

TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

REVISIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL LIBRAMIENTO ORIENTE DE NOGALES, SONORA (MÉXICO).

Autor: Soria Cabello, Alvaro.

Tutores: Lázaro Fernández, Carlos Manuel.
Hernández Sánchez, Vicente.

Titulación: Master en ingeniero de caminos canales y puertos.

Fecha de presentación: Septiembre 2017

Curso: 2016-2017



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



AGRADECIMIENTOS:

Quisiera agradecer el logro de este trabajo sobretodo a mi familia. Tanto la familia española como la mexicana. En primer lugar, mis padres. Es a ellos a quien les debo tener una carrera y unos estudios como tengo. Ellos siempre me han apoyado y transmitido la importancia de estudiar. Gracias. Mi familia mexicana es la que me ha estado soportando este año en el que he realizado mi proyecto; sobretodo tú Laura, a quien te debo el haber estado tan cómodo y querido allí en México. Gracias a todos.

También quiero agradecer a mis dos tutores tanto en México como en España. Vicente Hernández, mi tutor mexicano, tuvo para empezar todo el trabajo de introducirme a la forma de proyectar allí. El supo transmitirme su forma de trabajar e hizo posible que este proyecto llegara a algo. Gracias por las horas extra que me has dedicado sin esperar nada a cambio, gracias por tu tiempo y dedicación; esto no hubiera llegado a nada sin ti. Gracias también a ti Carlos Lázaro; también me has dedicado unas horas que nunca te serán devueltas, siempre me has apoyado además desde la distancia y es algo que se agradece.

Este trabajo no hubiera sido posible sin todos vosotros.

RESUMEN:

En este proyecto se han desarrollado dos vertientes que hoy en día son la base del proyecto de Puentes: la vertiente geométrica y la de cálculo.

Para ello se ha tomado como ejemplo el puente sobre el libramiento oriente de Nogales en Sonora. Del mismo se ha llevado una exhausta revisión se su geometría. Se ha propuesto el cambio de algunos aspectos considerados conflictivos (las vigas asomaban por fuera de la losa) y se ha reordenado conforme indican las recomendaciones mexicanas.

Revisada la geometría del puente se ha llevado a cabo el cálculo de la superestructura. Para llegar a resultados interesantes se ha revisado mediante la normativa española y la mexicana; llegando finalmente a la conclusión de que se obtienen leyes de momentos flectores debido a cargas vivas del orden de un 36% superiores en España que en México.

Con todo ello se considera en definitiva que se han alcanzado los objetivos del presente documento, se han explicado métodos para proceder en el cálculo de este tipo de estructuras y se han llegado a conclusiones que tal vez el lector pueda encontrar de su interés; relacionando los dos aspectos principales en el diseño de puentes; geometría y cálculo.

ABSTRACT:

In this project it has been developed two aspects that today are the basis of bridges project: the geometric slope and the calculation.

To develop this, the bridge over the eastern boundary of Nogales in Sonora has been taken as an example. It has been taken an exhausted revision of its geometry. It has been proposed to change some aspects considered to be conflicting (the beams appeared outside the slab) and have been reordenated according to the Mexican recommendations.

When the geometry of the bridge has been checked, the superstructure calculation has been carried out. To reach interesting results it has been revised by Spanish and Mexican regulations; finally arriving to the conclusion that laws of bending moments are obtained due to live loads of the order of 36% higher in Spain than in Mexico.

All in all, it is considered in the end that the objectives of this document have been achieved, methods have been explained to proceed in the calculation of this type of structures and conclusions have been reached that the reader may find of interest; relating the two main aspects in the design of bridges; geometry and calculation.



Índice

- I. *Documento Nº 1: Memoria*
 - I.1. *Anejo Nº1: Estudio de soluciones*
 - I.2. *Anejo Nº2: Diseño y comprobación de la estructura*
 - II. *Documento Nº 2: Planos*
 - III. *Documento Nº 3: Presupuesto*
-

TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERO DE CAMINOS, CANALES
Y PUERTOS.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

REVISIÓN DEL DISEÑO
ESTRUCTURAL DEL PUENTE
SOBRE EL LIBRAMIENTO ORIENTE
DE NOGALES, SONORA.

DOCUMENTO N° 1
MEMORIA Y ANEJOS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS



Índice

Memoria

Anejos a la memoria

Anejo nº1. Estudio de soluciones

Anejo nº2. Diseño y comprobación de la estructura

TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

REVISIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PUENTE SOBRE EL LIBRAMIENTO ORIENTE DE NOGALES, SONORA.

MEMORIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS



Índice

- I. Objeto del documento y organización del TFM*
- II. Objeto del proyecto básico*
 - II.1. Localización*
 - I.2. Emplazamiento*
- III. Antecedentes, limitaciones y condicionantes*
 - III.1. Antecedentes*
 - III.2. Limitaciones*
- IV. Normativa*
- V. Geotécnica*
- VI. Trazado*
- VII. Estudio de soluciones*
- VIII. Solución adoptada*
- IX. Proceso constructivo*
- X. Plazo de ejecución*
- XI. Presupuesto*
- XII. Documentos*



I. Objeto del documento y organización del TFM

El siguiente documento tiene la finalidad de ser el Trabajo de Fin de Máster del alumno Álvaro Soria Cabello. El mismo se basa en el proyecto con nombre PSFFCC, “Entrada de Nogales en el libramiento Oriente de Nogales, Sonora km 213+581,77”. Es por tanto, una revisión de un proyecto así como un análisis comparativo de dos normativas; la española y la mexicana, en el ámbito del diseño de puentes. Se define a continuación el alcance del mismo:

- La definición de la geometría adecuando los peraltes y anchos según la normativa mexicana. La geometría parte de los datos del proyecto anterior en cuanto a eje de trazo y propone una corrección en la definición de las alturas y posiciones de las trabes.
- Asimismo se procede al cálculo de la estructura siguiendo dos normativas, la española y la mexicana. Se analizarán si las vigas propuestas son adecuadas, tipo de concreto y pretensado así como todo lo necesario para garantizar que la estructura cumple con los requisitos normativos de ambos países. Se analizará el método que propone cada país para comprobar y dimensionar este tipo de estructuras y los requisitos mínimos tanto en rotura como en servicio.

El alumno ha sido tutorado por Don Carlos Lázaro Fernández de la Universidad Politécnica de Valencia y por Don Vicente Hernández Sánchez, de la Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón.

El trabajo ha sido dividido en 3 partes.

Documento N°1: Memoria y anejos

Anejo N°1: Estudio de soluciones

Anejo N°2: Diseño y comprobación de la estructura

Documento N°2: Planos

Documento N°3: Valoración económica

Quedan excluidos, por la propia naturaleza del trabajo, los siguientes documentos:

- Pliego de condiciones técnicas particulares
- Cuadro de precios N°1 y N°2

Se excluye del alcance del presente TFM cualquier anejo ambiental, anejos geotécnicos o diseños de la subestructura ya que pretende enfocarse en estos dos aspectos mencionados geometría y cálculo.

Se excluye por tanto el cálculo de subestructuras.

II. Objeto del documento

A lo largo de 2011 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT de México encarga diversas obras de ampliación y creación de nuevas carreteras en el estado de Sonora. Debido a la creciente demanda del uso del vehículo así como del transporte de mercancías vía autotransporte, sobretodo en el paso a Estados Unidos, surge la necesidad de crear nuevos accesos a la ciudad de Nogales, Sonora.

Es por ello que en Julio de 2011 se inicia la obra “Libramiento Oriente de Nogales” en la localidad de Nogales en el estado de Sonora en México. Esta obra supone la construcción de un paso a nivel de 2 km que da acceso a la ciudad permitiendo la mejora en el flujo de tránsito en la zona. Actualmente la obra se encuentra en proceso de construcción en 2017.

El objeto de este TFM es el de revisar el proyecto en construcción con un fin académico, proponiendo mejoras en la geometría disposición y tipo de vigas, así como permitir una comparación de las normativas mexicana y española en el cálculo de este tipo de estructuras.

II.1. Localización

El puente sobre el libramiento oriente de Nogales se localiza en la ciudad de Nogales, estado de Sonora, al noroeste de México. Nogales es una de las ciudades del país que hace frontera con los Estados Unidos, lo que la convierte en un punto importante de intercambio tanto de mercancías como de población que se desplaza de un país al otro.



Figura 1. UBICACIÓN DE NOGALES

II.2. Emplazamiento

El emplazamiento de la obra a realizar se localiza en la zona Este de la ciudad. En esta localización encontramos la salida oriente de la ciudad en dirección Santa Cruz que se cruza con la circunvalación de la ciudad; el periférico Oriente. Por tanto la obra se encuentra en la unión de ambos tramos del periférico oriente sobre el paso de diversas vialidades así como tramo de vía férrea y caminos de terracería.

Se trata de una obra cercana a la zona residencial “Lomas del Sol” y con tráfico constante por la salida este de la ciudad.

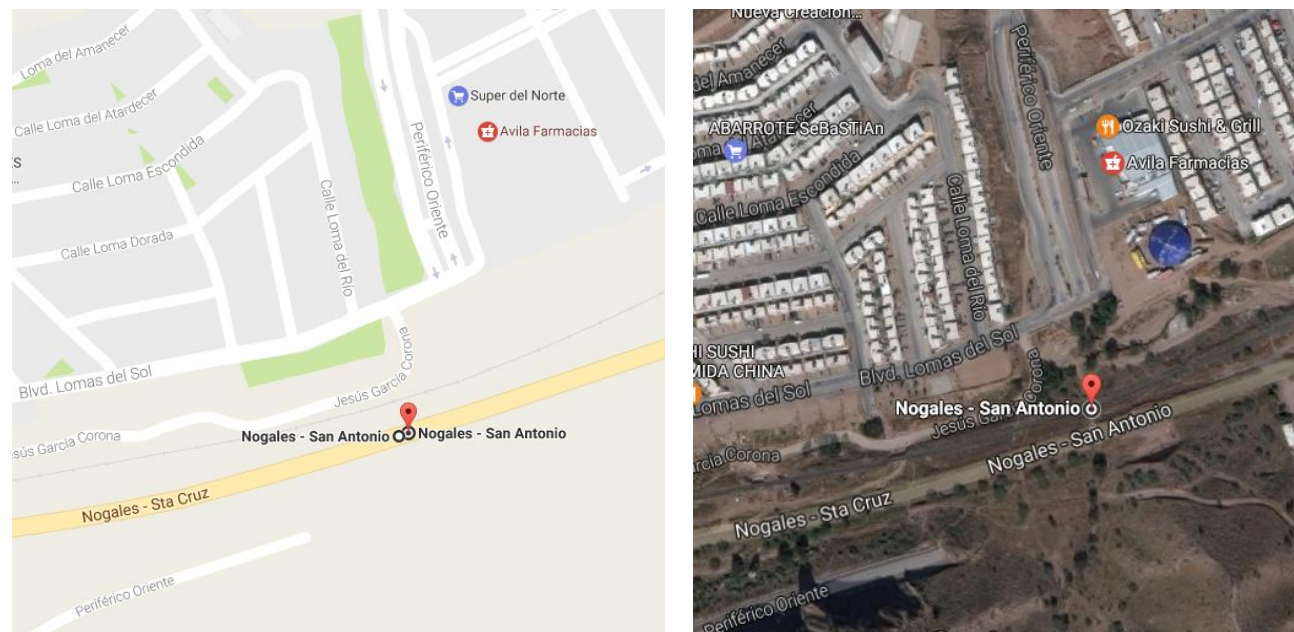


Figura 2. EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA

III. Antecedentes, limitaciones y condicionantes

III.1. Antecedentes

La historia de la ciudad parte del establecimiento en la zona de un rancho conocido como “Los Nogales de Elías”. Se trataba de una zona desértica y apenas poblada hasta que en 1880 bajo el gobierno de Porfirio Díaz se establece la aduana y se permite el paso del ferrocarril de Sonora en 1882. Ambos acontecimientos favorecieron el crecimiento de la población y en 1884 se funda el municipio.

Con los años, y debido a su situación geográfica, se comienzan a establecer grandes empresas maquiladoras, lo que favorece una mejora de su economía y un importante crecimiento. Por otro lado debido a su cercanía a los EEUU y a sus facilidades, se comienza a convertir en el principal punto de acceso de turistas estadounidenses al estado de Sonora. Todo ello desemboca en un crecimiento de la ciudad y a la necesidad de generar más viales que permitan la conexión con las ciudades cercanas y los otros estados así como la salida y entrada del producto generado en las fábricas.

La creación del nuevo anillo periférico es una muestra del crecimiento de la ciudad y un ejemplo de esta necesidad de creación de nuevas infraestructuras que mejoren el flujo dentro de la ciudad.

III.2. Limitaciones y condicionantes.

Se exponen a continuación los condicionantes generales que se establecen para la obra del Periférico Oriente.

Funcionales:

El proyecto debe incluir el puente y los dos accesos, uno desde la zona Sur y otro desde la zona Norte uniendo los dos tramos de Periférico:

- Acceso desde el Sur a cota +1.268,840 con pendiente de entrada -6 %.
- Acceso desde el Norte a cota +1.267,900 con pendiente de salida -0,67%

La división de la sección transversal del puente de acuerdo con el pliego deberá ser como mínimo la siguiente:

- Ancho mínimo exigido de 12.80 metros divididos en dos carriles centrales de 3,5 m para calzada, 2,5 para acotamiento y 0,8 m para protecciones.
- Se debe permitir un gálibo mínimo de 7,5 m sobre la base de las vías en el eje de trazo de vía de ferrocarril.
- Se debe permitir un gálibo mínimo de 5,5 m sobre la base de las vías vehiculares.

**Técnicos:**

- *Reposición de servicios:* Deberán reponerse los servicios de agua potable, gas, comunicaciones, energía eléctrica de viviendas, negocios y alumbrado público.
- *Drenaje:* el agua del punto más alto de la pendiente longitudinal se llevará hasta los terraplenes desde donde se llevará a las tuberías por construir.

Sostenibilidad:

La estructura deberá requerir poco mantenimiento. Los materiales empleados para la construcción así como su transporte y colocación deberán respetar los criterios ambientales y tener una vida útil elevada.

IV. Normativa

Para la elaboración del proyecto se emplean las normas y recomendaciones enumeradas a continuación.

- **IAP-11.** “Instrucción de Acciones a considerar en el proyecto de Puentes de Carretera”.
Se ha utilizado para la obtención de las diferentes cargas variables, según la normativa española
- **EC-2.** Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón.
Se ha utilizado para las comprobaciones resistentes de los elementos de hormigón armado.
- **EHE-08.** “Instrucción de Hormigón Estructural”
Se ha utilizado como complemento al EC-2, bien en casos en que era más restrictiva o bien por considerar cosas que el EC-2 no considera.

Mexicana:

- **IMT** Instituto Mexicano del transporte en su M-PRY-CAR-6-01-008/03 Para el Proyecto de Nuevos Puentes y Estructuras similares
- **Manual de proyecto geométrico** de la **SCT** Secretaría Técnica de Transporte.
- **NTC** Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto.

Americana:

- **AASHTO** LRFD 2012 Bridge Design Specifications 6th Edition USA.

V. Geotecnia

Tras el estudio del informe geotécnico sobre el libramiento oriente de Nogales se llega a las siguientes conclusiones:

- Se efectuó un estudio de mecánica de suelos consistente en exploración y muestreo del suelo, pruebas de laboratorio y análisis de resultados.
- la cimentación para los apoyos de la estructura podrá ser resuelta con alguna de las siguientes opciones:
 - Zapatas desplantadas entre 2,50 y 3,50 m con capacidad de carga mínima de 40 ton/m²
 - Pilas de sección constante, coladas empleando ademe metálico recuperable, trabajando por apoyo de su punta, de 1.0, 1.2 o 1.5 m de diámetro, con la capacidad de carga admisible 400 ton/pila y desplantadas a una profundidad entre 5 y 7 metros.
- El sitio de interés se ubica en la región sísmica B y de acuerdo al tipo de suelo I, le corresponde un coeficiente sísmico de 0.14.
- Los asentamientos en las zapatas resultaron menores a 3.0 cm y para pilas de 1.0, 1.2 y 1.5 m de diámetro, resultaron de 1.2, 1.4 y 1.6 cm, respectivamente, los cuales son admisibles
- No se disponen de análisis del agua subterránea, pero algunos ensayos existentes no han mostrado componentes agresivos al hormigón.

Teniendo en cuenta las conclusiones anteriores, se ha optado por la realización de diez cimentaciones a base de pilas de dimensiones circulares con diámetro de 120 cm y pilotes de 150 cm. El sistema que forman es de una corona que se sustenta en las pilas, que apoyan en un encepado del que parten los pilotes.

VI. Trazado

El trazado original se detalla en el “Anejo nº1 estudio de soluciones” e incluye una viaducto de 9 vanos de entre 28 y 34 m de longitud, con 10 apoyos, a lo largo del cual se desarrollan una clotoide, seguida de una curva, otra clotoide y finalmente una recta.

Las pendientes en alzado se basan en una curva que se adapta a 3 pendientes:

- Entrada del - 6,00%
- Intermedia 2,38 %
- Salida – 0,67 %



VII. Estudio de soluciones

El estudio de soluciones trata de mejorar algunos aspectos que no están adecuadamente resueltos en el proyecto original "PSFFCC Ent. Nogales libramiento oriente" del que deriva este documento y de paso mostrar la aplicación del método propuesto por la SCT en su manual "Manual para proyecto geométrico de Puentes".

El principal problema que se observaba en el proyecto original es que las vigas AASHTO V no se adaptaban adecuadamente al trazo curvo y en algunos puntos llegaban a sobresalir del tablero. Para resolverlo algunas de las vigas se desplazaron a nuevas posiciones y se volvió a obtener su posición y elevación mediante el procedimiento que se muestra en el "Anejo nº1 Estudio de soluciones".

VIII. Solución adoptada

El puente definitivo consta de 9 vanos de entre 28 y 34 metros en total 301 m y forma un trazado curvo con variaciones de pendiente y sobreechancho en las secciones. También presenta cambios en las pendientes en alzado tal y como se indica en el apartado "VI. Trazado" de este mismo documento. El ancho de las secciones en trazo recto es de 12,80 m y sus pendientes las del bombeo de 2 %.

El **tablero** está formado por una losa de concreto de 20 cm que apoya sobre 8 vigas AASHTO tipo V preesforzadas. Su ancho y pendientes van variando según si se trate de curva o clotoide.

La **subestructura**: está formada por una corona que recibe las vigas, que apoya sobre unas pilas de 1,20 m. Las mismas están apoyadas sobre un encepado que se sitúa sobre unos pilotes enterrados de 1,50 m.

Los **aparatos de apoyo**: elegidos para que descansen las vigas sobre los zoclos son de neopreno de dureza shore de 60 de 30 x 40 x 0,3 o similar. Cuentan con placa de acero estructural de 19 x 39 x 5,7. Para los apoyos intermedios es el mismo tipo de neopreno pero con capas de acero estructural en lugar de 3.

Las **juntas de dilatación**: de la marca Transflex modelo 150 o similares.

Los **equipamientos**:

- **Pavimento**: Para la capa de rodadura se utilizará una mezcla bituminosa semidensa en caliente AC16surfS y para la capa intermedia-base una mezcla bituminosa densa en caliente AC22binD. Como ligante, por estar en una zona térmica media se colocará, un B60/70. Todas estas elecciones pueden ser cambiadas por otras con características similares.
- **Parapeto**: Se trata de un elemento metálico circular de 9 cm de diámetro. El mismo se sostiene mediante un elemento en forma de agarradera de 1,27 mm de espesor. Para su fijación se utiliza una placa de 0,95 mm y unos pernos roscados de 2,54 mm.
- **Guarnición**: están conformadas por bloques de hormigón prefabricados colocados a ambos extremos del puente. El armado y dimensiones de las mismas se incluyen en el "Plano 5-2 Detalles".

IX. Proceso constructivo

Preparación de la obra

En primer lugar y previo el inicio de la obra, se retirarán los servicios afectados. Retirada de posibles instalaciones afectadas y preparación del terreno. Operaciones de desbroce e instalaciones de obra. Ejecución de una rampa de acceso para la maquinaria en el lado norte.

Movimiento de tierras

Inicio de la excavación para los pilotes, a la vez que se va rellenando la zona de accesos a lo largo de toda la obra.

Subestructuras

Ejecución de los pilotes: Vertido de hormigón de limpieza, armado y hormigonado.

Ejecución de los encepados: Armado, vertido de hormigón curado y vibrado.

Ejecución de muros mecánicamente estabilizados: Se irán ejecutando mediante la colocación de piezas prefabricadas.

Ejecución de las pilas: Encofrado, armado, vertido de hormigón curado y vibrado.

Ejecución de las coronas: Encofrado, armado, vertido de hormigón curado y vibrado.

Una vez finalizadas las coronas se colocarán los elementos necesarios para el apoyo del puente, los neoprenos.

Prefabricación y transporte de las piezas

Durante la ejecución de la cimentación y de forma que se permita un solapo de los trabajos se realizará el encargo de toda la estructura prefabricada. Se transportan por separado los siguientes elementos:

- Piezas de los muros mecánicamente estabilizados.
- Vigas AASHTO tipo V

Superestructura. Primer tramo de tablero y arco metálico

En obra se realizará el elevado de las traveses y su colocación en sus posiciones definitivas sobre los neoprenos.

El siguiente paso será montar la chapa grecada que hará de encofrado junto con las defensas laterales en los extremos. Una vez se haya dispuesto el encofrado se armará y hormigonará la losa.

El siguiente paso en la ejecución de la obra será realizar la pavimentación tanto de accesos como de la estructura.

Barandillas, iluminación y marcas viales

El montaje de barandillas, instalación de conductos y desagües, reposición de servicios así como la señalización será llevado a cabo en las últimas fases de la obra, dando por finalizada la construcción del puente.



X. Plazo de ejecución:

El plazo de ejecución es de **470 días** desde el inicio de los trabajos.

XI. Presupuesto

El presupuesto total asciende a **TRES MILLONES TRESCIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS DIECINUEVE EUROS CON CINCUENTA Y NUEVE CÉNTIMOS**, como queda detallado en el “Documento nº3. Valoración económica”.

XII. Documentos

Documento Nº1: Memoria y Anejos

- **Memoria.**
- **Anejo Nº 1.** Estudio de soluciones
- **Anejo Nº 2.** Diseño y comprobación de la estructura

Documento Nº2: Planos:

- 1.1. Situación
- 2.1. Planta y alzado
- 2.2. Planta y dimensiones
- 3.1. Secciones intermedias
- 3.2. Secciones apoyo 1
- 3.3. Secciones apoyo 2
- 4.1. Armado losa superior
- 4.2. Armado losa inferior
- 4.3. Armado viga
- 5.1. Detalles
- 5.2. Detalles guarnición

Documento Nº3: Valoración económica

XIII. Conclusión

Se pretende con esta memoria presentar de forma breve y ordenada todos los aspectos que van a ser estudiados sobre el presente proyecto. Con todo lo expuesto en la presente memoria, así como en el resto de documentos, se cumple con los objetivos del presente TFM y se da por válida la revisión del diseño estructural del puente sobre el libramiento oriente de Nogales, Sonora.

Ciudad de México, 14 de Junio de 2017:

EL AUTOR:

Fdo. Soria Cabello, Alvaro