



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presenta:

Marco Polo Villagómez Benítez

Asesor:

Ing. Alejandro Peralta Arnaud

Morelia, Michoacán Enero de 2020





“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



ÍNDICE GENERAL

Índice general	I
Índice de imágenes	III
Índice de tablas	IV
Índice de figuras	IV
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
INTRODUCCIÓN	1
1 Antecedentes	2
1.1 Puente	2
1.1.1 Puente Isostático.	2
1.1.2 Estructuras Hiperestáticas (Especiales).	2
1.2 Estructuras especiales.	2
1.3 Puentes contruidos en doble voladizo.	5
1.4 Puentes empujados.	6
1.4.1 Estructuras complementarias.	6
1.5 Puentes atirantados.	7
1.5.1 Componentes estructurales.	7
1.6 Puentes en arco.	8
1.6.1 Elementos componentes.	9
2 Características especiales del tramo	11
3 Tipología de las estructuras especiales	16
3.1 Doble voladizo.	16



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



3.2	Metálico en arco de paso superior.	18
3.3	Metálico empujado.	20
4	Proyecto	21
4.1	Puentes.	22
4.1.1	Puente Nuevo Atenquique km 107+070.	23
4.1.2	Puente Agua Escondida km 108+905.	25
4.1.3	Puente La Clavelina km 111+620.	26
4.1.4	Puente El Platanar I km 112+745.	28
4.1.5	Puente El Platanar II km 113+270.	29
4.1.6	Puente El Limón km 116+025.	31
4.1.7	Puente El Beltrán km 116+855.	32
5	Proceso constructivo	35
5.1	Doble voladizo.	35
5.2	Metálico en arco de paso superior.	49
5.3	Puente empujado.	64
6	Conclusiones y recomendaciones	78
	Bibliografía y fuentes de consulta	79



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Índice de imágenes

Imagen 1	Croquis de localización.	11
Imagen 2	Excavación para desplante de cimentación.	37
Imagen 3	Perforación para pilotes o pilastrones.	37
Imagen 4	Acero para pilas de cimentación.	38
Imagen 5	Acero de refuerzo en zapata.	39
Imagen 6	Cimbra en zapata.	39
Imagen 7	Concreto en zapata.	40
Imagen 8	Cimbra deslizante en columna de pila.	41
Imagen 9	Colados de columnas de pilas.	42
Imagen 10	Evolución de colados en columnas.	43
Imagen 11	Cimbra y colado de dovela sobre pila (DSP).	44
Imagen 12	Armado de carros de colados.	45
Imagen 13	Colado de dovelas D-1.	45
Imagen 14	Colado de dovelas en doble volado.	46
Imagen 15	Evolución de colados en doble volado.	47
Imagen 16	Vista del doble volado terminado.	47
Imagen 17	Panorámica “Puente El Beltrán”.	48
Imagen 18	Excavación para desplante de cimentación.	50
Imagen 19	Trazo para pilotes de cimentación.	50
Imagen 20	Colado de pilotes.	51
Imagen 21	Colado de estribos.	52
Imagen 22	Acero de refuerzo en zapata de pila.	52
Imagen 23	Zapatas de pilas con anclas tensadas.	53
Imagen 24	Colado de columnas.	53
Imagen 25	Bancos en pilas.	54
Imagen 26	Fabricación estructura metálica.	54
Imagen 27	Estructura en sitio.	55
Imagen 28	Montaje de trabes dovelas D-1 y D2	56
Imagen 29	Montaje de columna en dovela DA-2.	58
Imagen 30	Montaje de trabes dovela D-4.	59
Imagen 31	Montaje de trabes dovela D-5 y montenes.	60
Imagen 32	Cierre de arco.	62
Imagen 33	Cierre de estructura y colocación de montén.	62
Imagen 34	Panorámica “Puente Platanar II”.	63
Imagen 35	Excavación para desplante de cimentación.	65



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Imagen 36	Acero de refuerzo en zapata.	66
Imagen 37	Cimbra deslizante en columna de pila.	67
Imagen 38	Colado de columna de pila.	67
Imagen 39	Cabezales de pilas.	68
Imagen 40	Fosa de lanzado.	68
Imagen 41	Fabricación de la estructura metálica.	69
Imagen 42	Armado de nariz y dovelas D-1, D-2 y D-3.	71
Imagen 43	Empujado de nariz y dovelas.	72
Imagen 44	Estructura sobre pila N° 2.	73
Imagen 45	Nariz sobre pila N° 3.	74
Imagen 46	Nariz aproximándose a estribo N° 4.	75
Imagen 47	Retiro de nariz de lanzado.	76
Imagen 48	Panorámica “Puente La Clavelina km 11+620”.	77

Índice de tablas

Tabla 1	Frentes de construcción.	12
Tabla 2	Estructuras totales del frente I.	12
Tabla 3	Estructuras totales del frente II.	13
Tabla 4	Estructuras especiales del proyecto.	15

Índice de figuras

Figura 1	Estructura en doble voladizo.	17
Figura 2	Estructura de arco metálico.	19
Figura 3	Puente metálico empujado.	20
Figura 4	Sección tipo del proyecto.	23
Figura 5	Puente Nuevo Atenquique.	24
Figura 6	Puente Agua Escondida.	25
Figura 7	Puente La Clavelina.	27
Figura 8	Puente Platanar I.	28
Figura 9	Puente Platanar II.	30
Figura 10	Puente El Limón.	31



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Figura 11	Puente El Beltrán.	33
Figura 12	Secuencia de montaje de estructura.	56
Figura 13	Colocación de retenidas.	57
Figura 14	Montaje dovela de arco DA-3.	58
Figura 15	Montaje dovela de arco DA-4.	60
Figura 16	Montaje dovela de arco DA-6.	61
Figura 17	Dispositivo para empujado de estructura.	70
Figura 18	Etapa N° 1 nariz y dovelas D-1, D-2 y D-3.	70
Figura 19	Empujado de nariz de lanzado.	71
Figura 20	Ensamblado de dovela D-4 y contrapeso provisional.	72
Figura 21	Nariz de lanzado apoyada en pila N° 2.	73
Figura 22	Ensamblado de dovelas D-7, D-8 y D-9.	74
Figura 23	Voladizo de nariz en pila N° 3.	75
Figura 24	Estructura en posición final.	76



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



AGRADECIMIENTOS.

Al concluir con una etapa más de mi vida, quiero agradecer a todas las personas que de gran manera han influido indiscutiblemente en ella.

A mis padres:

Alfonso Villagómez por estar en mi vida, quien con el ejemplo da catedra de fortaleza.

Margarita Benítez quien es el amor encarnado en una persona, mi guía, quien siempre confió en lo que soñé y quien nunca duda de mi capacidad.

A mis hermanos:

Diana pilar insustituible de la familia y mi segunda mamá.

Tito nunca olvidare que estuviste ahí.

Yanira por el apoyo incondicional en cada paso de esta familia.

Alex mi hermana la rebelde, quien se atrevió por primera vez.

Ñoña quien en su vida diaria da ejemplo de pasión, fortaleza y a quien se le iluminan los ojos cuando me ve.

A mi esposa:

Jackie a quien amo locamente, ya que sin locura no hay felicidad, por compartir su libertad conmigo, ser la persona que nunca me alentara a dejar de ser quien soy y darme un par de hijos maravillosos Pichón y Abril.

A mis amigos:

Milton quien siempre formara parte de mis recuerdos.

Ahuandar por el apoyo en los momentos difíciles.

A mi asesor:

Ingeniero Alejandro Peralta quien me demostró que no todos los catedráticos son iguales, por brindarme su tiempo, apoyo, orientación en la elaboración de este trabajo y de quien estoy completamente agradecido.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



RESUMEN

Debido a la constante necesidad de comunicación entre los diversos tipos de asentamientos humanos vía terrestre, es necesaria la construcción y conservación de carreteras de diferentes especificaciones, a pesar de que las carreteras tienen diferentes especificaciones, todas tienen un común denominador, que son la necesidad de salvar obstáculos naturales o artificiales, por tal motivo en todas las carreteras se construyen puentes de diferentes especificaciones según sea su necesidad.

Esta tesis trata en específico de explicar en forma breve y concisa los diferentes procedimientos de construcción, únicamente de las estructuras especiales construidas en la ampliación a cuatro carriles de la autopista Guadalajara – Colima, demás se representa de forma gráfica cada uno de los pasos durante los diferentes procesos.

Los procedimientos de construcción de estructuras especiales que en esta tesis se documentan son los siguientes:

Construcción mediante el sistema de doble voladizo de los puentes “Nuevo Atenquique”, “El Platanar I”, “El Limón” y “El Beltrán” Las estructuras tienen una longitud variable, que va de 300 m. hasta los 500 m. y una altura tomando en cuenta la pila más alta de cada puente, que va desde los 96 m. de altura, hasta 144 metros.

Construcción de puentes metálicos en arco “Agua Escondida” y “Platanar II”, con longitudes variables y con una pendiente longitudinal de -2.50%, un ancho de corona de 10.50 metros.

Construcción del puente metálico empujado “La Clavelina” de longitud total de 167 m; formado por tres claros, uno central de 76 m y dos claros extremos de 45.50 m cada uno.

Palabras clave: Puentes, acero, concreto, equipo, personal.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



ABSTRACT

Due to the constant need for communication between the various types of human settlements by land, the construction and conservation of roads of different specifications is necessary, although the roads have different specifications, they all have a common denominator, which is the need for overcome natural or artificial obstacles, for this reason on all roads bridges of different specifications are built according to your need.

This thesis specifically tries to explain briefly and concisely the different construction procedures, only of the special structures built in the four-lane extension of the Guadalajara - Colima highway, each one of them represents each of the steps during the Different processes

The procedures for the construction of special structures that are documented in this thesis are the following:

Construction using the double cantilever system of the “Nuevo Atenquique”, “El Platanar I”, “El Limón” and “El Beltrán” bridges The structures have a variable length, ranging from 300 m. up to 500 m. and a height taking into account the highest pile of each bridge, which goes from 96 m. high, up to 144 meters.

Construction of metal arch bridges “Hidden Water” and “Platanar II”, with variable lengths and with a longitudinal slope of -2.50%, a crown width of 10.50 meters.

Construction of the “La Clavelina” pushed metal bridge with a total length of 167 m; formed by three clearings, one central of 76 m and two clear ends of 45.50 m each.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere al tema de la construcción de puentes en las carreteras, por su importancia de salvar obstáculos naturales como ríos, valles, lagos o brazos de la mar; y obstáculos artificiales como vías férreas. Con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías.

Las características principales de este tipo de estructuras son dos; la subestructura que se compone por estribos pilares extremos, pilas o apoyos centrales y cimientos que forman la base de ambos; y la superestructura que corresponde al tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, construidas por vigas, cables o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos.

Es de vital importancia el diseño geométrico de una carretera, estableciendo con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad vial, la comodidad del usuario, la integridad en su entorno, la estética, la economía en la construcción y la elasticidad para ampliaciones en el futuro.

En este trabajo se recopila la experiencia profesional en la construcción de estructuras especiales en autopistas con la finalidad de aportar teoría de forma breve y concisa sobre las estructuras especiales a las personas que se interesen en esta área.



1. ANTECEDENTES

1.1 PUENTE

Es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, una carretera, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y de la naturaleza del terreno sobre el que se construye.

1.1.1 Puente Isostático: Puente cuyos tableros son estáticamente independientes uno de otro y, a su vez, independientes, desde el punto de vista de flexión, de los apoyos que los sostienen, cuya superestructura entre los apoyos se encuentra simplemente apoyada y las solicitaciones en servicio son mayores a las del proceso constructivo por el peso mismo de la estructura.

1.1.2 Estructuras Hiperestáticas (Especiales): Estructuras cuyos tableros son dependientes uno de otro desde el punto de vista estático, pudiendo establecerse o no una dependencia entre los tableros y sus apoyos, en los cuales los esfuerzos que rigen el diseño estructural son los que se generan en la etapa de construcción, mismos que superan a los esfuerzos a los que será sometida la estructura en la etapa de servicio.

1.2 ESTRUCTURAS ESPECIALES.

El deseo de eliminar la cimbra y realizar estructuras evolutivas, resistentes a lo largo de todo el proceso constructivo, ha sido un viejo sueño de los ingenieros. De 1811 data una patente y un proyecto del Americano Pope para salvar un claro de 550 metros sobre el río Hudson, con arco formado por celosía en madera, avanzando en voladizo desde los estribos que servían de contrapeso, la idea de Alexander Pope difícilmente viable a la vista de los dibujos que, de su diseño, y



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



hasta siglo y medio después no se haría realidad plenamente, con un material totalmente nuevo, de concreto pretensado, y no en América sino en Europa.

El intento más serio de concreto armado se produce en 1930, al construirse el puente sobre el río Peixe en Brasil, con un claro central de 68 metros, ejecutado mediante dovelas de 1.50 metros de longitud. El empalme de las barras pasivas del tablero superior se realizaba mediante manguitos roscados.

El verdadero desarrollo del sistema llegó con el concreto pretensado, se había demostrado en puentes sobre la viabilidad de ser compuestos por dovelas prefabricadas y enlazadas exclusivamente por pretensado.

Pero fue el ingeniero Finsterwalder y la firma Dywidag quienes pusieron a punto el procedimiento en su versión inicial construyendo el puente sobre el río Lahn de 62 metros de claro en 1950. Y que ya en 1953 alcanzaban los 114 metros en el puente de los Nibelungos sobre el Rhin en la ciudad de Worms, puente que era la reconstrucción del antiguo constituido por 3 arcos tímpanos.

A diferencia de la solución de hormigón armado aplicada en Peixe, aquí se exige pre-comprimir cada nueva dovela hormigonada contra las anteriores, obteniendo la necesaria solidarización.

Precisamente, el sistema de pretensado Dywidag, quizá concebido para este tipo de obras, se amolda perfectamente a ellas al estar compuesto por barras de corta longitud muy fácilmente empalmables mediante manguitos roscados, y cuyo anclaje en forma de campana metálica.

Se comprende fácilmente la ventaja que representa la libertad de anclar una barra determinada en una dovela, contribuyendo de este modo al pretensado del voladizo ya construido, y su posterior empalme que funcionará como anclaje pasivo cuando tal barra sea de nuevo puesta en tensión y anclada en otra dovela más avanzada.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



El sistema se divulgó y experimentó numerosos perfeccionamientos tanto en medios auxiliares y tecnología, como en lo que respecta a los esquemas estáticos de las obras así construidas. Las dos grandes familias de dinteles que coexisten hoy en día son, por un lado, las que se atienen a la idea original de dovelas de concreto colado in situ sobre carros de colado (con variantes que pueden llegar hasta el empleo de grandes vigas metálicas de suspensión provisional de cada pareja de dovelas simétricas) y, por otro, las basadas en el empleo de dovelas prefabricadas encoladas mediante resinas con juntas en seco y sin armadura pasiva pasante. La solución de junta húmeda de mortero de pocos centímetros de espesor está prácticamente abandonada al reunir casi todos los inconvenientes de ambas familias.

Los récords actuales de dinteles no atirantados están lógicamente apropiados por puentes de la primera familia en los que el empleo de dovelas prefabricadas de gran peso hubiera obligado a medios auxiliares excesivos. Puede así decirse que, en términos generales, la solución de dovelas ejecutadas sobre carro está especialmente indicada en los puentes que se componen de un claro central importante, acompañado por laterales de claros menores. Por el contrario, el empleo de dovelas prefabricadas requiere numerosos claros iguales o parecidos que permitan la amortización de la instalación de producción, y facilidades para los medios auxiliares de transporte y montaje.

Si entramos en el campo de los puentes atirantados, encontramos que la técnica de avance en voladizo se combina perfectamente con la disposición sucesiva de cables inclinados exteriores, provisionales o definitivos (aunque con tendencia más bien a esto último), configurando una estructura evolutiva, resistente a lo largo de toda su ejecución.

Incluso los puentes de arco se han visto revitalizados con esta técnica, que tiene precedentes tan imponentes, sustentando el arco metálico en avance mediante cables auxiliares y que, finalmente, Austria y Japón han aplicado a la ejecución de grandes arcos con toda la tecnología de carros de avance de los tramos rectos.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



La sección del arco, bicelular con paredes delgadas, tan ventajosa desde el punto de vista del aumento de rendimiento de la sección y de reducción del peso propio, ve su ejecución muy facilitada por el empleo de encofrados metálicos análogos a los de los dinteles de los tramos rectos. [3]

Según la normativa vigente para el PROYECTO (PRY), **M·PRY·CAR·6·01·008/04** para puentes especiales, los define de la siguiente manera: [4]

“Los puentes especiales son puentes y estructuras afines cuya estructuración es diferente a la común y que consiste en superestructuras de tramos libremente apoyados o continuos, colados en sitio o prefabricados, de concreto reforzado o presforzado y/o de vigas metálicas”.
Estos puentes se clasifican en:

1.3 PUENTES CONSTRUIDOS EN DOBLE VOLADIZO.

Puentes cuya superestructura está constituida por segmentos o dovelas prefabricados o colados en sitio mediante cimbra móvil, que se colocan sucesivamente a partir de un elemento de subestructura, formando un voladizo de longitud creciente, hasta encontrarse con el extremo de otro voladizo.

Que parte de un elemento de subestructura adyacente, o hasta apoyarse en un estribo o en un apoyo provisional.

Estos puentes pueden ser en doble voladizo cuando se construyen a partir de una pila y el avance se realiza en forma simétrica respecto a ese elemento; o en voladizo sencillo cuando se construyen a partir de un estribo y se dispone de un elemento de anclaje o contrapeso para equilibrar el momento en ese estribo.

Los puentes contruidos por este procedimiento utilizan cables de presfuerzo longitudinal generalmente, en tanto que el uso de presfuerzo transversal puede ocurrir o no. El concreto para las dovelas puede ser de masa normal o aligerada.



1.4 PUENTES EMPUJADOS.

Son aquellos cuya superestructura está formada por dovelas o segmentos, que se fabrican en el sitio o en un taller. Cada dovela se ensambla a la anterior.

El empuje puede realizarse también desde ambos extremos, en tal caso los conjuntos de dovelas se encuentran en un punto intermedio de la longitud del puente.

1.4.1 Estructuras complementarias.

Nariz de lanzado.

La nariz de lanzamiento es una estructura metálica provisional que se sujeta a la punta del conjunto de dovelas que será empujada y que tiene por objeto reducir la longitud de dicho conjunto que trabajará en voladizo durante el lanzamiento y anticipar la condición de trabajo como tramo libremente apoyado.

Patio de prefabricación.

Es aquel en que se construyen, deslizan, ensamblan y se empujan las dovelas o segmentos de la superestructura del puente.

Apoyos provisionales.

Elementos provisionales de subestructuras que se construyen con el objeto de reducir el claro en que trabaja la pila y que se ubican generalmente al centro del claro entre dos pilas definitivas.

Atirantamiento provisional.

En la parte frontal de la superestructura empujada, se coloca un sistema provisional de soporte consistente en una torre articulada en su base.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Apoyos deslizantes provisionales.

Dispositivos que se colocan sobre los cabezales de la superestructura, tanto provisional como definitiva, sobre los cuales se desliza la nariz de lanzamiento y la superestructura.

Estos apoyos, entre los estribos y pilas definitivas, se retiran al término del empujado y se sustituyen por los apoyos definitivos.

Bases de apoyo provisionales.

Son elementos prismáticos, prefabricados, de concreto reforzado sobre los que se colocan los apoyos deslizantes provisionales.

Guías laterales.

Dispositivos que se colocan en el área de montaje y en las coronas de la subestructura del puente con el objeto de evitar el desalineamiento de la superestructura durante el empujado.

1.5 PUENTES ATIRANTADOS.

Son aquellos en que el tablero de la superestructura es soportado por tirantes o cables inclinados que se anclan a uno o varios mástiles o torres y que inducen una fuerza axial de compresión en la sección transversal del tablero.

1.5.1 Componentes estructurales.

Mástil.

También conocido como torre o pión, es el elemento del puente en que se anclan los tirantes que soportan al tablero.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Tirantes.

Elementos flexibles e inclinados que soportan al tablero y se conectan en diferentes puntos a lo largo del mismo, así como en los extremos opuestos a diferentes puntos en la altura de los mástiles.

Subestructura.

La subestructura de los puentes atirantados está constituida generalmente por pilas y estribos. Las pilas principales se prolongan por encima del tablero uniéndose con los mástiles.

Tablero.

Es la porción de superestructura formada por el sistema de piso que soporta la superficie de rodadura de las cargas móviles y que está integrado por losas, largueros, diafragmas o piezas de puente y elementos portantes que son soportados por los tirantes.

1.6 PUENTES EN ARCO.

Estructura cuya directriz tiene una configuración curva o poligonal. La carga muerta genera esfuerzos axiales con excentricidades nulas o pequeñas respecto a la directriz, en tanto que la carga actuando en solo una parte del claro o las cargas accidentales generan esfuerzos axiales con excentricidades grandes respecto a la directriz y por lo tanto solicitaciones de flexión.

Los arcos circulares se denominan de medio punto si comprenden una media circunferencia. Si abarcan un segmento de circunferencia de menor extensión se denominan rebajados.

Los arcos circulares están formados por varios segmentos de



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



circunferencia de curvatura variable, en los que el radio, se incrementa de la clave hacia los arranques. Por la posición de la estructura curva con respecto a la rasante, los puentes de arco pueden ser de paso inferior si la rasante queda por debajo, de paso superior si la rasante está por encima del arco.

1.6.1 Elementos componentes.

Los elementos característicos de un puente en arco son los que se mencionan en los Párrafos de este Inciso.

Directriz.

Línea que une los centros de figura de las secciones transversales del arco. Queda caracterizada por el claro (distancia entre ejes de apoyo) y la flecha (distancia vertical entre ejes de apoyo y parte superior de la directriz).

Arranques.

Secciones extremas inferiores del arco donde se une a los apoyos.

Clave o corona.

Punto más alto de la directriz.

Intradós.

Superficie o cara inferior del arco (lado cóncavo).

Extradós.

Superficie o cara exterior del arco (lado convexo).

Diafragmas.

Elementos transversales sobre el extradós del arco en el que se apoya la superestructura o tablero.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Tímpanos.

Muros extremos laterales que cubren el espacio entre tablero y extradós y que corren en sentido longitudinal del camino.

Péndolas.

Elementos verticales que suspenden el tablero del arco en los puentes de paso inferior.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



2. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL TRAMO

El tramo carretero Guadalajara-Colima forma parte del corredor “Manzanillo-Tampico” que comunica al océano Pacífico con el Golfo de México, siendo el principal enlace del Puerto de Manzanillo. Tiene una longitud de 148 kilómetros, de los cuales, el último segmento, y restante por ampliar de 2 a 4 carriles, corresponde al denominado “Tramo de Montaña” (cadenamientos de construcción del km 103+510 al km 122+200) (Imagen 1).

El trazo de la ampliación cruza el relieve del “Eje Volcánico Transversal” dando cabida a las ramificaciones de la Sierra Volcánica y al Valle del Río de Tuxpan, sobresaliendo la parte noreste que coincide con la ramificación del volcán de Colima, encontrándose a una distancia de 14.5 km del cráter del volcán en su punto más cercano (volcán en fase de actividad permanente) con altitudes de 600 a 1,500 metros sobre el nivel del mar.

La hidrografía está compuesta por los ríos Tuxpan y el Tule; barrancas y arroyos los Otates, Atenquique, Agua Escondida, Mejía, Barranca Larga, Agua de Obispo, Mano Negra, Clavelina, Platanar, Limón y del Beltrán, por ello, la cantidad y dimensiones de las estructuras de este trazo, llegando éstas a representar el 25% de la longitud total del Tramo de montaña.



Imagen 1 Croquis de localización.

Este tramo carretero será una buena alternativa para agilizar el tránsito, actualmente sobre este, circulan vehículos de tipo foráneo y en menor cantidad de



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



tipo local, por lo cual se tiene la necesidad de modificar por medio de la construcción de un nuevo cuerpo y obtener así 4 carriles, ya que torna bastante incomodo e inoperante el tránsito por esta zona, planteando un nuevo eje, por tanto, es indispensable este proyecto.

El proyecto contempla el cuerpo derecho, de un camino nuevo tipo "A4S", velocidad de proyecto de 110 km/hr. Ancho de corona de 10.50 m y espesor de pavimento asfáltico de 0.43 m.

Para la ejecución de los trabajos de ampliación del Tramo de Montaña se ha dividido en dos frentes de construcción (Tabla 1):

Tabla 1.- Frentes de construcción.			
Tramo	Inicio	Termina	Total (km)
Frente 1	103+510.00	110+000.00	6.49
Frente 2	110+000.00	120+000.00	10.00
Longitud total del tramo	103+510.00	120+000.00	16.49

Fuente: Proyecto ampliación de 2 a 4 carriles del km
103+510-120+000 tramo carretero GDL COL.

El **Frente I**, tiene una longitud de 6.49 km de los cuales, 0.975 km pertenece a estructuras, es decir, un 15% de este frente. (Tabla 2)

Tabla 2.- Estructuras totales del Frente I					
N.º	Nombre	Ubicación	Tipo	Longitud (m)	Altura (m)
1	Puente “Los Otates”	104+800	Trabes AASTHO Tipo V (16 Pzas), (8 Pzas)	112.80	35.36



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



			Tipo VI		
2	Puente “Nuevo Atenquique”	107+070	Doble Volado	526.00	147.65
3	Puente “Agua Escondida”	108+905	Metálico en arco	157.00	27.42
4	Puente “Arroyo de Mejía”	109+250	Trabes AASTHO Tipo V (18 Pzas)	107.80	38.93
5	Puente “Barranca Larga”	109+700	Trabes AASTHO Tipo V (12 Pzas)	71.40	57.09
				975.00	

Fuente: Proyecto ampliación de 2 a 4 carriles del km 103+510-120+000 tramo carretero GDL COL.

El **Frente II** tiene una longitud de 10 km de los cuales, 2.2 km corresponde a puentes, es decir, un 22% de este tramo. De estos, 1.6 km pertenecen a 5 estructuras especiales, en comparación al Frente I, donde se cuenta con 2 de ellas. La longitud de estructuras queda integrada de la siguiente manera (Tabla 3):

Tabla 3.- Estructuras totales del Frente II					
N.º	Nombre	Ubicación	Tipo	Longitud(m)	Altura (m)
6	Puente “Agua de Obispo”	110+120	Trabes AASHTO Tipo VI (24 Pzas)	164.20	44.14
7	Puente “Mano	111+360	Trabes AASHTO Tipo VI (24 Pzas)	164.20	28.32



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



	Negra”				
8	Puente “La Clavelina”	111+620	Metálico empujado	167.00	76.81
9	P.S.V. S/N 112+390	112+390	Trabes AASHTO Tipo IV (6 Pzas)	12.60	19.30
10	Puente “Platanar I”	112+745	Doble Voladizo	305.25	144.28
11	Puente “Platanar II”	113+270	Metálico en Arco	157.00	88.41
12	P.S.V. S/N 113+744	113+744	Tabletas Presforzadas	16.68	8.24
13	P.S.V. S/N 114+178	114+178	Tabletas Presforzadas	18.61	11.71
14	Puente “El Limón”	116+025	Doble Voladizo	467.95	96.78
15	Puente “El Beltrán”	116+855	Doble Voladizo	531.45	138.54
16	P.S.V. “San Marcos”	118+483	Tabletas Presforzadas	14.00	8.29
17	Puente “Animas”	119+090	Trabes AASHTO Tipo V (18 Pzas)	90.01	38.93
18	Puente “Las Granjas”	119+514	Trabes AASHTO Tipo IV (14 Pzas) y Tipo VI (7 Pzas)	100.65	57.09
				2,209.69	

Fuente: Proyecto ampliación de 2 a 4 carriles del km 103+510-120+000 tramo carretero GDL COL.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Tabla 4.- Estructuras especiales del proyecto.				
No.	Nombre	Ubicación	Tipo	Longitud (m)
1	Puente Nuevo Atenquique	107+070	Doble volado *	526.00
2	Puente Escondida Agua	108+905	Metálico en arco	157.00
3	Puente La Clavelina	111+620	Metálico empujado	167.00
4	Puente Platanar I	112+745	Doble volado *	305.25
5	Puente Platanar II	113+270	Metálico en arco	157.00
6	Puente Limón	116+025	Doble volado *	467.95
7	Puente Beltrán	116+855	Doble volado *	531.45
TOTAL				2, 311.65

Fuente: Proyecto ampliación de 2 a 4 carriles del km 103+510-120+000 tramo carretero GDL COL

* Las 4 estructuras tipo doble volado tienen apoyos que se encuentran entre los 95 y 140 metros de altura.



3. TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS ESPECIALES

Las estructuras especiales en específico para la obra motivo de este trabajo, presentan tres tipologías descritas a continuación:

3.1 DOBLE VOLADIZO.

Esta tipología se denomina así por el proceso de construcción del tablero (**Superestructura**), el cual se ejecuta mediante segmentos de sección cajón de concreto reforzado llamados dovelas, que se construyen de manera simultánea y simétrica hasta el cierre de un claro entre apoyos (**Subestructura**).

Las dovelas son construidas en **voladizo** y adheridas con las dovelas precedentes mediante acero de refuerzo y cables de acero de presfuerzo (**post-tensado**).

-Superestructura: Parte del puente donde actúan las cargas vivas, también denominada ‘Tablero’.

-Subestructura: Son los apoyos del puente que transmiten las cargas actuantes a la cimentación, constituida por pilas intermedias y estribos en los extremos.

-Voladizo: Elemento estructural horizontal de un puente en forma de ménsula o cantiléver apoyadas solo de un extremo.

-Post-tensado: Aplicación permanente de fuerzas de compresión a través de la tensión de cables de acero de presfuerzo en un elemento concreto reforzado, con el propósito de otorgar capacidad de carga y resistencia bajo solicitaciones de construcción y de servicio.

Las dovelas según su ubicación se nombran de la siguiente manera como se muestra (Figura 1).

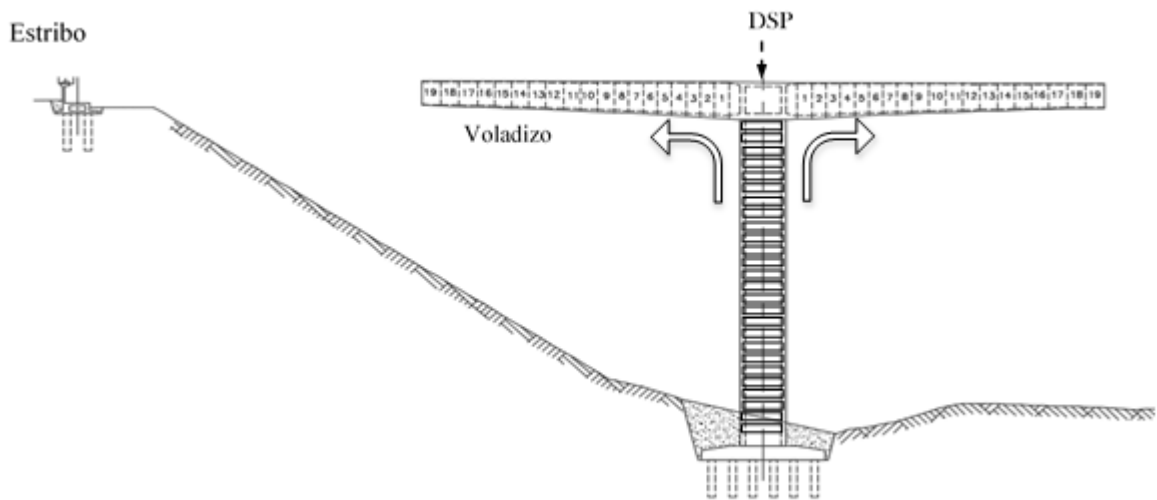


Figura 1 Estructura en doble voladizo.

1. **Dovela Sobre Pila (DSP):** Como su nombre lo indica, es la dovela que se construye coronando las pilas y de la cual parten las dovelas tipo de manera simultánea y simétrica a ambos lados del apoyo.
2. **Dovela de Orilla (DO):** Dovela construida en los claros laterales de la estructura en la unión del tablero con los estribos. En caso de que la dovela de orilla se construya en sitio, ésta se ejecuta mediante obra falsa que funciona como cimbra y soporte hasta el momento de la unión con la dovela de cierre de determinado claro.
3. **Dovelas de Cierre (DC):** Dovela final para la unión de dos voladizos entre los apoyos de un claro, la cual concluye la etapa en cantiléver.
4. **Dovelas Tipo (DT):** Dovelas que conforman la longitud del tablero desde la DSP hasta la DC. Éstas pueden ser de sección variable o constante. Cuando se ejecutan las DT en sitio se construyen mediante cimbras viajeras deslizantes sobre rieles metálicos llamados “Carros de Colado”



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



El ciclo de ejecución de una dovela incluye las fases de:

- a. Desplazamiento del carro de colado
- b. Ajuste de la cimbra
- c. Armado del acero de refuerzo y colocación de ductos para el acero de presfuerzo
- d. Vaciado del concreto y fraguado
- e. Colocación y post-tensado de los cables de presfuerzo
- f. Reiniciado el ciclo con el desplazamiento del carro de colado a la siguiente dovela.

Una vez concluido el tablero, se coloca el **presfuerzo de continuidad**, los cuales son cables de acero de presfuerzo que entretejen los claros y generalmente se ubican en la losa inferior o almas de las dovelas. Este tipo de presfuerzo se coloca para unir todas las secciones de la superestructura haciendo que trabaje de forma monolítica; lo cual le permite resistir las cargas muertas adicionales (carpeta asfáltica, banquetas, guarniciones, parapetos, etc.), cargas vivas, gradiente térmico.

3.2 METÁLICO EN ARCO DE PASO SUPERIOR.

Es una estructura de acero grado estructural, la cual el claro central tiene forma elíptica o en arco formado por secciones de acero huecas llamadas **dovelas de arco** y secciones horizontales llamadas **dovelas de tablero**, por donde se circula sobre de la losa de rodamiento. Ambos tipos de dovelas son fabricadas en taller con apoyo de una ingeniería básica, la cual indica la geometría requerida de cada elemento agilizando la construcción de la estructura y una vez concluida la subestructura (anclajes, cimentación y pilas) y los trabajos preliminares, iniciar el proceso de ensamblaje y montaje de las dovelas metálicas y puntales de apoyo. (Figura 2).

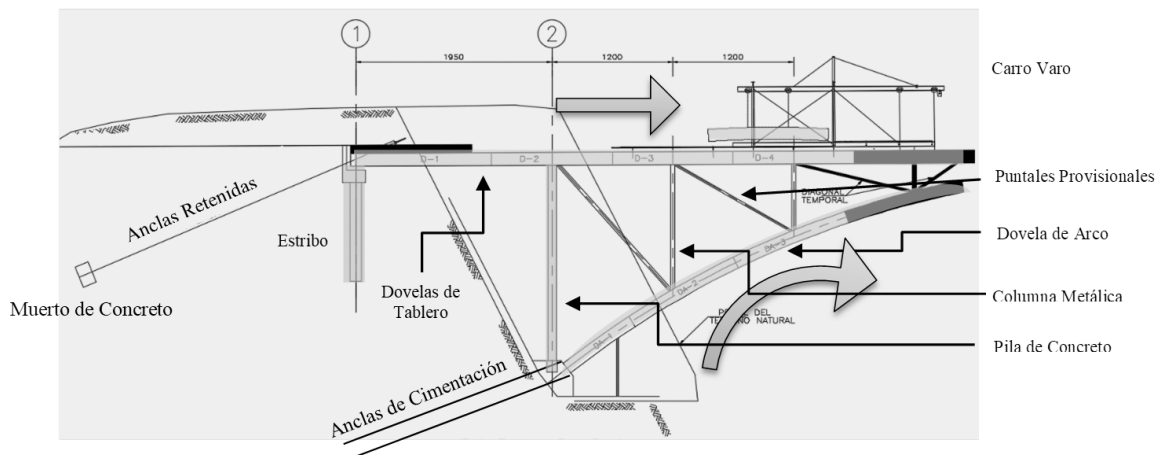


Figura 2 Estructura de arco metálico.

El proceso de montaje de la estructura metálica contempla vigas principales (superestructura y arco) requiere de elementos de apoyo fijos y temporales; los fijos se refieren a las **columnas metálicas** tubulares las cuales soportan las dovelas de superestructura y transfieren las cargas verticales a las dovelas de arco, y los temporales son aquellos como los **puntales provisionales** o las **anclas retenidas** que aportan la rigidez necesaria en cada una de las etapas de montaje mientras se logra el cierre del arco, ya que desde el proceso constructivo la estructura es sometida a cargas de viento. Una vez logrado el cierre, los puntales deben ser retirados para que la estructura opere de acuerdo a la esencia de su diseño.

El montaje antes mencionado es mediante **fases de montaje** utilizando el sistema de **carro varo**, el cual consiste en el desplazamiento longitudinal y transversal de un par de carros (uno en cada extremo del puente) de estructura metálica con balancines, los cuales toman directamente las vigas desde un vehículo de carga hasta colocarlas en su posición final.

Anclas retenidas: Cables de presfuerzo rigidizan un elemento metálico, durante el proceso de montaje de la estructura.

3.3 METÁLICO EMPUJADO.

Tipología que consiste en que la totalidad de la superestructura metálica, ya sean prefabricados o fabricados en sitio, se añaden secciones o **dovelas** uno detrás de otro a la vez que se empuja todo el conjunto sobre los soportes, por medio de **dispositivos hidráulicos** en etapas sucesivas en un área localizada antes del primer estribo, conocido como **patio de lanzado** donde durante el ensamblado de dovelas, se apoyan de manera provisional en **bancos de empuje** hacia su posición definitiva mediante una traslación longitudinal y utilizando una **nariz de lanzado**, elemento que permite contar con una longitud suficiente para alcanzar el siguiente apoyo evitando un mayor tiempo en cantiléver o ménsula de la superestructura.

En todos los apoyos, tanto estribos como pilas, se dispone de **apoyos deslizantes** o provisionales a base de placas curvas deslizantes y balancines de acero, que permiten el movimiento horizontal del tablero (Figura 3).

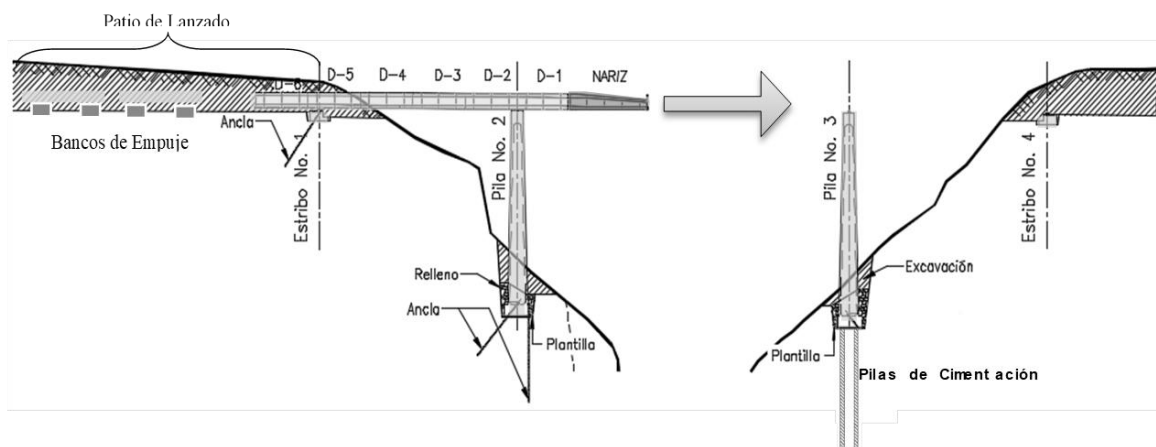


Figura 3 Puente metálico empujado.

En cualquier tipología de las 3 presentadas anteriormente, se trata de **procesos cíclicos y dependientes**.



4. PROYECTO.

Es el resultado de los diversos estudios y teniendo en cuenta los siguientes aspectos básicos para su elaboración:

- **Usuario**
- **Vehículo**
- **La velocidad de proyecto**
- **Distancia de visibilidad**

La etapa de proyecto se inicia una vez situada la línea, con estudios de una precisión tal, que permitan definir las características geométricas del camino, las propiedades de los materiales que lo formaran y las condiciones de las corrientes que cruza.

Con respecto a las **características geométricas**, los estudios permitirán definir la inclinación de los taludes de corte y terraplén y las elevaciones de **subrasante**.

Referente a las propiedades de los materiales que formaran las terracerías, se dictan normas para su detección, explotación, manejo, tratamiento y compactación.

Las obras de drenaje quedaran definidas principalmente por las condiciones hidráulicas de las corrientes que cruza el camino unidas a las características de los materiales en el cauce.

Buscando la mayor economía, factibilidad y funcionalidad posible en la construcción de la carretera, se procede al cálculo de los movimientos de terracerías por medio del diagrama denominado **curva masa**; así mismo se dan los procedimientos que deben seguirse durante la construcción.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Todos aquellos imprevistos que surjan durante la construcción de la obra, se resolverán con base en los estudios realizados en el proyecto de la misma, ampliándose estos para los casos que se crean necesarios.

4.1 PUENTES.

En el proyecto de construcción, se determina realizar un *punte* en carretera cuando se requiera librar grandes claros; así mismo cuando a su paso se encuentren ríos y barrancas o, bien, al cruce con alguna otra vía de comunicación, como otra carretera o una vía férrea.

Existe una gran variedad de *puentes*, su diseño generalmente depende del tipo de suelo, topografía de la zona, tamaño del claro, el régimen de corriente en el caso de los ríos, y de los factores económicos.

A pesar de la gran variedad de tipos de *puentes*, los más utilizados en carreteras son los *puentes* sobre vigas (Trabes), de aquí el desarrollo del presente trabajo.

El proyecto considera la ampliación de 2 a 4 carriles del Km. 103+510 al 120+000, mediante un camino nuevo tipo "A4S" (Figura 1) con una velocidad de proyecto de 110 km/hr., ancho de corona de 10.50 m para alojar 2 carriles de circulación de 3.50 m de ancho cada uno y acotamientos de 1.00 m interno y de 2.50 externo.

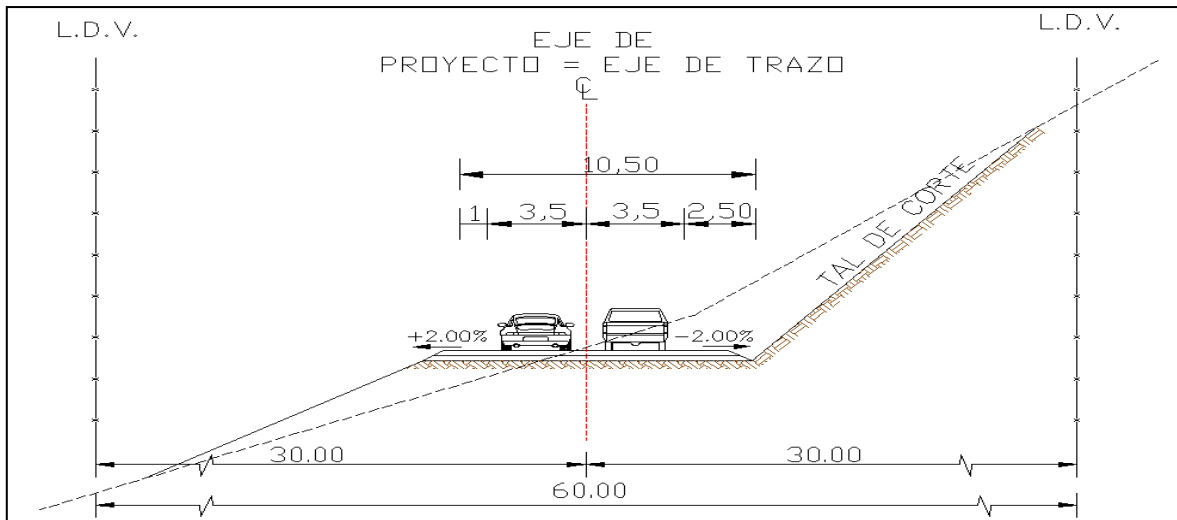


Figura 4 Sección Tipo del proyecto.

Por lo que el objetivo de este proyecto es: **Construcción de terracerías, obras de drenaje, estructuras mayores, pavimento, señalamiento y obras complementarias.**

Para la ampliación de un cuerpo nuevo (tipo A4S), Subtramo del km 103+510 al km 120+000 del tramo carretero Guadalajara-Colima, y se realicen conforme a proyecto, especificaciones particulares, programas de obra, términos de referencia, normatividad aplicable., Optimizando la calidad, costo, tiempo de ejecución y la seguridad de los usuarios de la autopista.

4.1.1 Puente Nuevo Atenquique km 107+070

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de la barranca y arroyo “Atenquique” cuya corriente nace en las laderas del volcán de Colima a 20.9 km del sitio de los trabajos, para desembocar en el río Tuxpan (Figura 5).

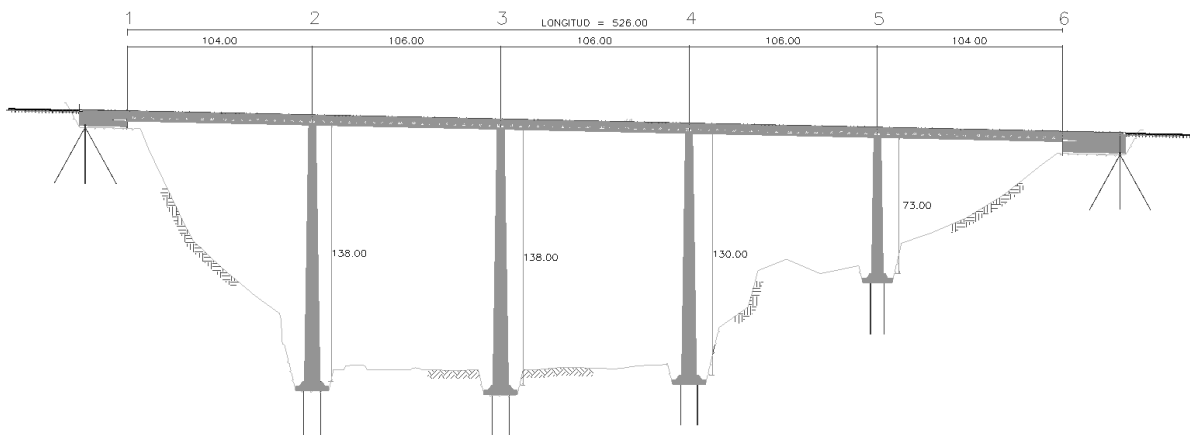


Figura 5 Puente Nuevo Atenquique.

Características generales del puente:

De tipología **doble voladizo**, con claros simétricos desde el centro de dovelas de concreto post-tensado fabricadas en sitio y cuenta con una longitud total de 526 m, una pendiente longitudinal de -1.40%, un ancho de corona de 10.50 m, una altura máxima de 148 m.

El tablero y la superestructura, se conforma a base de dovelas, segmentos 4.75 m de longitud de concreto presforzado, peralte constante de 4.60 m, con espesor de losa inferior variable; las cuales se construyen de forma simultánea y simétrica a ambos lados de un mismo apoyo, mediante cimbras viajeras deslizante sobre rieles metálicos, llamados “carros de colado”

La subestructura cuenta con 6 apoyos de concreto reforzado, 2 claros extremos y 3 claros intermedios, de 104 m y 106 m respectivamente; cuyas zapatas se encuentran fijadas al terreno con un total de 162 anclas a tensión.

4.1.2 Puente Agua Escondida km 108+905

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de la barranca y arroyo “Agua Escondida” de altura máxima 79 m. arroyo cuya corriente nace a 4.62 km, en el volcán de Colima y desemboca, al igual que el río Atenquique, en el río Tuxpan (Figura 6).

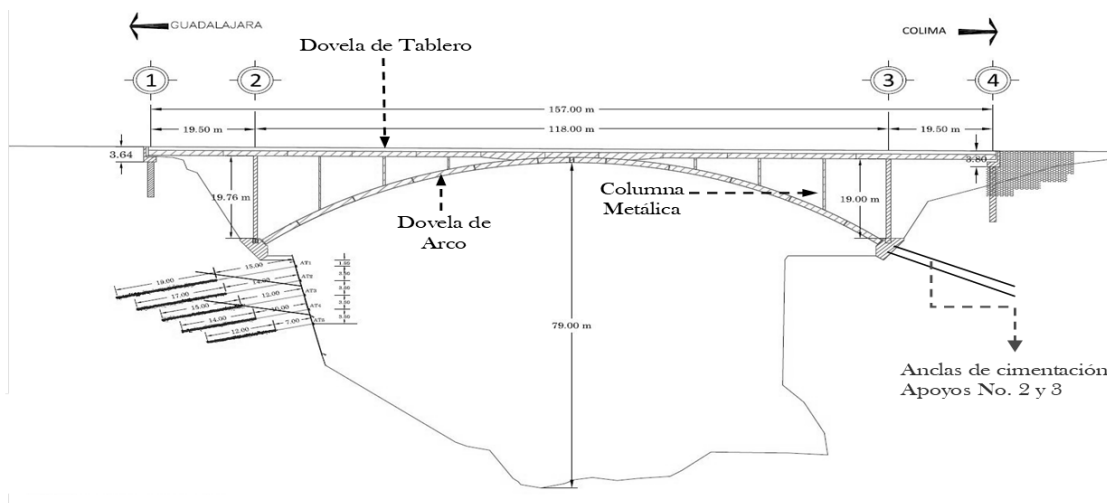


Figura 6 Puente Agua Escondida.

Características generales de la estructura:

De tipología **arco metálico de paso superior** con longitud total de 157 m con una pendiente longitudinal de -2.50%, un ancho de corona de 10.50 m.

La superestructura del puente está conformada por dos vigas de acero estructural a base de dovelas de 12 m, que se subdividen en:

Dovelas de Tablero: Conforman la parte horizontal del puente, soportan las cargas vivas y las transmiten a las columnas metálicas.

Columnas Metálicas: Su función es soportar las dovelas de tablero y transferir las cargas verticales a las dovelas de arco.

Dovelas de Arco: Segmentos de arco elíptico que reciben tanto las



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



cargas propias del peso del puente como las cargas de servicio y las transmite a los apoyos mediante la compresión del arco, descansando en zapatas de cimentación a cada lado de la barranca.

La subestructura consta de 2 apoyos de concreto reforzado, a cada lado del claro central, de 19.76 m (apoyo n.º 2) y 19.00 m de altura (apoyo n.º 3). La cimentación de estos dos apoyos se fija al suelo por medio de un total de 16 anclas de tensión de 30 m. de longitud que surgen de la base donde se asentarán las dovelas de arco.

En esta estructura, en el talud inferior adyacente al apoyo n.º 2, el estudio geotécnico encontró un suelo inestable; matriz de arena limosa con gravas y boleos empacados, denominada en el proyecto como la Unidad Geofísica 3A (UG3A).

Por lo que se requirió de una estabilización para brindar seguridad a la estructura, a base de 45 anclas de tensión con longitudes que van desde 20 hasta 34 m, con una inclinación de 15° contra la vertical del plano del talud, acompañada de 16 drenes de 20 m de longitud.

4.1.3 Puente La Clavelina km 111+620

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de la barranca y arroyo conocido como “Clavelina” cuya corriente comienza a 5.3 km del sitio de los trabajos, en las laderas del volcán de Colima, para desembocar en el río Tuxpan (Figura 7)

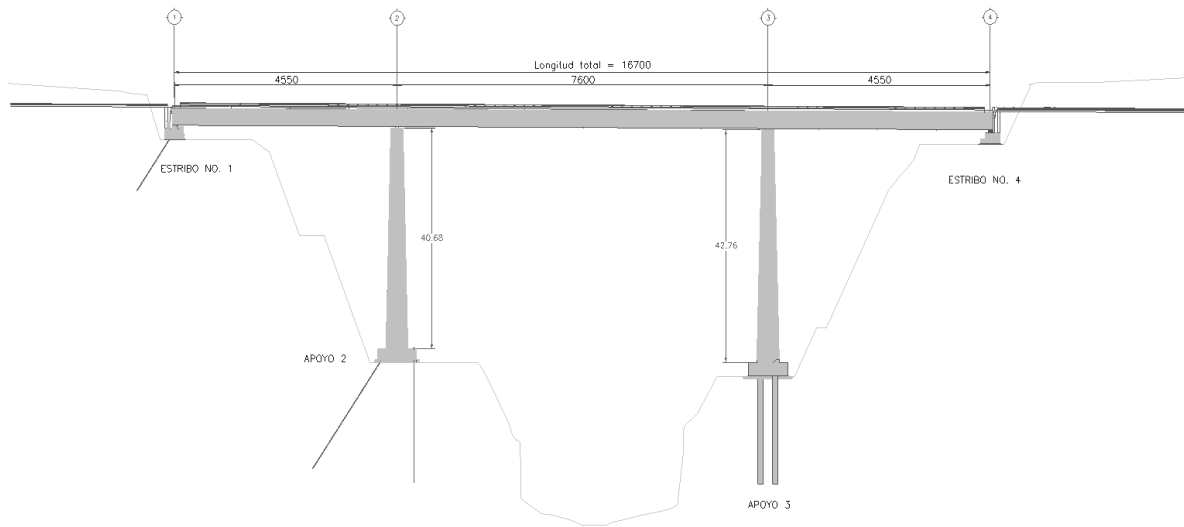


Figura 7 Puente La Clavelina.

Características generales de la estructura:

Tipología de puente **metálico empujado**, de longitud total de 167 m; formado por tres claros, uno central de 76 m y dos claros extremos de 45.50 m cada uno; apoyados sobre dos pilas huecas de sección variable y dos estribos. Además, cuenta con una pendiente longitudinal de -0.5% y un ancho de corona de 10.50 m.

La superestructura se conforma por 787 t de acero estructural A-50 divididos en 14 dovelas de 12 m formadas por dos vigas metálicas paralelas unidas mediante travesaños y contraventeos, quienes le otorgan mayor rigidez.

Las vigas cuentan con un peralte máximo de 3.25 m y mínimo de 3.15 m de 12 m de longitud, las cuales soportan las cargas vivas. A su vez, alojan la losa de concreto reforzado de 21 cm de espesor con un $f'c=300$ kg/cm², forman la parte superior horizontal.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



La **subestructura** consiste de cuatro apoyos de concreto reforzado. Los estribos n.º 1 y 4 son caballetes de 1 m de largo, 11.56 m de ancho y 4 m de profundidad, asentadas en zapatas. La pila n.º 2 cuenta con una zapata de cimentación fijada al terreno mediante 16 barras de presfuerzo de 5 cm de diámetro y una columna de 41.68 m. La pila n.º 3 cuenta con una zapata de cimentación desplantada sobre 6 pilotes de 1.50 m de diámetro y longitudes entre los 30 y los 38 m con una altura de 42.67 m.

4.1.4 Puente El Platanar I km 112+745

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de la barranca y manantial conocido como “Platanar” cuya corriente nace a 9.26 km del sitio de los trabajos, en las laderas del volcán de Colima, para desembocar en el río Tuxpan (figura 8).

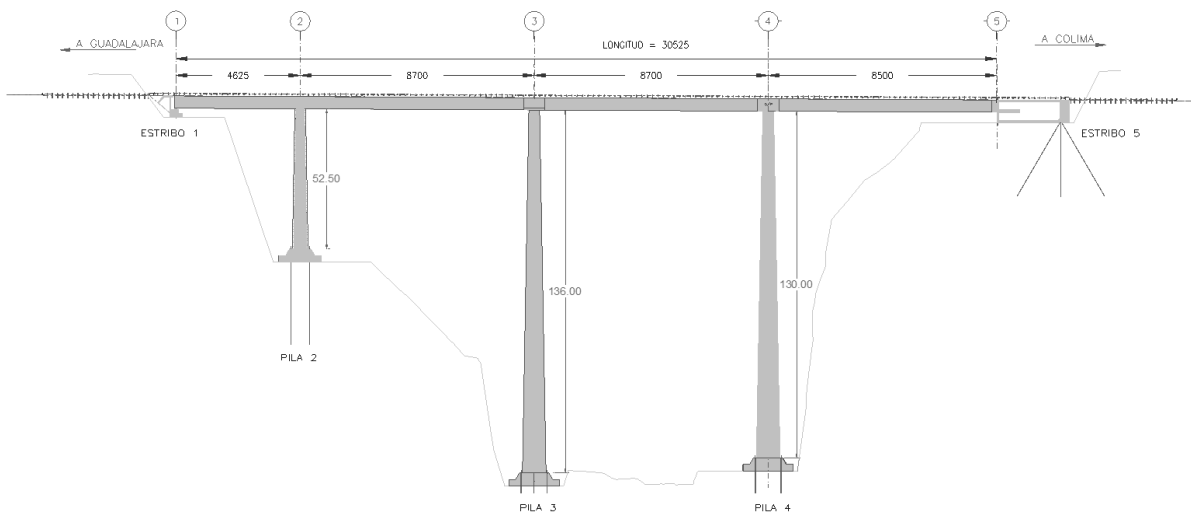


Figura 8 Puente Platanar I.

Características generales de la estructura:

De tipología **doble voladizo**, formado por cuatro claros apoyados sobre tres pilas y dos estribos extremos. Con longitud total del puente de 305.25 m; de



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



la cual, los dos claros centrales miden 87 m, y de los dos claros extremos, el izquierdo mide 46.25 m mientras que el derecho mide 85 m.

Cuenta con una pendiente longitudinal negativa de 0.50%, un ancho de corona de 10.50 m y una altura máxima de 146 m.

La superestructura se compone de dovelas, segmentos de concreto reforzado fabricadas en sitio, de 4.75 m de longitud. Con peralte constante de 4.60 m y espesor de losa inferior variable.

Esta estructura cuenta con cables de presfuerzo post-tensados longitudinales (positivos y negativos) y transversales. Los cables longitudinales negativos operan durante el proceso constructivo, mientras que los positivos trabajan una vez cerrados todos los claros del puente para proporcionar rigidez al mismo.

La subestructura cuenta con 5 apoyos de concreto reforzado cuyas zapatas de cimentación se encuentran fijadas al terreno mediante un total 99 anclas de tensión.

4.1.5 Puente El Platanar II km 113+270

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de un arroyo sin nombre y su barranca cuya corriente nace a 9.36 km del sitio de los trabajos, en las laderas del volcán de Colima, para desembocar en el río Tuxpan (Figura 9).

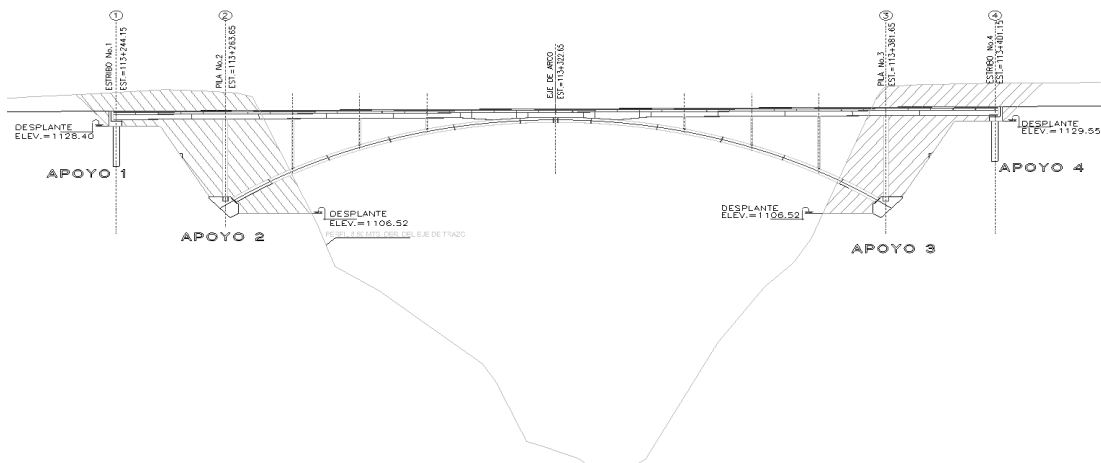


Figura 9 Puente Platanar II.

Características generales de la estructura:

De tipología en **arco metálico** de paso superior, formado por tres claros apoyados sobre dos pilas y dos estribos extremos. La estructura cuenta con longitud total del puente es de 157 m, de la cual, el claro central mide 118 m mientras que los dos claros extremos miden 19.50 m cada uno. Cuenta con una pendiente longitudinal de 0.715% y un ancho de corona de 10.50 m.

La superestructura está conformada por 544 toneladas de acero estructural A-50. Dovelas de tablero o rodamiento: Dos vigas metálicas de 1.25 m de peralte y 12 m de longitud, más una pareja de cierre. A su vez, se aloja la losa de concreto reforzado de 20 cm de espesor.

Columnas metálicas: Elementos tubulares cuya función es soportar las dovelas de tablero y transferir las cargas verticales a las dovelas de arco.

Dovelas de arco: 2 segmentos de arco elíptico de 1.25 m de peralte y 12 m de longitud, más una pareja de cierre, los cuales reciben tanto las cargas propias del peso del puente como las cargas de servicio y las transmite a los apoyos extremos mediante la compresión del arco, mismos que



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



descansan en zapatas de cimentación a cada lado de la barranca.

La **subestructura** consta de 2 apoyos de concreto reforzado, a cada lado del claro central, de 19.01m (apoyo n.º 2) y 19.86 m de altura (apoyo n.º 3). Las cimentaciones de estos dos apoyos, donde se descansa el arco, se fijan al suelo por medio de 8 anclas de tensión por cada apoyo, de 30 m de longitud, que sobresalen en la base donde se asentarán las dovelas de arco.

4.1.6 Puente El Limón km 116+025

Se propone esta estructura como solución para cruzar la barranca y arroyo “El Limón” cuya cuenca nace a 13.4 km del punto de cruce, en la Montaña Nevado de Colima, continua su recorrido hacia el oriente donde 500 m aguas abajo se une con el arroyo de Beltrán y 1,300 m después descarga sus caudales en el río Tuxpan (Figura 10).

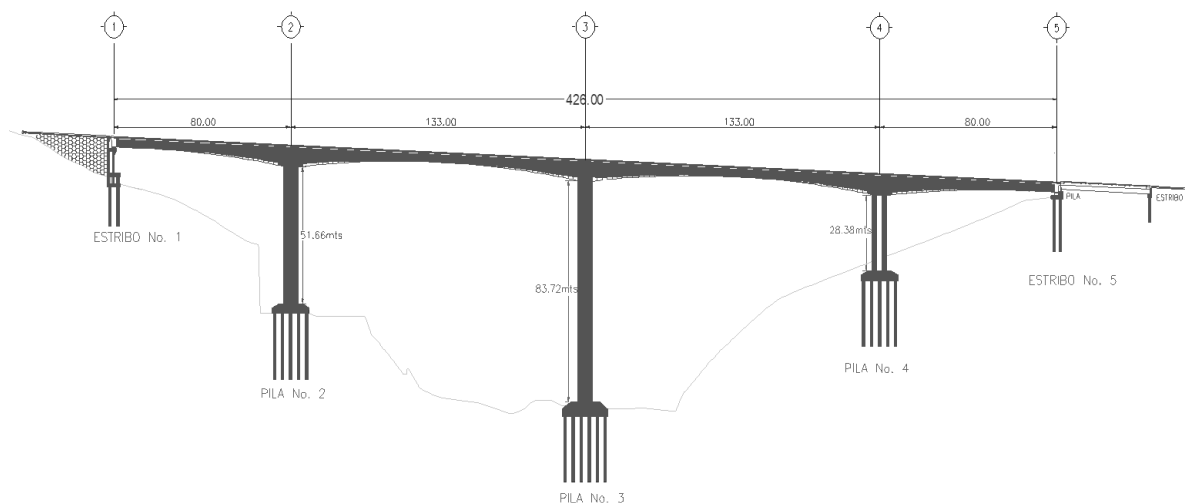


Figura 10 Puente El Limón.

Características generales de la estructura:

Tipología en **doble voladizo** con longitud total de 467.95 m y una pendiente longitudinal de -4.052%, un ancho de corona de 10.50 m llegando a tener



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



una altura máxima de 96.78 m.

La superestructura del puente está conformada por un tablero a base de dovelas de concreto post-tensado fabricadas en sitio, con dos claros centrales de 133 m de longitud, claros extremos con 80 m y un puente de acceso de 41.95 m. El tablero en voladizo tendrá 23 dovelas tipo numeradas de 1 a 23 de la pila hasta el cierre central de 2 m de longitud. Las longitudes de los segmentos de las dovelas son variables de 2.25 m, 2.5 m hasta 3 m de longitud. Cuenta con un peralte variable de 7.50 m a 3.50 m en las dovelas de cierre (DC) con almas de 45 cm y en losa inferior espesor variable; las cuales se construyen de forma simultánea y simétrica (Ambos lados) de un mismo apoyo, mediante cimbras viajeras deslizante sobre rieles metálicos, “carros de colado”. La dovela de pila tiene una longitud de 11 m.

La subestructura cuenta con 6 apoyos de concreto reforzado, consta de estribos de concreto reforzado y columnas rectangulares huecas de 60 cm de espesor y sección transversal variable. La cimentación está constituida por zapatas de concreto reforzado sobre pilas de cimentación de 1.20 m de diámetro con profundidades de 15 m y 25 m en estribos. En columnas las zapatas se encuentran fijadas al terreno por un total 99 anclas de tensión.

4.1.7 Puente El Beltrán km 116+855

Esta estructura tiene por objeto solucionar el cruce de una barranca y río conocido como Beltrán, cuya corriente nace a 20.5 km del sitio del cruce, uniéndose con el arroyo el Limón a 500 m aguas abajo para su posterior descarga en el río Tuxpan (Figura 11).

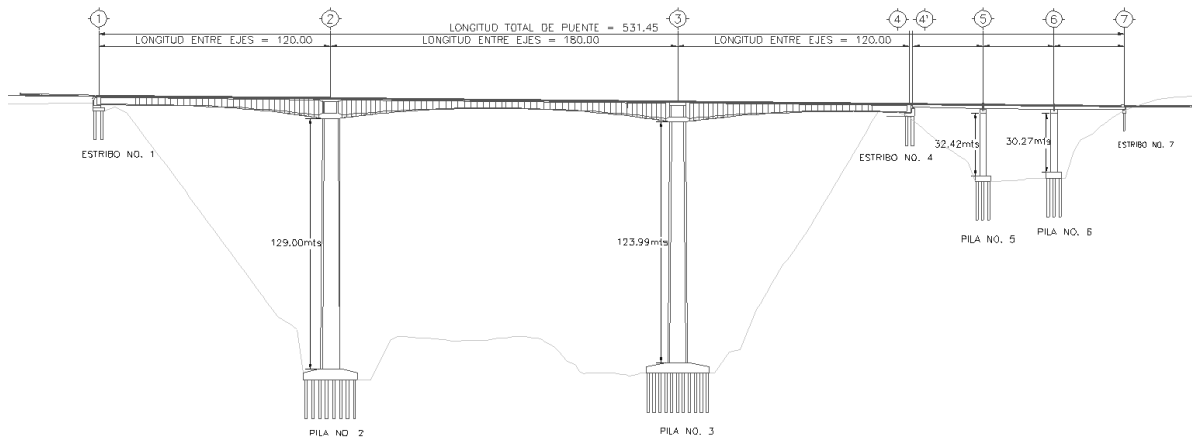


Figura 11 Puente El Beltrán.

Características generales de la estructura:

Estructura Especial tipo **doble voladizo**, cuenta con 3 claros de 120, 180 y 120 m respectivamente. Además, con un puente de acceso de 111.45 m de longitud, formada por 3 claros isostáticos de 36.37 m cada uno. La longitud total del puente es 531.45 m, ancho de corona de 10.50 m y pendiente longitudinal de -0.949%.

La superestructura es de sección cajón y espesor de losa variable. El tablero cuenta con diafragmas intermedios (desviadores) para realizar el desvío del presfuerzo de continuidad (Ver apartado 5.1 Tipología de estructuras). Algunas dovelas cuentan con dispositivos anti-vibratorios metálicos de apoyo a intervalos regulares evitando cualquier movimiento de los cables de presfuerzo. Las dovelas de orilla DO en ambos estribos son de 19.25 m de longitud proyectada su construcción sobre el talud del terreno natural. El puente de acceso está formado por 21 trabes AASHTO tipo V.

La subestructura del doble voladizo y puente de acceso, consta de estribos de concreto reforzado y columnas rectangulares huecas de 60 cm de espesor y sección transversal variable. La cimentación es a base de pilas



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



de cimentación de 1.20 m de diámetro distribuidas sobre zapatas de concreto reforzado.



5. PROCESO CONSTRUCTIVO.

5.1 DOBLE VOLADIZO.

Los puentes **“Nuevo Atenquique”**, **“El Platanar I”**, **“El Limón”** y **“El Beltrán”** forma parte de proyecto de ampliación de 2 a 4 carriles de la carretera Guadalajara - Colima del subtramo considerado entre los km 103+510 al 120+000, en el estado de Jalisco. Las estructuras tienen una longitud variable, que va de 300 m. hasta los 500 m. y una altura tomando en cuenta la pila más alta de cada puente, que va desde los 96 m. de altura, hasta 144 m., el tablero es de concreto presforzado, en el caso de los puentes **“Nuevo Atenquique”** y **“El Platanar I”** la sección en el exterior es cajón constante, sin embargo en el interior los espesores de muros y losa inferior son variables, en el caso de los puentes **“El Limón”** y **“El Beltrán”** la sección exterior es cajón variable al igual que en el interior varían los espesores de muros y losa inferior, ambos tipos son soportados por pilas de concreto reforzado, dicho tablero cuenta con pendiente longitudinal de -0.949% y transversal de -2.0%, ancho total de 11.56 m con un ancho de corona de 10.50 para dos carriles de circulación de 7.00 m, guarniciones de 0.53 m de ancho y acatamientos de 1.00 y 2.50 m.

Las condiciones topográficas han condicionado la selección tipológica de construcción de un puente por el método de doble volado, las ventajas en la utilización de este método parte de dos conceptos:

- La construcción de puentes por volados sucesivos de sección cajón han sido reconocidos como uno de los métodos más eficaces de construcción de puentes.
- Los puentes presforzados construidos por el método de volados sucesivos, para tráfico vehicular, son técnica y económicamente convenientes para claros comprendidos entre 80 y 220 m.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



El método consiste en la construcción del puente, simétricamente, en voladizos sucesivos (dovelas), a partir de un trecho inicial (dovela sobre pila).

Este trecho es construido sobre las columnas para facilitar la instalación de un carro de lanzamiento (carro de colado, cimbra deslizante). Puede ser empotrado en la pila o simplemente apoyado, caso en que es necesario el montaje de soportes temporales.

En seguida, son construidas las dovelas, simétricamente, a partir de la dovela sobre pila, cuyos encofrados son soportados por un carro de colado, las dovelas son de altura variable, coladas en sitio. Cada dovela se mantiene sujeta a la anterior, por medio de cables **post-tensados**.

A continuación, se describen, de manera breve, el proceso constructivo del ***puente en doble voladizo***.

Primeramente, se realizan los trabajos de topografía para la localización de los ejes de los apoyos (estribos y pilas), posteriormente se realiza el trazo de las zapatas de pilas y estribos, se da inicio a las excavaciones donde se alojarán las zapatas de los apoyos (Imagen 2) teniendo especial cuidado en almacenar el material producto de la excavación lo más cerca posible de la obra ya que posteriormente será utilizarlo en el relleno de protección de las zapatas.

Cabe mencionar que, para llegar al nivel de desplante de las pilas centrales en todos los casos de puentes en doble voladizo, fue necesario realizar excavaciones de 10.0 m a 15.0 m de profundidad.

Para realizar los trabajos de excavación, se utilizó maquinaria pesada: buldócer, excavadoras, motoconformadoras, vibrocompactadores y yucles para el acarreo de los materiales.

Debido a la profundidad de las excavaciones, y al nivel freático, sobre todo en las pilas centrales, fue necesario el achique de agua de forma continua, para estos trabajos se emplearon motobombas de 6” de diámetro, las cuales trabajaban las 24 horas del día.



Imagen 2 Excavación para desplante de cimentación.

Una vez concluida la excavación para el desplante de zapatas, se da inicio a la perforación de pilastrones o pilotes de 1.20 m de diámetro y profundidad de 20 m. (Imagen 3).



Imagen 3 Perforación para pilotes o pilastrones.

A la par se realiza el habilitado y armado del acero de refuerzo para los pilotes, así como la colocación de separadores, para posteriormente continuar con la introducción de los mismos en las perforaciones (Imagen 4), teniendo especial cuidado en no defórmalos y verificando que el acero de refuerzo no tenga contacto directo con las paredes de las perforaciones. Una vez introducido el acero de

refuerzo, se realiza la colocación de concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia, con la ayuda de una grúa telescópica de 45 ton de capacidad, tubería tremie, camión bomba y camiones revolvedora para realizar los trabajos de colado de pilotes o pilastrones.



Imagen 4 Acero para pilas de cimentación.

Una vez que el concreto empleado en el colado de pilotes alcanza la resistencia de proyecto, se realiza el descabece de los mismos, para retirar el concreto contaminado en la parte superior de los mismos. Terminados los trabajos de descabece, se procede a colocar el concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia en la plantilla, continuando con el armado y la colocación del acero de refuerzo en las zapatas de las pilas y estribos que previamente se habilita en el almacén (Imagen 5). En el armado de este elemento predomina la varilla corrugada de $1 \frac{1}{4}$ " de diámetro.

En el caso particular de este elemento y de acuerdo a lo estipulado en los proyectos ejecutivos, en algunos casos nos fue permitido realizar el 100 % de los traslapes de varilla corrugada en una misma sección.

Para sostener el acero de refuerzo del lecho superior de la zapata se emplearon siletas de varilla de $1 \frac{1}{4}$ " de diámetro, estaba previsto que durante el colado de la zapata quedaran embebidas las varillas de arranque del acero de refuerzo de las

columnas, el cual fue muy útil como soporte del armado del lecho superior de la zapata.



Imagen 5 Acero de refuerzo en zapata.

Como se mencionó con anterioridad el acero de arranque de la pila, fue colocado de forma vertical junto con el acero de la zapata, para que durante el colado de la zapata quedara debidamente anclado. Al terminar el armado del acero de refuerzo en zapatas y colocado el acero del arranque de las pilas, se procede con el habilitado y colocación de cimbra para las zapatas (Imagen 6)



Imagen 6 Cimbra en zapata.

Cuando el cimbrado del elemento está terminado, se realiza la verificación de niveles de colado, recubrimientos de acero de refuerzo, alineado de la misma y se evalúa si la cimbra está colocada de forma segura y que no sufrirá ningún desperfecto durante el vaciado de concreto.

Una vez revisados todos los puntos anteriores y estando de acuerdo la supervisión externa, se autoriza el colado del elemento y se procede con la programación del volumen de concreto premezclado.

Debido a que el volumen de concreto empleado en este elemento es muy grande ($1,600 \text{ m}^3$), la logística de colado planificaba con 15 días de anticipación, donde tomábamos en cuenta: caminos de acceso a la obra, espacio disponible para alojar las bombas y revolvedoras, número de bombas y revolvedoras por utilizar, tiempo de recorrido de las revolvedoras, suministros en planta de concreto, personal, iluminación, laboratorios de materiales, vibradores de concreto, etc. etc. y lo más importante el orden en que se colocaría el concreto dentro del elemento para no ocasionar juntas frías. Estando todas las partes de acuerdo, se procedía con el colado de las zapatas con concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ (Imagen 7), este proceso requería de aproximadamente 26 horas y la participación de más de 300 trabajadores.

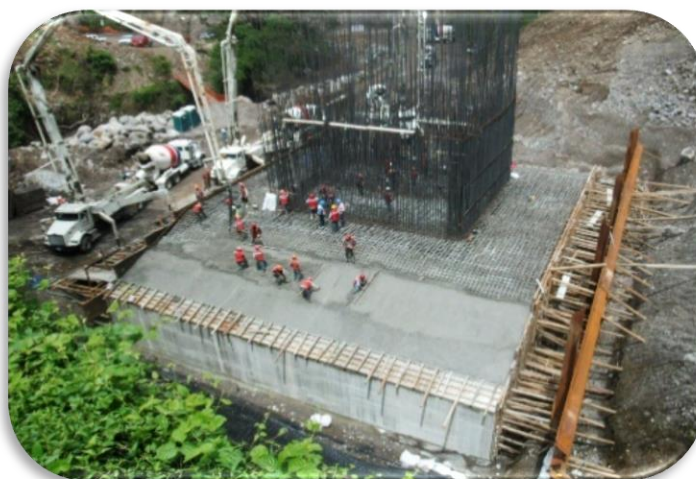


Imagen 7 Concreto en zapata.

Después de concluir el colado de las zapatas se coloca el acero de refuerzo de pila, en este caso no se realizaron traslapes de varilla, en su lugar fueron colocados conectores roscados en tramos máximos de 12 m de altura. Se habilitó y armó la cimbra deslizante (Imagen 8) en secciones de 3 m de alto para los colados de las pilas, sección a la que llamamos trepado. Para realizar el movimiento de la cimbra para el colado de los primeros 10 trepados (30 m de alto) se utilizó una grúa telescópica de 45 ton de capacidad. Durante este tiempo se instala una torre grúa de forma paralela a la pila, la cual continuara con los trabajos de movimiento de cimbra y materiales después de sobrepasar los 30 m de altura e incrementara su altura conforme al crecimiento de la pila.



Imagen 8 Cimbra deslizante en columna de pila.

Para la autorización de colado de cada uno de los trepados de pila, se lleva a cabo una metodología muy parecida a la expuesta en la logística empleada para el colado de la zapata. El colado de trepados de pilas se realiza con concreto $f'c=300$ kg/cm² de resistencia (Imagen 9). Para el bombeo del concreto colocado en los primeros 10 trepados, se utilizó una bomba pluma de 36 m de alcance. El volumen de concreto colocado en el primer trepado fue de 80 m³ aproximadamente.



Imagen 9 Colados de columnas de pilas.

Para continuar con los trepados del N° 11 al N° 49, (Imagen 10) se utilizó grúas torre, que tenían un alcance de al menos 60 metros y una capacidad de carga de 3 ton. en la zona más desfavorable, las cuales fueron armadas previamente. El bombeo del concreto empleado para el colado de estos trepados, se realizó con la misma bomba pluma que los primeros trepados, con la diferencia de que esta fue utilizada como bomba estacionaria, la cual se colocaba en la base de la pila y el concreto era bombeado por una tubería adosada con abrazaderas a una de las paredes de la pila. El volumen de concreto colocado en el último trepado fue de 40.0 m³ aproximadamente, el ciclo de colado de un trepado que incluye: armado de acero de refuerzo, elevación de cimbra, nivelación y alineamiento y colado del trepado requiere de 2 días naturales.

En el colado del ultimo trepado se colocan los dispositivos (ménsulas y perforaciones para alojar barras de presfuerzo) los cuales ayudaran a soportar y fijar la cimbra que se empleara en el colado de los diferentes elementos de la dovela sobre pila.

En el colado de este trepado también se dejan las reservaciones de acero de refuerzo que servirán para el armado de los muros y diafragmas de la dovela sobre pila.



Imagen 10 Evolución de colados en columnas.

Una vez colado el ultimo trepado de pila y alcanzada la altura máxima de esta, da inicio el colado de la dovela sobre pila (DSP), la cual cuenta con una sección en cajón, donde la parte inferior en el sentido transversal es del mismo ancho que la corona de la pila y en el sentido longitudinal los volados de la DSP sobresale 1.5 metros de cada lado de la pila, estos pequeños volados servirán para que posteriormente sean apoyados los carros de colado, la construcción de la DSP por su complejidad y al número de reservaciones para alojar el acero de presfuerzo, se realiza en tres etapas:

Etapa 1.- Se inicia con la colocación de la cimbra de la parte inferior o fondo de la dovela sobre pila, posteriormente se coloca el acero de refuerzo de la losa inferior y se completa el acero en muros y diafragmas, se coloca la cimbra de las fronteras de la losa inferior y se da inicio al colado del elemento con concreto de resistencia $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ RR 3 días. En esta etapa el acero de la losa sobresale en el sentido longitudinal, ya que se utilizará para traslapar con el acero de refuerzo de la dovela N° 1.

Etapa 2.- Se coloca la cimbra de los muros y diafragmas de la DSP, teniendo especial cuidado en alojar en la posición exacta dentro de los muros las

reservaciones (ductos vacíos), estos serán empleados para la colocación del acero de presfuerzo de construcción y de servicio. Al igual que en la losa inferior el acero de los muros sobresale en el sentido longitudinal, ya que se utilizará para traslapar con el acero de refuerzo de la dovela N° 1 y se da inicio al colado del elemento con concreto de resistencia $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ RR 3 días.

Etapa 3.- Se coloca la cimbra de la losa superior y el acero de refuerzo. Durante esta etapa se tiene especial cuidado en la colocación y nivelación de las placas que se emplearan para realizar el control geométrico durante la construcción de los volados, posteriormente se da inicio al colado del elemento con concreto de resistencia $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ RR 3 días (Imagen 11).



Imagen 11 Cimbra y colado de dovela sobre pila (DSP).

Toda vez que la resistencia del concreto empleado en el colado de los diferentes elementos de la DSP alcanza la resistencia de proyecto, se da inicio a los trabajos de armado de carros de colado, con la ayuda de la torre grúa y personal especialista, es necesario mencionar que estos carros de colado pesan 40 ton. cada uno (total 80 ton.), durante la etapa del armado de carros y colado de las dovelas N°1 se encuentran unidos entre sí, formando una sola estructura apoyada sobre la dovela sobre pila, el armado de carros de colado requiere de 20 días naturales aproximadamente (Imagen 12).



Imagen 12 Armado de carros de colados.

Concluido el armado de los carros de colados (Estructura metálica deslizante para colados de dovelas) se procede al armado y colado de las dovelas N° 1, el colado de estas se realiza con concreto de resistencia $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ RR 3 días, de forma simultánea y en doble voladizos sucesivos (Imagen 13). Alcanzado el 80% de la resistencia de proyecto y de acuerdo a los resultados del ensaye de las muestras de concreto, se procede a la colocación del acero de presfuerzo en los ductos indicados en proyecto para cada uno de los pares de dovelas y el tensado de este mediante gatos hidráulicos.



Imagen 13 Colado de dovelas D-1.

Teniendo el primer par de dovelas coladas y tensadas (Imagen 14) es necesario verificar con levantamientos topográficos las deformaciones de las secciones de tablero para llevar un control geométrico y de acuerdo al comportamiento del doble voladizo, realizar las correcciones necesarias en la dovela siguiente, este proceso se repite sucesivamente hasta alcanzar la longitud indicada en proyecto. El ciclo completo que incluye: levantamiento topográfico, movimiento de carros de colado, nivelación de carros de colado, armado de acero de refuerzo, cimbra interior de dovelas, colocación de ductos para acero de presfuerzo, nivelación de carros de colado, colocación de concreto y tensado de acero de presfuerzo requiere de 3.5 días naturales.



Imagen 14 Colado de dovelas en doble volado.

Es muy importante realizar un control geométrico para dar seguimiento a cada una de las etapas constructivas del tablero, que permita llevar una bitácora detallada de coordenadas en X, Y y Z, con estricta precisión y una tolerancia mínima durante la cual se hace un análisis en el modelo estructural, arrojando datos del comportamiento del elemento, con lo cual, se pueden realizar ajustes durante la construcción, que permitan corregir las cotas de manera que la estructura esté balanceada, en equilibrio y geométricamente correcta (Imagen 15).



Imagen 15 Evolución de colados en doble volado.

Realizando los ajustes y correcciones necesarios indicados por el control geométrico, los voladizos de dos apoyos distintos se alinean de forma correcta, dando paso al colado de la dovela de cierre que une dos voladizos y convierte la estructura en hiperestática. El procedimiento para la construcción de esta dovela es el mismo que las anteriores, solo que esta dovela no se tensa junto con la dovela del claro anterior. Para la integración de esta dovela al tablero, se introduce el acero de presfuerzo de servicio, el cual abarca todo lo largo del claro.



Imagen 16 Vista del doble volado terminado.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



Para concluir con los trabajos se procede con el colado de las guarniciones y colocación de los parapetos, así como los trabajos de terracerías, cortes, base y subbase en los accesos. Posteriormente se realiza el tendido de la carpeta asfáltica de 5 cm de espesor sobre la losa, en accesos y cuerpo carretero de 10 cm.

Finalizando con los trabajos con la colocación de señales verticales y horizontales.



Imagen 17 Panorámica “Puente El Beltrán”.



5.2 METÁLICO EN ARCO DE PASO SUPERIOR

Puentes “**Agua Escondida**” y “**Platanar II**”, estas estructuras tienen por objeto solucionar cruces de las barrancas con mismo nombre que los puentes.

Características generales de la estructura:

De tipología **arco metálico de paso superior**, con longitudes variables y con una pendiente longitudinal de -2.50%, un ancho de corona de 10.50 m.

La **superestructura** del puente está conformada por dos vigas de acero estructural a base de dovelas de 12m, que se subdividen en:

Dovelas de Tablero: Conforman la parte horizontal del puente, soportan las cargas vivas y las transmiten a las columnas metálicas.

Columnas Metálicas: Su función es soportar las dovelas de tablero y transferir las cargas verticales a las dovelas de arco.

Dovelas de Arco: Segmentos de arco elíptico que reciben tanto las cargas propias del peso del puente como las cargas de servicio y las transmite a los apoyos mediante la compresión del arco, descansando en zapatas de cimentación a cada lado de la barranca.

La **subestructura** consta de 2 apoyos de concreto reforzado, a cada lado del claro central. La cimentación de estos dos apoyos se fija al suelo por medio de un total de 16 anclas de tensión de 30 m de longitud que surgen de la base donde se asentarán las dovelas de arco.

A continuación, se describen, de manera breve, el proceso constructivo del **puente metálico en arco de paso superior**.

Primeramente, se realizan los trabajos de topografía para la localización de los ejes de los apoyos (estribos y pilas), posteriormente se realiza el trazo de las zapatas de pilas y estribos, se da inicio a las excavaciones donde se alojarán las

zapatas de los apoyos, teniendo especial cuidado en almacenar el material producto de la excavación lo más cerca posible de la obra ya que posteriormente será utilizarlo en el relleno de protección de las zapatas.

Para realizar los trabajos de excavación, se utilizó maquinaria pesada: buldócer, excavadoras y yucles para el acarreo de los materiales.



Imagen 18 Excavación para desplante de cimentación.

Una vez concluida la excavación para el desplante de zapatas, se marcan los ejes de pilotes de 1.20 m de diámetro y profundidad de (Imagen 19).



Imagen 19 Trazo para pilotes de cimentación.

A la par se realiza el habilitado y armado del acero de refuerzo para los pilotes, así como la colocación de separadores, para posteriormente continuar con la introducción de los mismos en las perforaciones (Imagen 20), teniendo especial cuidado en no defórmalos y verificando que el acero de refuerzo no tenga contacto directo con las paredes de las perforaciones. Una vez introducido el acero de refuerzo, se realiza la colocación de concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia, con la ayuda de una grúa telescópica de 45 ton de capacidad, tubería tremie, camión bomba y camiones revolvedora para realizar los trabajos de colado de pilotes o pilastrones.



Imagen 20 Colado de pilotes.

Una vez que el concreto empleado en el colado de pilotes alcanza la resistencia de proyecto, se realiza el descabece de los mismos, para retirar el concreto contaminado en la parte superior de los mismos. Terminados los trabajos de descabece, se procede a colocar el concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia en la plantilla, continuando con el armado y la colocación del acero de refuerzo en los estribos finalizando esta actividad con la cimbra y colados $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ (Imagen 21).



Imagen 21 Colado de estribos.

Una vez terminadas las excavaciones para alojar las zapatas de las pilas N.º 2 y N.º 3, se colocaron las plantillas de concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia. Continuando con el habilitado y armado del acero de refuerzo de las zapatas (Imagen 22), durante este paso se colocó el tubo de 6" de diámetro de PVC como reservación de las anclas de fricción al terreno y se colocaron las barras de presfuerzo que posteriormente sujetaran las placas base de los arcos metálicos. También se colocó el arranque del acero de refuerzo de las pilas



Imagen 22 Acero de refuerzo en zapata de pila.

Se continuó con el habilitado, armado y colocación de la cimbra en zapatas, con el procedimiento del puente doble voladizo. Una vez concluido, se realiza el colado de las zapatas con concreto de resistencia $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$, durante el colado se tiene especial cuidado en mantener en el lugar exacto las barras de presfuerzo y los tubos que sirven como reservaciones para las anclas al terreno (Imagen 23).



Imagen 23 Zapatas de pilas con anclas tensadas.

Concluyendo el colado de las zapatas se coloca el acero de refuerzo en las pilas, continuando con la colocación de la cimbra de madera en alzados de 4.40 m, posteriormente se coloca el concreto de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ en columnas (Imagen 24).



Imagen 24 Colado de columnas.

Cuando las columnas se alcanzan la altura de indicada en proyecto, se coloca la cimbra para el colado de los bancos de apoyo de la superestructura (Imagen 25).



Imagen 25 Bancos en pilas.

A la par de la construcción de la subestructura, se inicia en un taller especializado en la ciudad de Irapuato, la fabricación de los elementos de la estructura metálica: dovelas de arco, columnas, contravientos, dovelas de rodamiento y marcos, durante la fabricación y previo a la aplicación de la pintura, se realizan pruebas de calidad en soldadura de acuerdo a su jerarquización. No habiendo problemas con las pruebas de calidad se aplica la pintura (Imagen 26).



Imagen 26 Fabricación estructura metálica.

Terminados los trabajos en el taller las piezas se transportan a la obra donde se estivan en orden de montaje para facilitar las maniobras de las grúas durante el montaje de la estructura en el puente (Imagen 27).



Imagen 27 Estructura en sitio.

El proceso de montaje de la estructura metálica se realiza de forma simétrica, iniciando de los estribos hacia el centro del puente.

La primera etapa es el montaje de las dovelas D-1 y D-2 de rodamiento, colocación de marcos correspondientes, colocación de contravientos, colado de losa de rodamiento en los claros 1-2 y 3-4, colocación de retenidas provisionales. Previamente las dovelas D-1 y D-2 se soldan entre sí y se montan apoyándose en los bancos de los estribos y pilas fijándose a estos con los apoyos Tetron, en esta etapa son colocadas las placas de conexión y contravientos con la finalidad de rigidizar la estructura recién montada (Figura 12). El control de calidad de soldadura, así como el control geométrico se realizan en los elementos recién montados y se corrige cualquier observación con la finalidad de evitar cualquier eventualidad en las etapas siguientes.

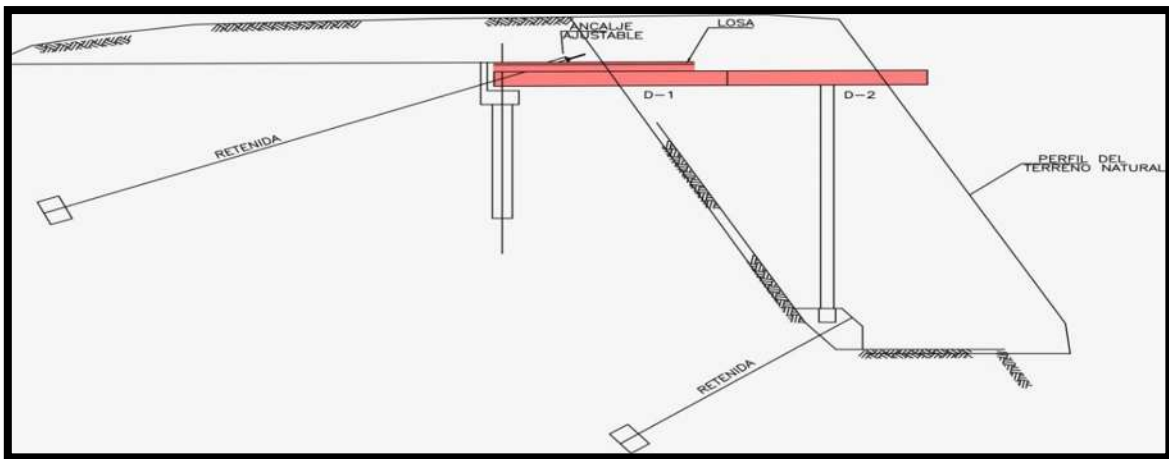


Figura 12 Secuencia de montaje de estructura.

Posteriormente se colocan los marcos correspondientes sobre las dovelas D-1 y D-2, (Imagen 28).



Imagen 28 Montaje de traveses dovelas D-1 y D-2

Teniendo las dovelas D-1 y D-2 fijas y colocados en sus respectivos lugares los marcos que soportarán el primer tramo de losa de rodadura, se coloca el montón que servirá como cimbra, posteriormente se coloca el acero de refuerzo y se procede con los primeros colados en los claros 1-2 y 3-4, alcanzada la resistencia del concreto indicada en proyecto, se colocan las retenciones provisionales que permiten neutralizar los momentos provocados durante las

siguientes etapas de montaje ya que la estructura estará en cantiléver hasta el momento del cierre del arco (Figura 13)

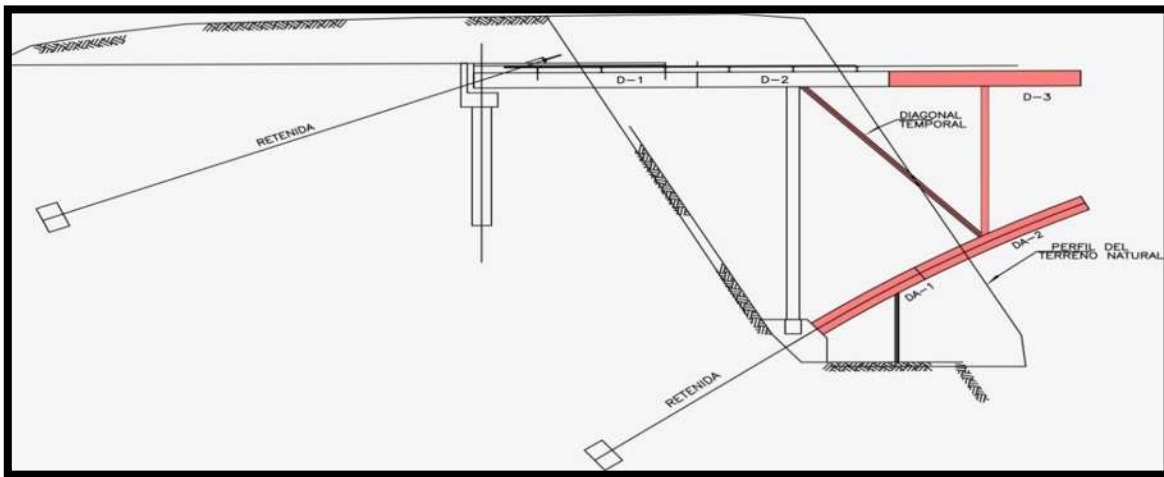


Figura 13 Colocación de retenidas.

La segunda etapa es el montaje de las dovelas de arco DA-1 y DA-2, placas de conexión, contravientos, columnas C-1, diagonales temporales, dovelas de rodamiento D-3 y marcos correspondientes. Donde las dovelas DA-1 son soldadas a las placas base que previamente se fijaron a las zapatas mediante el tensado de las barras de presfuerzo ancladas a la zapata, posteriormente se monta la dovela DA-2, la cual es soldada a la dovela DA-1 y se coloca el diagonal temporal para sostener las dovelas DA-1 y DA-2, se realiza el montaje de las columnas C1 sobre las dovelas DA-2 para que de esta forma las dovelas de rodamiento D-3 se apoyen en las columnas y puedan ser soldadas a las dovelas D-2, por último se colocan los marcos correspondientes y el montén que facilitara el movimiento de los trabajadores y el traslado de materiales, además se utilizara como cimbra durante los posteriores colados de losa de rodamiento (Imagen 29).



Imagen 29 Montaje de columna en dovela DA-2.

La tercera etapa contempla el montaje de las dovelas de arco DA-3, diagonales temporales, columnas C-2, dovela de rodamiento D-4, marcos correspondientes, contravientos y colocación de montén. Las dovelas DA-3 son colocadas y sostenidas por la grúa mientras son soldadas a las dovelas DA-2, una vez terminados estos trabajos se coloca el diagonal provisional que sostendrá la dovela DA-3 y se colocara la columna C-2 (Figura 14).

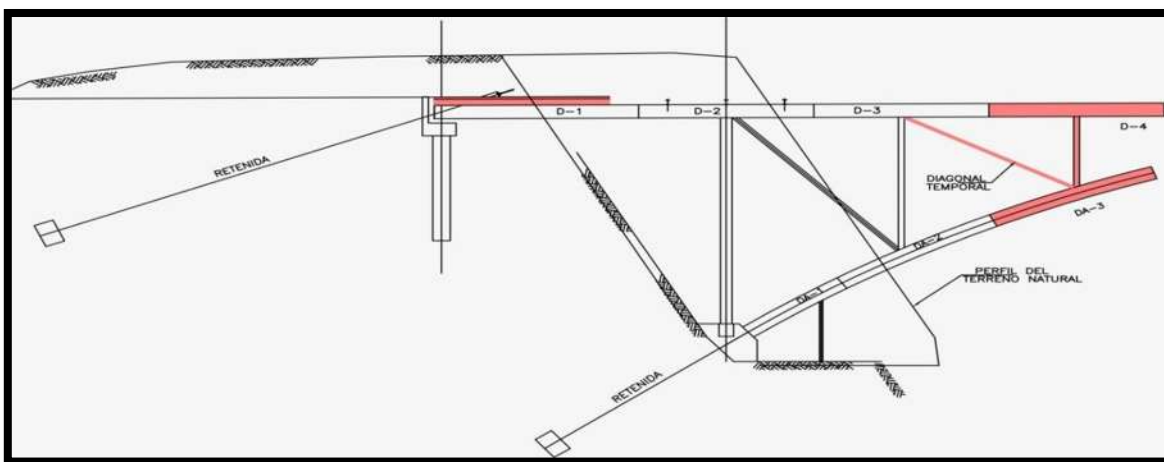


Figura 14 Montaje dovela de arco DA-3.

De esta forma puede montarse la dovela D-4 que se apoya en la columna C-2 y se suelda a la dovela D-3, posteriormente se colocan los marcos correspondientes y se coloca el montén que facilitara el movimiento de los trabajadores y el traslado de materiales, además se utilizara como cimbra durante los posteriores colados de losa de rodamiento (Imagen 30) Este proceso se continuó de forma simétrica y haciendo las respectivas pruebas a la soldadura y llevando el control geométrico.



Imagen 30 Montaje de traves dovela D-4.

La cuarta etapa contempla el montaje de las dovelas de arco DA-4, diagonales temporales, columnas C-3, dovela de rodamiento D-5, marcos correspondientes, contravientos y colocación de montén. Las dovelas DA-4 son colocadas y sostenidas por la grúa mientras son soldadas a las dovelas DA-3, una vez terminados estos trabajos se coloca el diagonal provisional que sostendrá la dovela DA-4 y se colocara la columna C-3 arco (Figura 15).

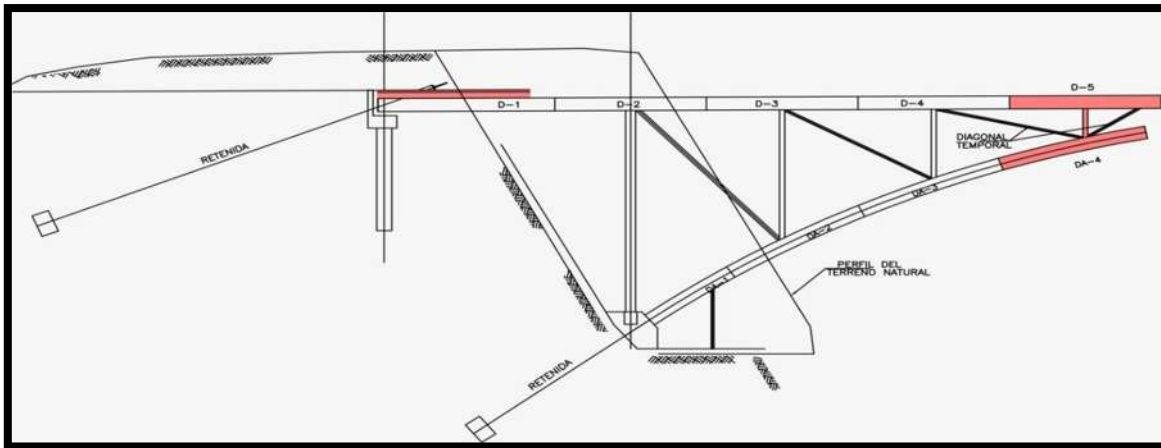


Figura 15 Montaje dovela de arco DA-4.

De esta forma puede montarse la dovela D-5 que se apoya en la columna C-3 y se suelda a la dovela D-4, posteriormente se colocan los marcos correspondientes y se coloca el montén que facilitara el movimiento de los trabajadores y el traslado de materiales, además se utilizara como cimbra durante los posteriores colados de losa de rodamiento (Imagen 31)



Imagen 31 Montaje de traveses dovela D-5 y montes.

La quinta etapa contempla el montaje de las dovelas de arco DA-5, dovelas de rodamiento D-6, marcos correspondientes, contravientos, colocación de montén y montaje de las dovelas DA-6. Las dovelas DA-5 son colocadas y sostenidas por la

grúa mientras son soldadas a las dovelas DA-4, una vez que las dovela DA-5 son montada, se colocan las dovelas de rodamiento D-6 las cuales son soldadas a las dovelas D-5 y el patín inferior se suelda al patín superior de la dovela DA-5, posteriormente se colocan las dovelas DA-6 mediante la aplicación de soldadura entre el patín superior de esta y el patín inferior de la dovela de rodamiento D-6, posteriormente se colocan los marcos correspondientes y se coloca el montén que facilitara el movimiento de los trabajadores y el traslado de materiales, además se utilizara como cimbra durante los posteriores colados de losa de rodamiento (Figura 16).

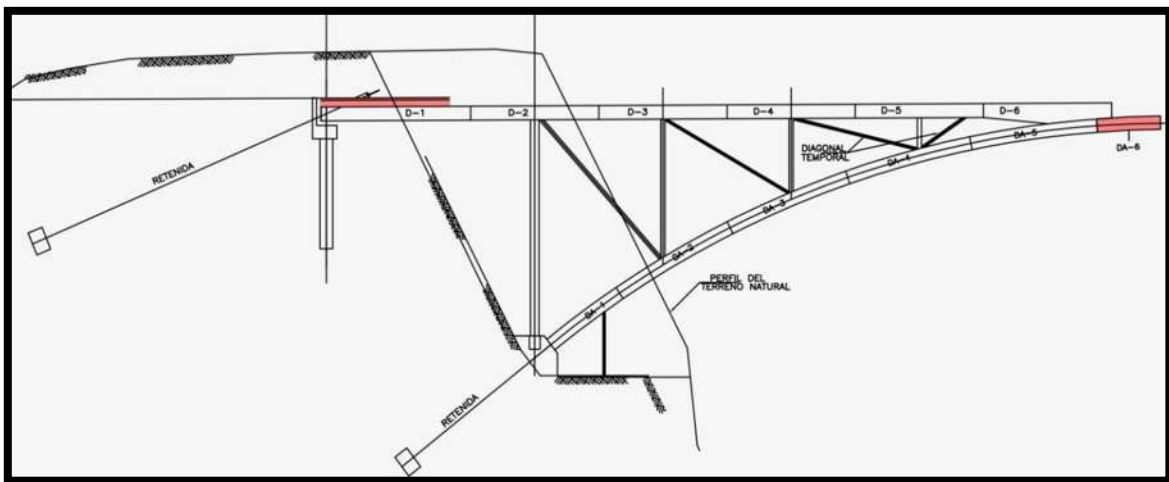


Figura 16 Montaje dovela de arco DA-6

La etapa seis contempla el montaje de las dovelas de cierre del arco DA-C, dovelas de rodamiento de cierre D-C, marcos correspondientes, contravientos y colocación de montén. Las dovelas de cierre se tienen que ajustar en campo para que de esta forma ensamble de forma justa en el espacio entre las dovelas DA-6-I y DA-6-D, posteriormente se coloca en su lugar y es soldada a las dovelas DA-6-I y DA-6-D, de esta se realiza el cierre del arco metálico (Imagen 32).

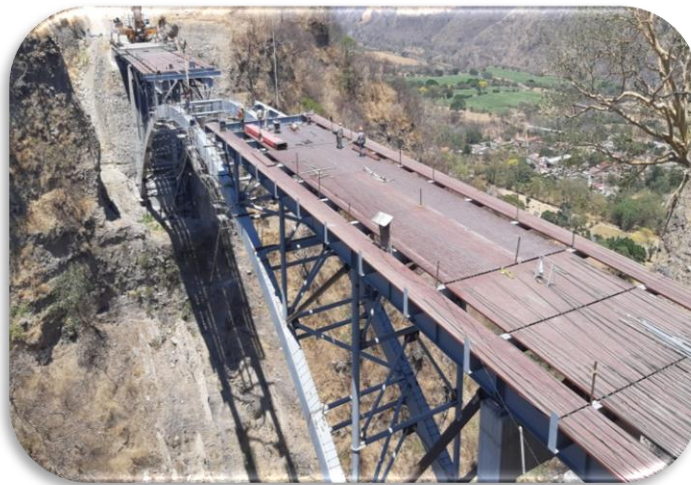


Imagen 32 Cierre de arco.

Posteriormente se realiza el montaje de las dovelas de rodamiento de cierre D-C, las cuales tienen que ser ajustadas en campo, para que de esta forma ensamble de forma justa en el espacio entre las dovelas D-6-I y D-6-D, y el patín superior de las dovelas de arco DA-6-I, DA-6-D, se colocan los marcos correspondientes y se coloca el montén que facilitara el movimiento de los trabajadores y el traslado de materiales, además se utilizara como cimbra durante los posteriores colados de losa de rodamiento (Imagen 33).



Imagen 33 Cierre de estructura y colocación de montén.

En la etapa siete se lleva a cabo el colado del tramo de losa de rodamiento faltante, además de construir las guarniciones con concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, posteriormente se colocarán los parapetos, terracerías, tendido de base, subbase en los accesos y la colocación de la carpeta asfáltica de 5 cm de espesor sobre el puente y en los accesos de 10 cm, continuando con la colocación de las juntas de dilatación.

Finalmente se realizará una limpieza de la estructura y de todas las áreas ocupadas durante la construcción del puente (Imagen 34).



Imagen 34 Panorámica “Puente Platanar II”.



5.3 PUENTE EMPUJADO.

La estructura “**La Clavelina**” tiene por objeto solucionar el cruce de la barranca y arroyo conocido con el mismo nombre cuya corriente inicia a 5.3 km del sitio de los trabajos, en las laderas del volcán de Colima, para desembocar en el río Tuxpan.

Características generales de la estructura:

Tipología de puente **metálico empujado**, de longitud total de 167 m; formado por tres claros, uno central de 76 m y dos claros extremos de 45.50 m cada uno; apoyados sobre dos pilas huecas de sección variable y dos estribos. Además, cuenta con una pendiente longitudinal de -0.5% y un ancho de corona de 10.50 m.

La **Superestructura** se conforma por 787 toneladas de acero estructural A-50 divididos en 14 dovelas de 12 m formadas por 2 vigas metálicas paralelas unidas mediante travesaños y contraventeos, quienes le otorgan mayor rigidez. Las vigas cuentan con un peralte máximo de 3.25 m y mínimo de 3.15 m de 12 m de longitud, las cuales soportan las cargas vivas. A su vez, alojan la losa de concreto reforzado con un $f'c=300$ kg/cm² y un espesor de 21 cm, que forman la parte superior horizontal.

La **Subestructura** consiste de cuatro apoyos de concreto reforzado. Los estribos n.º 1 y n.º 4 son caballetes de 1 m de largo, 11.56 m de ancho y 4 m de profundidad; asentados en zapatas. La pila n.º 2 cuenta con una zapata de cimentación fijada al terreno mediante 16 barras de presfuerzo de 5 cm de diámetro y una columna de 41.68 m. La pila n.º 3 cuenta con una zapata de cimentación desplantada sobre 6 pilotes de 1.50 m de diámetro y longitudes entre los 30 y los 38 m con una columna de 42.67 m

A continuación, se describen, de manera breve, el proceso constructivo del **puente metálico empujado**.

Se inicia con la localización de los ejes de los apoyos de la subestructura (cimentación) según proyecto.

Continuando con la excavación para alojar las zapatas de los estribos y de pilas (Imagen 35). Una vez que la excavación llega al nivel de desplante indicado en proyecto, se colocó las plantillas de 10 cm de espesor de concreto simple de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.



Imagen 35 Excavación para desplante de cimentación.

Posteriormente se realiza el habilitado y armado de acero de refuerzo en estribos y zapatas de pilas, ya que se encuentra armado el acero de refuerzo se coloca la cimbra y los tubos de PVC que servirán para reservar el espacio donde posteriormente se colocarán las anclas en el estribo N°1, pila N°2 y pila N°3, ya que todos los elementos fueron revisados por topografía se lleva a cabo el colado de los mismos (Imagen 36).

El siguiente paso construir las anclas de tensión en el estribo N°1, pila N°2 y pila N°3, para lo cual se siguieron los pasos que a continuación se mencionan:

- a.** Perforación de barreno de 5" de $\varnothing$ con una longitud de 36m de acuerdo proyecto.
- b.** Introducción de barra con protección de tubo liso de 3" de $\varnothing$ de polietileno en los 10 m de tirante libre.

- c. Inyección de mortero de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ con acelerante de fraguado y aditivo expansor utilizando un tubo de plástico de $3/4"$ de $\varnothing$ que se fije en la barra.
- d. Una vez alcanzada la resistencia del mortero se aplicó una carga de 297 toneladas de tensión en cada barra.
- e. Al término del tensado se apretó la tuerca de reacción hasta el contacto con la placa de acero estructural del cabezal del ancla.



Imagen 36 Acero de refuerzo en zapata.

Cuando el concreto de las zapatas de pilas, alcanzo una resistencia del 80%, se continuo con el armado del acero de refuerzo de las columnas, para lo cual se utilizaron conectores roscados y posteriormente se colocó la cimbra deslizante (Imagen 37).

Los colados de trepados de las columnas se realizaron con cimbras deslizantes en tramos de 3 m de altura y el acero de refuerzo vertical de las pilas en tramos de 12m unidos con conectores roscados.



Imagen 37 Cimbra deslizante en columna de pila.

Se continuó de forma simultánea la construcción de las columnas de ambas pilas hasta llegar a la elevación indicada en proyecto (Imagen 38). para el bombeo de concreto se utilizó una bomba pluma de 36m de longitud ya que en este caso la bomba se colocaba en los caminos de acceso, lo cual nos permitía realizar los colados sin la necesidad de colocar tubería adicional.



Imagen 38 Colado de columna de pila.

Terminando la construcción de las pilas se colaron los cabezales de acuerdo a proyecto junto con los bancos provisionales que posteriormente se utilizaran durante el lanzamiento de la estructura. (Imagen 39).



Imagen 39 Cabezales de pilas.

En el acceso del estribo N° 1, se realizó una excavación (fosa de lanzado) con una longitud de 70 m y 20 m de ancho, la cual se emplea como patio de ensamblado previo al lanzamiento de la superestructura, también se construyeron bancos provisionales (Imagen 40) sobre los cuales se apoya la estructura metálica durante las diferentes etapas.



Imagen 40 Fosa de lanzado.

A la par de la construcción de la subestructura, se realizó en un taller en la ciudad de Irapuato – Guanajuato, la fabricación de los diferentes elementos de la estructura metálica (14 dovelas de 12m de longitud, contravientos y marcos), durante toda la fabricación se llevó a cabo un minucioso control de calidad apegado al proyecto y a la normativa vigente de la S.C.T. (Imagen 41) finalizando con la aplicación de la pintura. Posteriormente todas las piezas se embarcaron y transportaron a la plataforma de lanzado del puente.



Imagen 41 Fabricación de la estructura metálica.

Para realizar el empujado de la estructura, se colocan dos gatos hidráulicos en el estribo N°1 de forma horizontal, con una capacidad de 700 toneladas cada uno, en la punta del embolo o pistón de cada gato se cuenta con un dispositivo que sujeta dos barras de presfuerzo de 6 metros de longitud, las barras a su vez cuentan con mordazas en el extremo contrario al gato, que sujetan los patines inferiores de las dovelas.

En los apoyos provisionales ubicados en los en la fosa de lanzado, estribos y pilas se colocan balancines que absorberán las deformaciones de la estructura durante el empujado.

En los patines inferiores de las dovelas y en los balancines, se colocan placas de neopreno con teflón para facilitar el deslizamiento de la estructura (Figura 17).

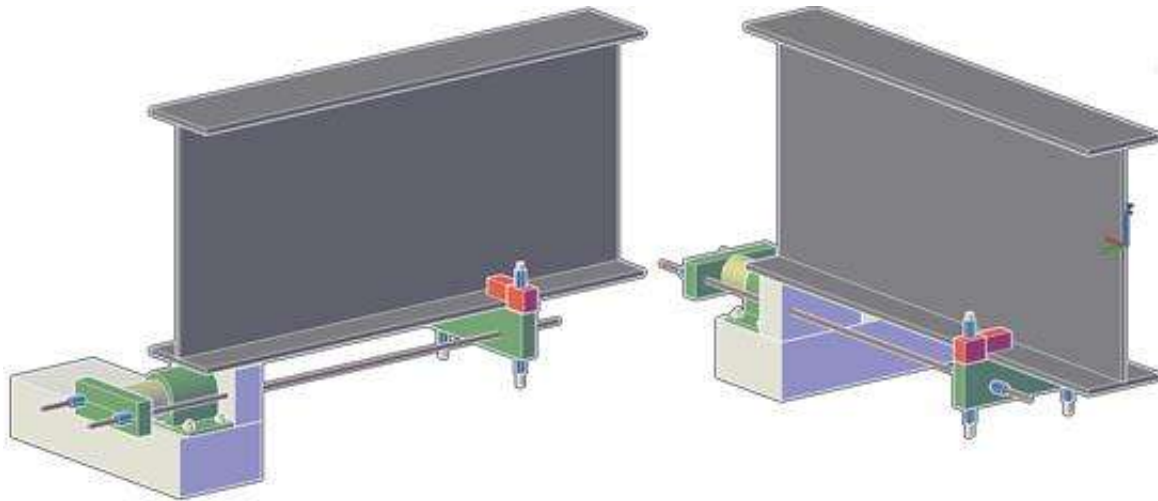


Figura 17 Dispositivo para empujado de estructura.

La primera etapa para el lanzamiento de la estructura metálica, corresponde al ensamblado de la nariz de lanzado junto con las dovelas D-1, D-2 y D-3, contravientos y marcos (Figura 18). Una vez que todo está ensamblado y previo al primer empujado de la estructura correspondiente a 18 m, se coloca un contrapeso de 20 toneladas sobre las dovelas D-3, el cual mantendrá en cantiliver 18 m de estructura correspondientes a la longitud de la nariz de lanzado.

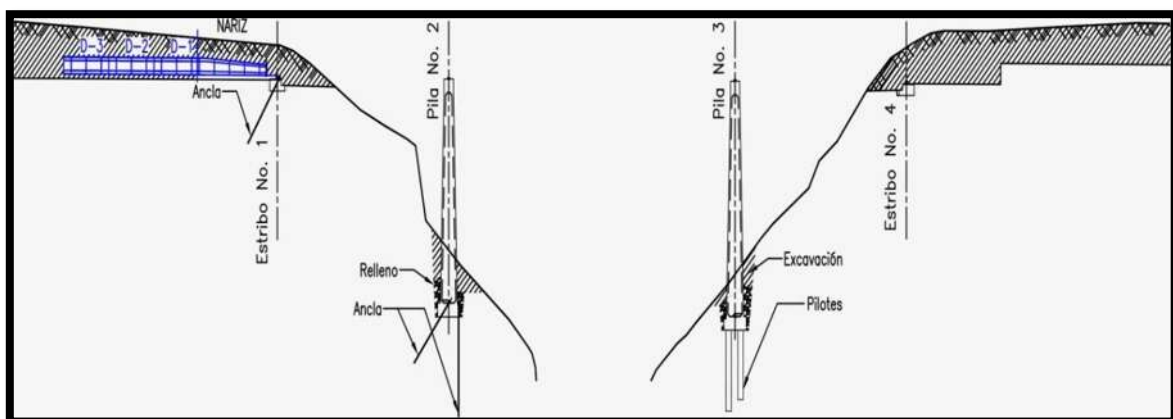


Figura 18 Etapa N°1 nariz y dovelas D-1, D-2 y D-3.

En la fosa de lanzado y sobre los bancos provisionales se ensamblan la nariz de lanzado, dovelas D-1, D-2 y D-3, para lo cual se tomó en cuenta la contraflecha final en cada uno de los claros indicada en el proyecto, una vez que estas son ensambladas se realizan las pruebas de control de calidad necesarias indicadas en proyecto y se repara cualquier anomalía (Imagen 42).



Imagen 42 Armado de nariz y dovelas D-1, D-2 y D-3.

Esta primera etapa nos indica empujar 18 m que corresponden a la longitud de la nariz de lanzado (Figura 19). Teniendo especial cuidado en la verificación de las deflexiones durante el empujado, para que estas no rebasen las deflexiones indicadas en el proyecto en ninguno de los puntos de control.

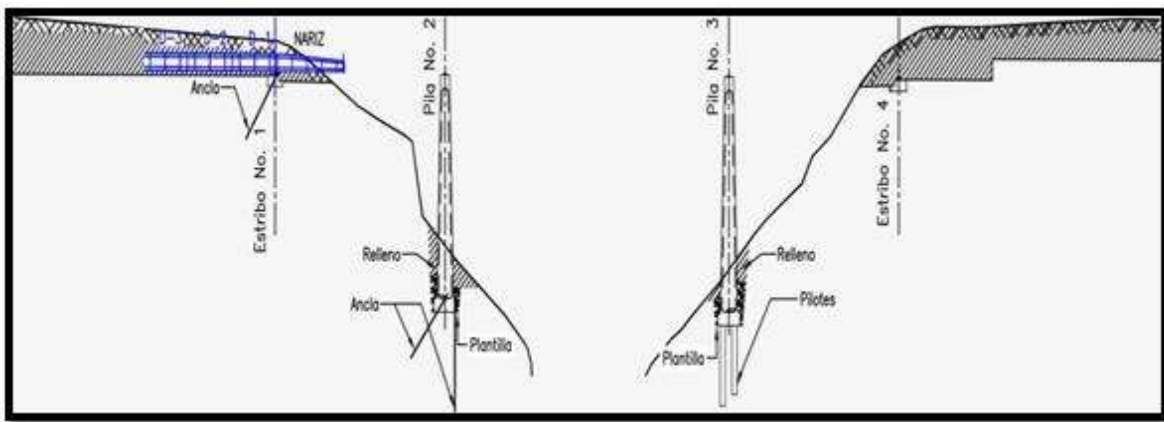


Figura 19 Empujado de nariz de lanzado.

La etapa número dos, consiste en el ensamblado de las dovelas D-4, contravientos, marcos correspondientes, colocación de contrapeso de 10 Ton. sobre dovelas D-4 y el empujado de 12 metros, correspondientes a las dovelas D-1, para llegar a un acumulado de 30 metros de la estructura en cantiliver (Figura 20). Previo a la segunda etapa de empujado, se realizan las pruebas de control de calidad necesarias indicadas en proyecto y se repara cualquier anomalía.

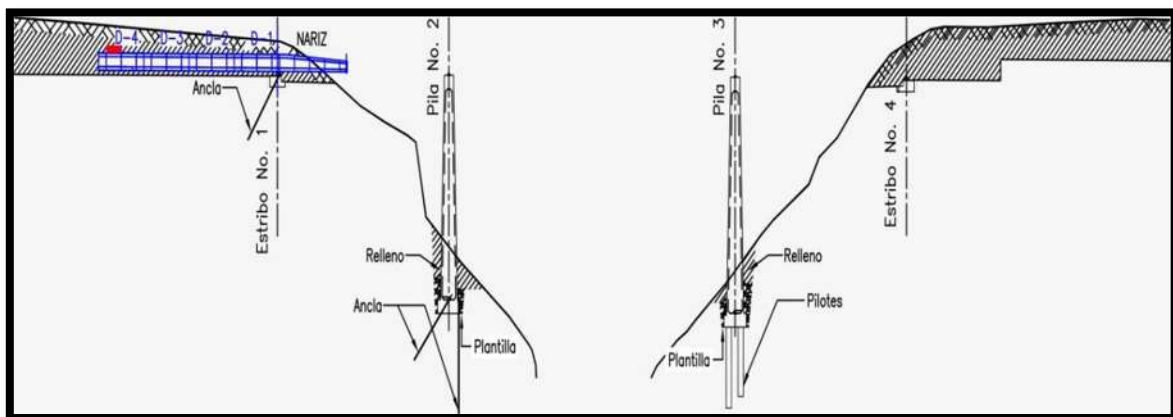


Figura 20 Ensamblado de dovela D-4 y contrapeso provisional.

Durante el empujado de la estructura se tiene especial cuidado en la verificación de las deflexiones, para que estas no rebasen las deflexiones indicadas en el proyecto en ninguno de los puntos de control (imagen 43).



Imagen 43 Empujado de nariz y dovelas.

La etapa número tres corresponde al retiro de contrapeso, ensamblado de las dovelas D-5 y D-6, contravientos, marcos correspondientes, el empujado de la estructura hasta aproximar la nariz de lanzado al cabezal de la pila N° 2, la recuperación de la deflexión para apoyar la nariz de lanzado en los bancos provisionales de pila N° 2 (Figura 21).

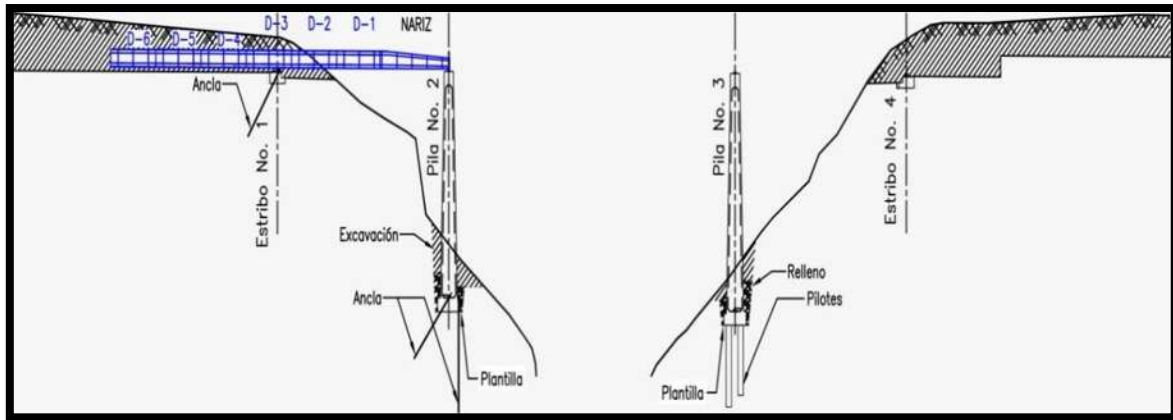


Figura 21 Nariz de lanzado apoyada en pila N° 2.

Una vez que el extremo de la nariz de lanzado se apoya sobre los bancos provisionales de pila N°2, se reinicia el empujado de la estructura, de acuerdo a proyecto en esta etapa la nariz de lanzado y las dovelas D-1 tendrán que quedar en cantiliver a partir del eje de la pila N°2 (Imagen 44). Esta etapa permite que la fosa de lanzado tenga el suficiente espacio para la etapa siguiente.



Imagen 44 Estructura sobre Pila N° 2.

La etapa número cuatro corresponde al ensamblado en la fosa de lanzamiento de las dovelas D-7, D-8 y D-9, contravientos, marcos correspondientes, el empujado de la estructura hasta aproximar la nariz de lanzamiento al cabezal de la pila N° 3, 42 metros en cantiliver a partir del eje de la pila N°2 (Figura 22).

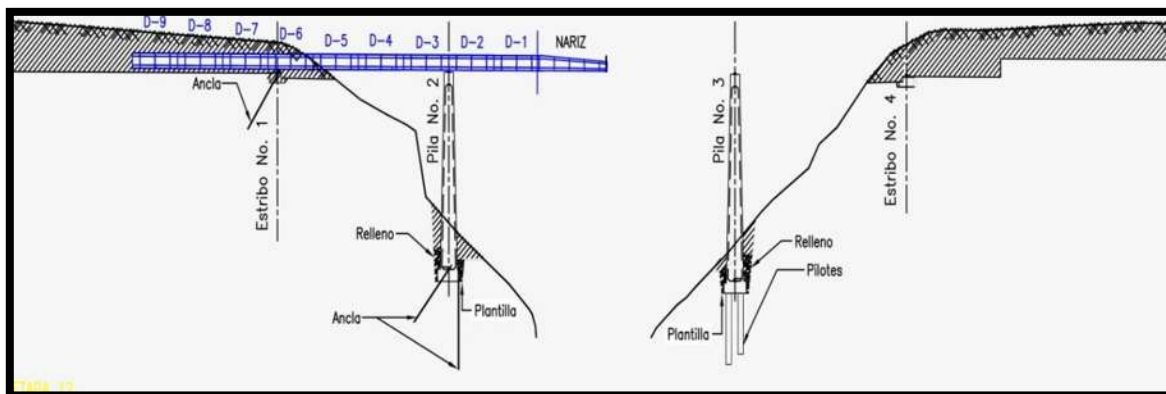


Figura 22 Ensamblado de dovelas D-7, D-8 y D-9

Se realiza la recuperación de la deflexión para apoyar la nariz de lanzamiento en los bancos provisionales de pila N°3. En esta etapa se corrige cualquier desviación de la estructura respecto al eje longitudinal del puente (Imagen 45).



Imagen 45 Nariz sobre pila N° 3.

La etapa número cinco corresponde al ensamblado en la fosa de lanzamiento de las dovelas D-10, D-11 y D-12, contravientos, marcos correspondientes y el empujado

de la estructura, hasta lograr que la nariz de lanzado quede en cantiliver (18 metros) a partir del eje de la pila N°3 (Figura 23).

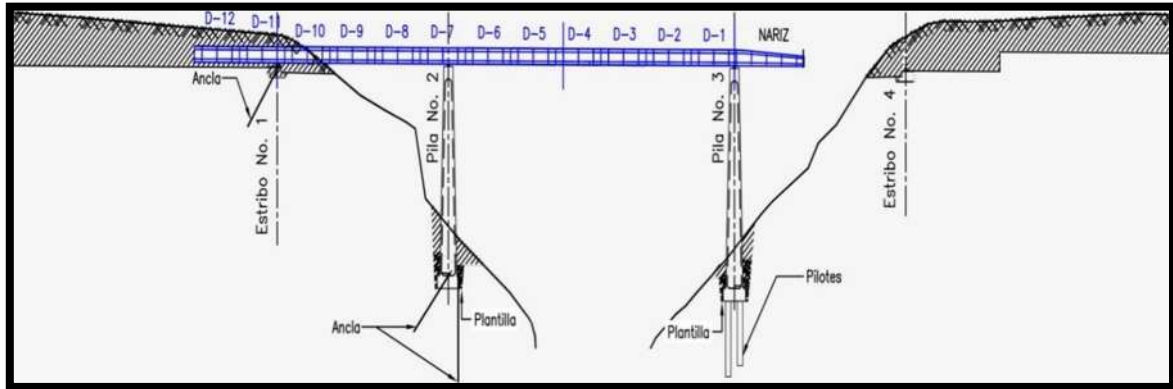


Figura 23 Voladizo de nariz en pila N° 3.

La etapa número seis corresponde al ensamblado en la fosa de lanzado de las dovelas D-13 y D-14, contravientos, marcos correspondientes y el empujado de la estructura hasta aproximarla al estribo N°4 y la recuperación de la deflexión para apoyar la nariz de lanzado en los bancos provisionales del estribo N°4 (Imagen 46).



Imagen 46 Nariz aproximándose a estribo N° 4.

En la etapa número siete se realiza el ultimo empujado de la estructura con la finalidad de posicionarla en el definitivo y coloca la nariz de lanzado en cantiliver a partir del eje del estribo N°4 (Figura 24). En esta etapa la estructura es alineada en sentido longitudinal t transversal.

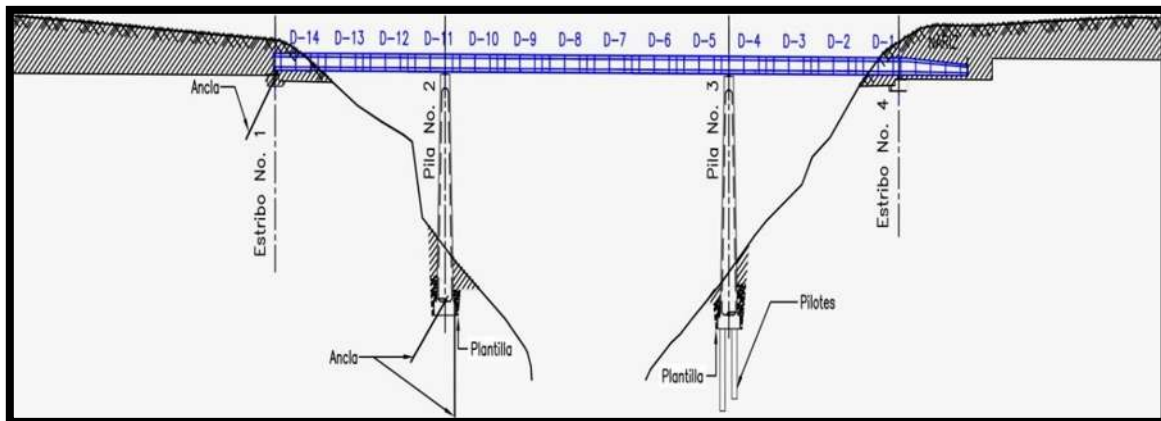


Figura 24 Estructura en posición final.

Una vez que la estructura es colocada en el lugar definitivo, se retira la nariz de lanzado. La estructura es levantada con la ayuda de gatos hidráulicos en los cuatro apoyos, con la finalidad de realizar el colado de los bancos definitivos donde se colocan los apoyos Tetron en los cuales se apoya de forma definitivas la estructura (Imagen 47).



Imagen 47 Retiro de nariz de lanzado.

Posteriormente se coloca el montén que sirve como cimbra para la losa de rodamiento, se coloca el acero de refuerzo de la losa de rodamiento y guarniciones. El colado de la losa de rodamiento se realiza en 2 etapas:

La primera comprende el colado de tramos de 12 metros de longitud sobre las pilas N°2 y N°3 con concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

La segunda etapa contempla el colado de los tramos restantes con concreto de la misma resistencia.

El colado de las guarniciones se lleva a cabo con concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Por último, se realiza el relleno de las plataformas, tendido de base y subbase en los accesos y la colocación de la carpeta asfáltica de 5 cm de espesor sobre el puente y 10 cm en los accesos, se colocan de las juntas de dilatación y se realiza la limpieza de la zona de construcción (Imagen 48).



Imagen 48 Panorámica “Puente La Clavelina km 11+620”.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En relación a lo expuesto en este trabajo, me permite concluir como experiencia profesional, lo siguiente:

El tramo carretero donde se están construyendo estos puentes especiales forma parte del corredor vial de los Puertos Manzanillo, Colima – Tampico, Tamaulipas. Como tal es de gran importancia la ampliación de 2 a 4 carriles para mejorar el funcionamiento de la autopista, el cual permita en gran medida el crecimiento del comercio en base al transporte de estos dos puertos y así un mejor desarrollo económico del país.

Con el desarrollo de la tecnología, en estos puentes se ha podido lograr salvar claros y profundidades donde las condiciones del terreno no permiten la construcción de puentes tradicionales por medio de travesaños prefabricados.

La metodología utilizada en el doble voladizo con dovelas, metálico en arco y empujado, son muy prácticos y rápidos para solventar como se menciona anteriormente claros más grandes y profundidades que con los métodos utilizados de forma convencional sería imposible, beneficiando los tiempos y costo, ya que se reduce en gran manera las distancias que se tendrían que hacer teniendo que llevar el trazo a zonas más convencionales.

Este trabajo explica de forma simple y concisa el tema de las estructuras especiales durante el proceso de su construcción, lo cual nos permite abrir un poco más nuestra percepción y de esa forma poder en un nuevo proyecto tener una visión más amplia para poder diseñar un tramo carretero.

La Información teórica y visual que se presenta en este trabajo es con el fin de que las personas dedicadas a esta área tengan una mejor visión en los procesos constructivos en donde se puedan aplicar este tipo de puentes especiales.



“ESTRUCTURAS ESPECIALES CONSTRUIDAS EN LA AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA AUTOPISTA GUADALAJARA – COLIMA”



BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

[1] OLIVERA Bustamante, Fernando. Estructuración de vías terrestres. Ed. Compañía editorial Continental S.A., 2da edición, México 1996.

[2] CRESPO Villalaz, Carlos. Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Ed. Limusa, México 1979.

[3] Dr. Ingenieros de caminos. Juan J. Arenas de Pablo; Puentes construidos por voladizos sucesivos. Catedra.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos de Santander España.

NORMAS Y MANUALES.

[4] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Normativa para la infraestructura del Transporte. Instituto Mexicano del Transporte, México 2014.

[5] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de proyecto geométrico de carreteras. Ed. Reproducciones Montesinos, México 1991, 4^a reimpresión.

OTROS.

[6] Proyecto de Autopista.
Ampliación de 2 a 4 carriles del Km. 103+510 al Km. 120+000, del tramo carretero Guadalajara-Colima, en el Estado de Jalisco. Junio del 2013.