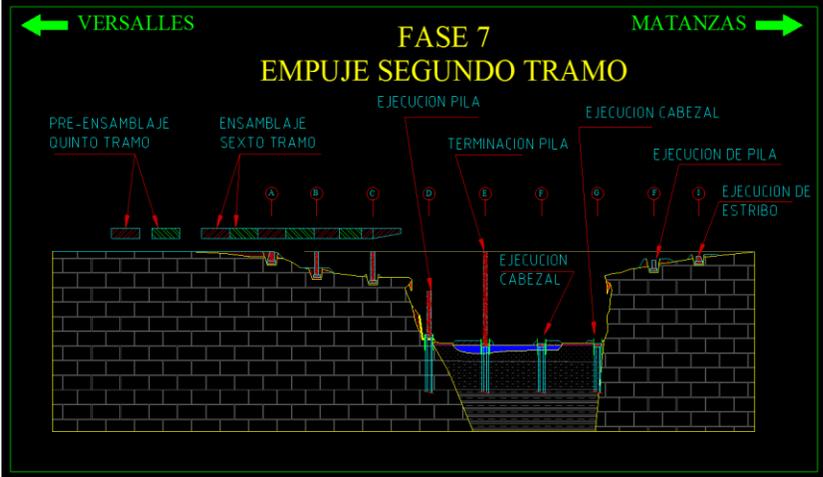
Se inicia el pre ensamblaje del tercer tramo y se concluye el ensamblaje del segundo.



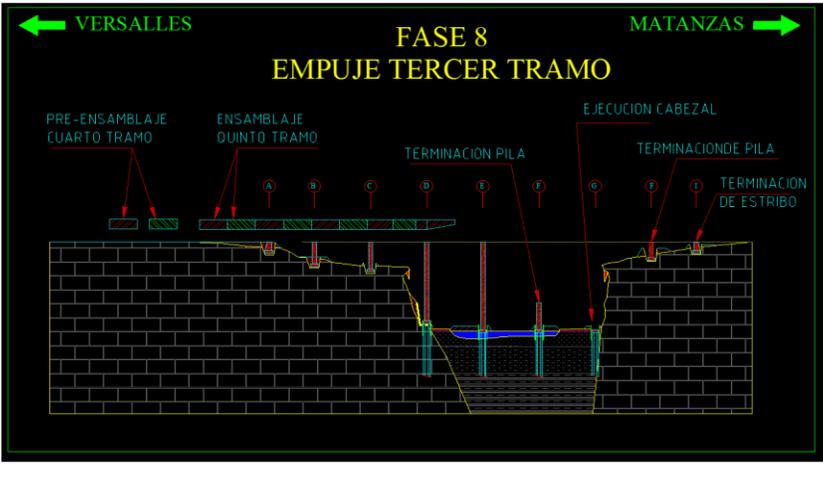
Se pre ensambla el cuarto y se ensambla el tercer tramo a la nariz.



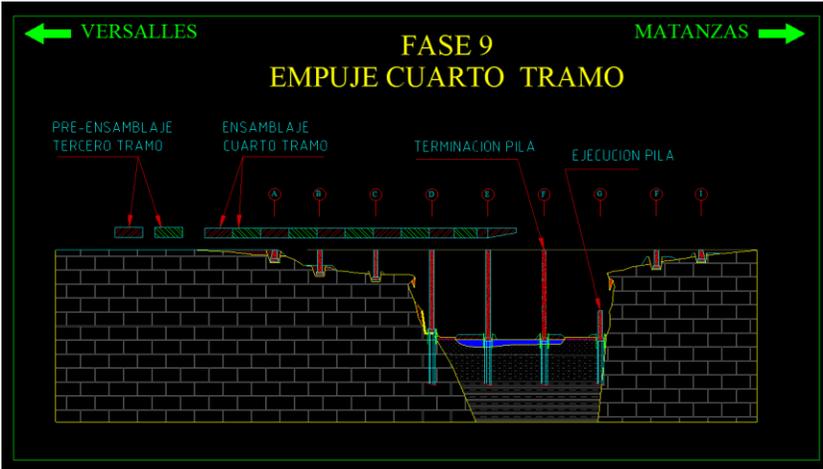
Se inicia con el empuje del primer módulo, se pre ensambla el quinto y se ensambla el cuarto tramo.



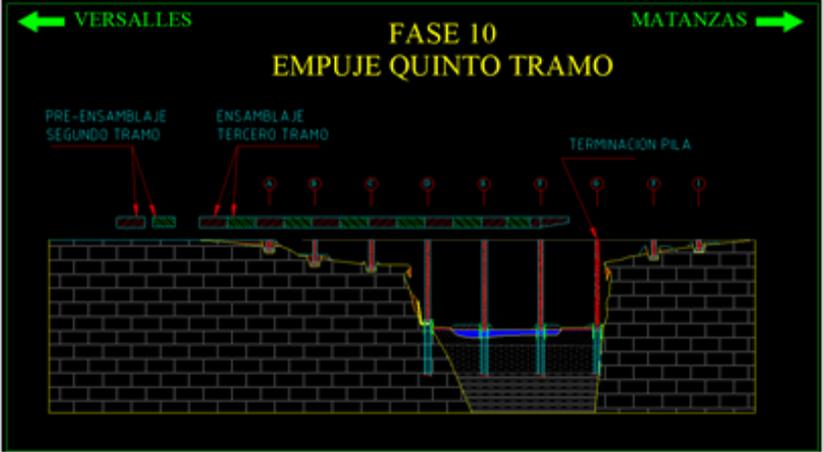
Se empuja el segundo módulo. Se pre ensambla el sexto tramo y se ensambla el quinto.



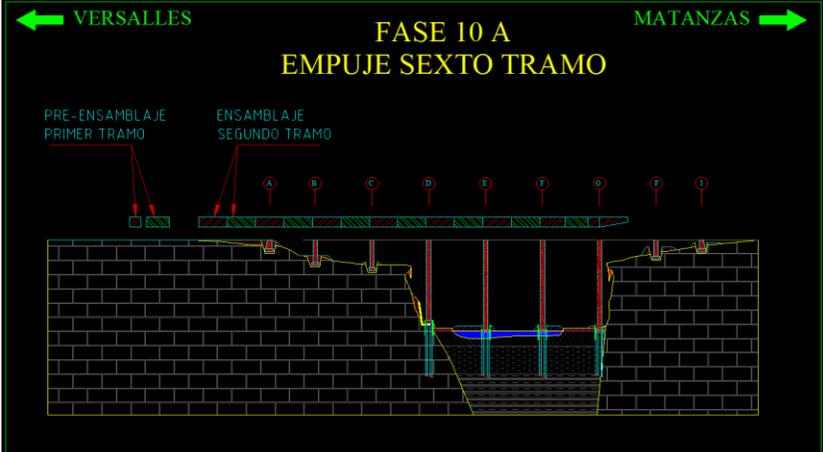
Se produce el empuje del tercer módulo. Se pre ensambla el séptimo y se ensambla el sexto.



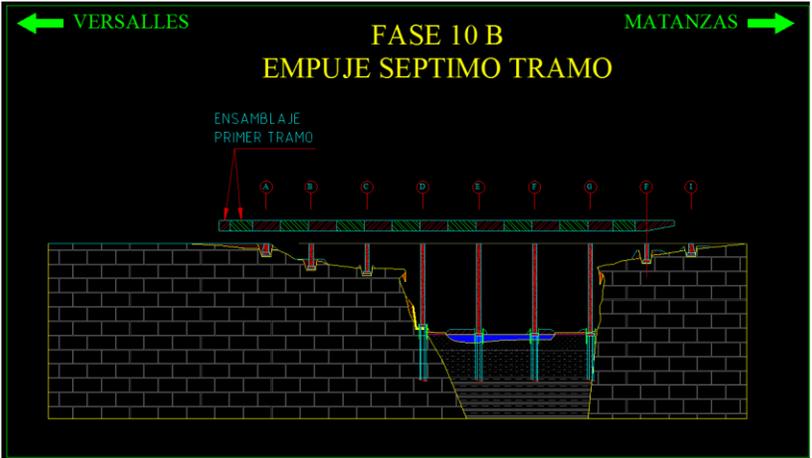
Se empuja el cuarto módulo. Se pre ensambla el octavo y se ensambla el séptimo tramo.



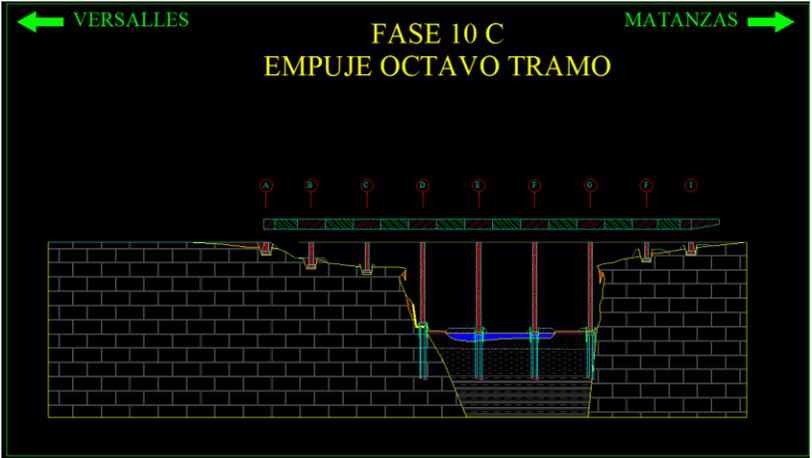
Se pre ensambla el noveno tramo y se ensambla el octavo. Se produce el empuje del quinto módulo.



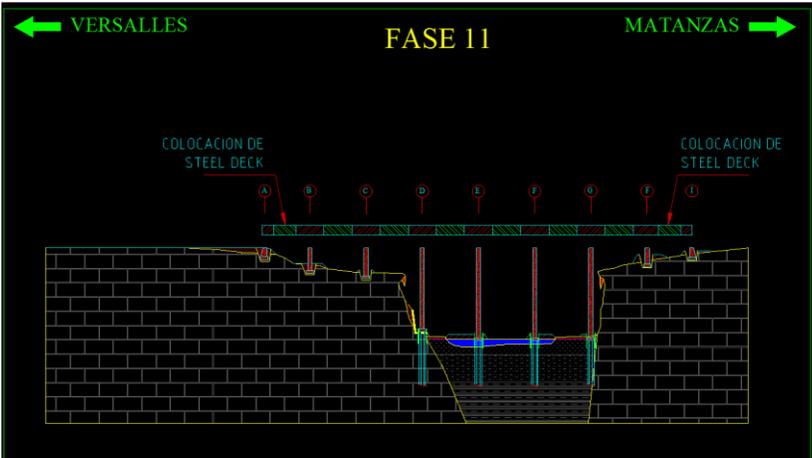
Ocurre el empuje del sexto módulo. Se produce el pre ensamblado del noveno tramo.



Se empuja el séptimo módulo.



Se empuja el octavo módulo.



Contempla la colocación del steel deck.

	<p>Abarca la colocación del acero y la fundición de la losa del tablero.</p>
	<p>Se realizan las defensas del puente y se inician las terminaciones.</p>
	<p>Corresponde a las terminaciones finales.</p>

*Fuente: Elaborada por el autor.*

Una vez culminada la etapa constructiva, el Puente del Abra del Yumurí poseerá una arquitectura similar al Puente de Bacunayagua (Figura 3.5) para dar apertura al tráfico y cumplir con el objetivo para el cual fue diseñado, al lograr un equilibrio con la naturaleza y una máxima transparencia, ya que el hermoso Valle de Yumurí es un verdadero regalo para la pupila de los amantes de la naturaleza y forma parte de las clásicas joyas paisajísticas de fama internacional que adornan a la ciudad de Matanzas.



*Figura 3.5: Puente de Bacunayagua, maravilla de la ingeniería civil cubana*

*Fuente: (Disponible en la Internet: Puentes de Matanzas, Cuba)*

### **3.7 Conclusión Parcial**

1. Se aplicó el procedimiento propuesto por el autor, a partir del cual se obtuvo el pre-diseño del tablero del Puente del Abra del Yumurí y una secuencia lógica de la etapa constructiva del mismo a partir de la técnica de lanzamiento.

## CONCLUSIONES

1. La investigación demuestra la necesidad de introducir en Cuba los avances científico-técnicos y el desarrollo de las técnicas más modernas para la elaboración de los proyectos, lo cual permitió conocer las principales características de puentes mixtos y prefabricados que emplean, para la confección del tablero, el método de lanzamiento, siguiendo los diseños de puentes lanzados más reconocidos en la actualidad a nivel mundial.
2. El procedimiento para la construcción de puentes lanzados de estructura mixta y prefabricada fue estructurado de forma articulada siguiendo una secuencia lógica de actividades y diseñado basado en las herramientas y normas más reconocidas y aplicadas internacionalmente.
3. El procedimiento propuesto por el autor permitió la obtención de un pre-diseño del tablero con estructura mixta y prefabricada del Puente del Abra del Yumurí y la elaboración una secuencia de pasos lógicos de la etapa constructiva del mismo a partir de la técnica de lanzamiento.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Departamento de Construcciones de la Universidad de Matanzas implementar en la preparación de los estudiantes de la carrera el estudio de nuevas técnicas de construcción de puentes, tales como la expuesta en el trabajo.
2. A la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas continuar con los estudios pertinentes para el diseño y construcción del Puente del Abra del Yumurí, como principal obstáculo para el desarrollo de la circunvalación Norte de la ciudad, los que continuarán el camino hacia el desarrollo de las obras inducidas en el programa de la Refinería de Matanzas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2012). *A policy on geometric desing of highways and streets*. Washington, D.C.
- AUGUST (2002) *Structural Steel Superstructures*.
- CONSTRUMÁTICA (2017) *Construcciones mixtas de acero y hormigón*, disponible en la internet en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras Mixtas de Acero y Hormigón>, acceso: 17-dic-2017.
- CONSTRUMÁTICA (2017) *Construcciones mixtas semi-prefabricadas*, disponible en la internet en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras Mixtas Semi-Prefabricadas>, acceso: 17-dic-2017
- EMPAI (2013) *Ideas Conceptuales del Puente en el Abra del Río Yumurí en la Carretera Circunvalación Norte de la Ciudad de Matanzas*. Código de Servicio: 001-11-6-01-1.
- EUROCODE 3 (2006) *Plated Structural Elements*. part 1-5.
- MILLANES, F; PASCUAL, J; ORTEGA, M (2007) *Arroyo las Piedras Viaduct: the first composite Steel-concrete High Speed Railway bridge in Spain*. IABSE Structural Engineering Internacional, España.
- MILLANES, F.; PASCUAL, J.; ORTEGA, M (2009) *Viaducto de Las Piedras. Bulletin Ponts Métalliques. ConstruirAcier*, España.
- NC 733-2009 *Carreteras-Puentes y Alcantarillas-Requisitos de Diseño y Método de Cálculo*. Primera ed. La Habana, Cuba.
- RPM-95 *Recomendaciones para el proyecto de puentes metálicos para carreteras* Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General de Carreteras, Madrid.

RIPA, T; PASCUAL, J (2004) *Design Improvements for Patch Loading Resistance in Bridges during Launching*. Steel Bridge 2004. Symposium International sur les Ponts Métalliques. Millau, Francia.

ROSIGNOLI, M (2002) *Bridge Launching*’ Thomas Telford Publishing, Londres

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES SIA 161. (1990)  
*Constructions métalliques*.

VAQUERO, A (2007) Presentación ante el II Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil, Mérida.

YEPES, V (2017) *Aplicabilidad de la construcción de puentes empujados*, disponible en la internet en: <http://victoryepes.blogspot.com/2017/07/31/puentes-empujados>, Valencia.

