

Propuesta de actualización de diseño y reparación de puentes típicos de viga y losa para carreteras.

proposal for updating the desing and repair of typical beam and slab bridges for roads.



Ing. Raikov Santana Mendoza

Especialista "C" en Proyecto e Arquitectura
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas
(EMPAI). Matanzas. Cuba
Telf: 45291802 Ext 247 Email:raikov-santana@empai.co.cu



Lic. Ing. Pedro A. Hernández Delgado

Director Técnico y Desarrollo
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. EMPAI.
Matanzas. Cuba
Profesor Instructor de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMCC.
Cuba
Telf: (45) 291802, Ext. 210 Email: pedro-hernandez@empai.co.cu



Ing. Rafael Sergio Ulloa Reyes

Especialista "C" en Proyecto e Arquitectura
Empresa de Proyectos de Obras de Arquitectura No.2 (EMPROY-2)
E-mail: rafael.sergio@emproy2.co.cu

RESUMEN

La creación del proyecto típico de puentes cubano – soviético surge como una necesidad social de conectar el occidente con el oriente por medio de una autopista nacional que comunicara toda la isla de una forma segura, rápida. El presente artículo es el efecto de toda una serie de causas que están provocando que el proyecto típico presente problemas, específicamente en la soluciones de puentes no continuos tanto para puentes de carretera como para vías férreas y esto genera toda una falta de información del motivo de estas fallas y daños. La solución de los problemas requirió el análisis de toda un equipo de deficiencias, tanto desde el punto de vista conceptual como en la ejecución de estos tipos de puentes para luego plantear todo un conjunto de recomendaciones avaladas por la práctica nacional e internacional que mejoran considerablemente el servicio de estos puentes. Como objetivos a cumplir se definen: analizar el estado del arte del diseño y reparación de puentes de viga y losa; establecer los requisitos para la reparación de puentes no continuos incluidos en la tipificación cubano-soviética y realizar un ejemplo metodológico de cálculo de los parámetros fundamentales para la reparación de puentes no continuos. Los resultados muestran la obtención de una mejor respuesta estructural que reduce considerablemente los costes de mantenimiento a corto plazo y propone una vida útil más prolongada en dichas estructuras.

Palabras Claves: Proyecto típico de puentes; reparación.

ABSTRACT

The creation of the Cuban – Soviet typical bridge design arises as a social need to connect the west with the east through a national highway running along the island in a safe and fast way. The present work is the result of a conjunction of causes that are provoking the development of troubles in bridges typical design, specifically in the solution of not continuous bridges, as well in highways as in railways, and this situation generates a lack of information about the causes of these failures and damages. The troubles solution required the analysis of all a sort of deficiencies, as well from the conceptual point of view as in the construction of this sort of bridges, in order to set several recommendations endorsed by the national and international practical work to improve significantly these bridges service. As goals to reach are defined: To analyze the state of the art in the design and reparation in beam slab bridges; to set the requirements for the renovation of not continuous bridges included in the Cuban Soviet standardization and to perform a methodological example of calculation of the main parameters for the reparation of not continuous bridges. The results show the achievement of a better structural response that considerably reduces the long term maintenance cost and set the proposal of a longer lifetime in these structures.

KEYWORDS: typical bridges design, reparation.

INTRODUCCIÓN

El análisis y el diseño, así como toda la conservación de un puente pertenecen a la ingeniería civil, siendo numerosos los tipos estructurales que se han aplicado a lo largo de la historia.

En este caso se decidió analizar un tipo de puente, conocido como puente no continuo o isostático que pertenece a la tipificación cubana-soviética que presentaba un catálogo de elementos prefabricados hechos por cubanos y soviéticos, con el objetivo de minimizar los costos de conservación y lograr una estructura mucho más fuerte y duradera.

A causa de la amplia presencia de esta tipificación cubano-soviética realizada entre los años de 1968-1975 para puentes de carreteras de los cuales se desconoce la prioridad de reparación ante el nivel de deterioro y su capacidad actual, se plantea como situación problemática: la existencia de una gran cantidad de puentes de esta tipología, los cuales muchos han sido reparados y otros necesitan reparación según el proyecto original, sin un análisis de las causas de las fallas y deterioros de estos puentes.

ANÁLISIS DE LAS DEFICIENCIAS DE PUENTES TÍPICOS DE VIGA Y LOSA PARA CARRETERA

Como parte de la investigación realizada se encontraron deficiencias en este sistema típico soviético que interrumpe con la funcionalidad, durabilidad y confort del mismo, las cuales quedan reflejadas continuación:

- Insuficiente peralte de los cercos en la unión viga-loza.
- Estrechamiento de la sección T de la viga por la prelosa.
- Insuficiente peralte total de la losa.
- Insuficiente espesor de la prelosa.
- Carencia de conectores de cortante en la prelosa.
- Incorrecta ejecución de la prelosa.
- Daños en las juntas sobre las pilas.
- Mal funcionamiento de la junta de estribo.
- Ausencia de diafragmas entre los apoyos.

Tabla 1.1 Resumen de las deficiencias vs recomendaciones.

Deficiencias	Recomendaciones
1. Los cercos o anclajes de las vigas quedan prácticamente a nivel de la prelosa no llegan suficientemente a la carpeta de fundición de la losa.	Añadir cercos que mitiguen esta situación.
2. Estrangulación de la sección de trabajo de la viga por la prelosa.	En los puentes nuevos usar una viga con pestaña para soportar la prelosa. Incrementar el peralte de la losa de tablero.
3. El espesor de 8 cm de la prelosa no garantiza el recubrimiento mínimo, puesto que la tolerancia de ejecución de la malla afecta el brazo de trabajo del refuerzo inferior.	Aumentar el espesor a 12 cm.
4. Espesor total de la losa es insuficiente pues no cumple con las exigencias de diseño.	Aumentar el peralte de la losa hasta 27cm.
5. No contempla un refuerzo para soportar el cortante horizontal y no garantiza una superficie rugosa de contacto.	Añadir acero como llave de cortante.
6. Juntas en cada apoyo central.	Eliminando la junta mediante continuidad del tablero y analizar la viga como sección T.
7. El anclaje de la prelosa sobre las vigas es insuficiente.	Garantizar el anclaje.
8. Problemas en las juntas de estribo.	Modificar o añadir una losa de aproche continua con el tablero.
9. No hay diafragmas en los apoyos.	Incorporar diafragmas para lograr la continuidad.

Una vez determinada las principales deficiencias, responsables de los principales daños y sus causas; a continuación desarrollamos las soluciones para cada una de estas afectaciones, para la aplicación en proyectos de reparación de estos puentes y para la elaboración de nuevos puentes de este tipo. Seguidamente las deficiencias vs recomendaciones a continuación:

Insuficiente peralte de los cercos en la unión viga-losa:

Como recomendaciones se propone que se añadan cercos para que la viga quede anclada sobre la losa y así lograr que funcione como una sección transversal en forma de T y alcanzar la continuidad en este proyecto. Las soluciones abarcan dos vertientes pues la primera es para el caso de reparación en el cual se le coloca un cerco que alcance la losa, el proyecto típico el espesor total de la losa es de 180 mm; el nuevo cerco colocado deberá tener una altura de 170 mm para asegurar que se una con el refuerzo de la losa. En la figura 1.2 se muestran los cercos, que alcanzan una altura hasta la losa, logrando que la sección compuesta trabaje como una sección transversal en forma de T.

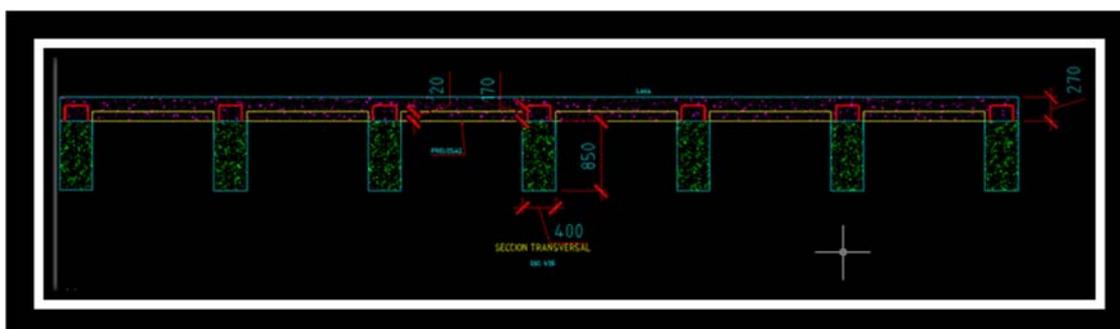


Figura 1.2 Colocación de los cercos de anclaje para reparación del proyecto típico.

La segunda vertiente es para puentes nuevos en donde el espesor de la prelosa se aumenta hasta 120 mm y el de la losa alcanza los 150 mm; obteniendo un cerco de 250 mm para lograr la continuidad entre viga y losa a través de una sección compuesta.

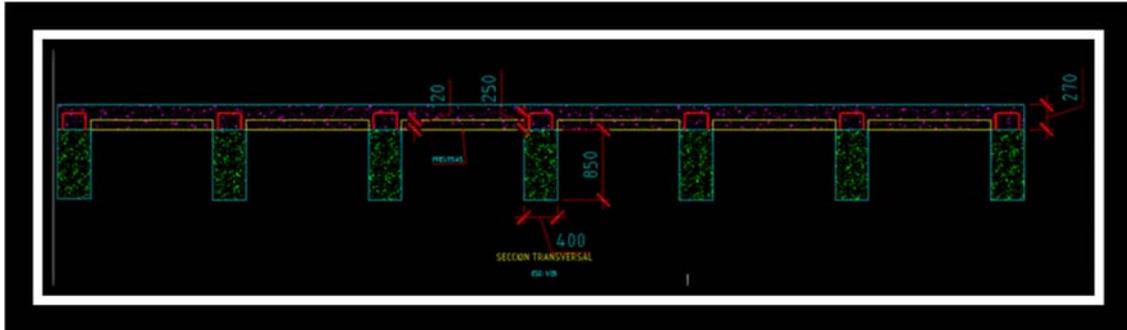


Figura 1.3 Colocación de los cercos para el diseño de puentes nuevos de este tipo.

Estrechamiento de la sección T de la viga por la prelosa:

Se considera para disminuir las tensiones que son transmitidas de la prelosa hacia la viga se le colocarán pestañas en los puentes nuevos y se incrementara el espesor del tablero hasta 270mm. En el caso de la reparación realmente no se puede presentar ninguna solución.

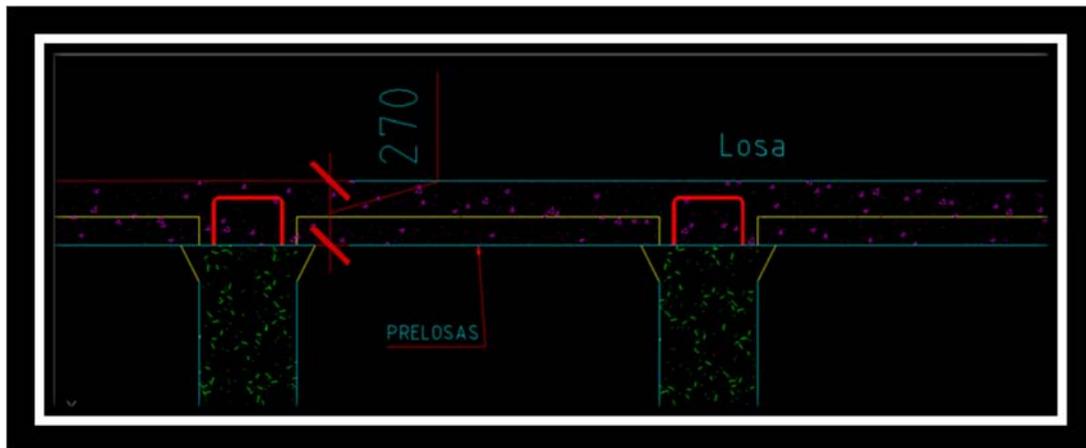


Figura 1.4 Colocación de las pestañas para los casos de nuevos puentes.

Insuficiente espesor de la prelosa:

En aras de lograr que el refuerzo cumpla con su función, y el brazo de trabajo pueda contrarrestar las cargas actuantes que se originen se considera aumentar el espesor de la prelosa a 12cm este número no es al azar pues está basado en toda una práctica aplicada en la experiencia por parte de los ingenieros norteamericanos en la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO.

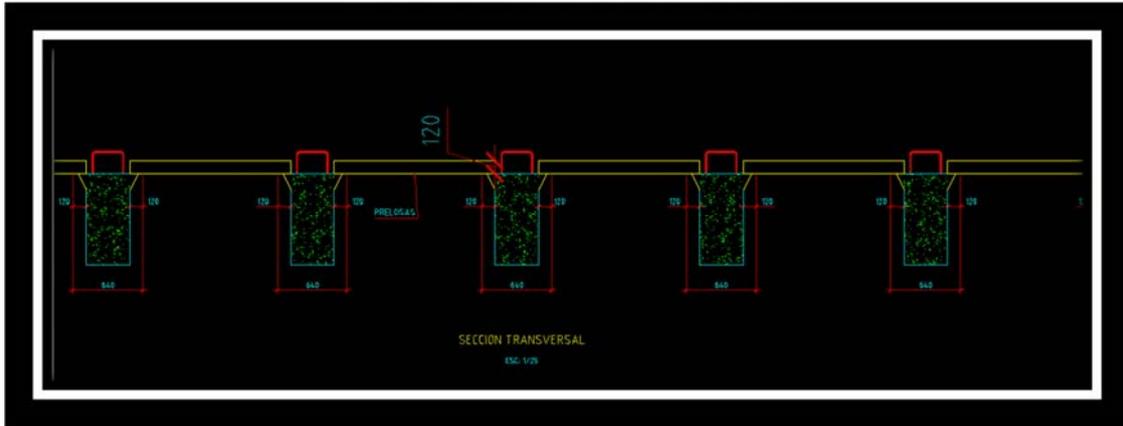


Figura 1.5 Determinación del espesor de la prelosa.

Insuficiente peralte total de la losa:

La recomendación sería el aumento del espesor total de la losa a 27cm que se plantea en una especificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO que este criterio se basa en la construcción de varios puentes continuos en varios estados de Norteamérica. La especificación 9.7.4.3 Concrete Formwork que expone que la prelosa tiene que ser el 45% del espesor total; y el resto de esos 55% le correspondería a la losa.

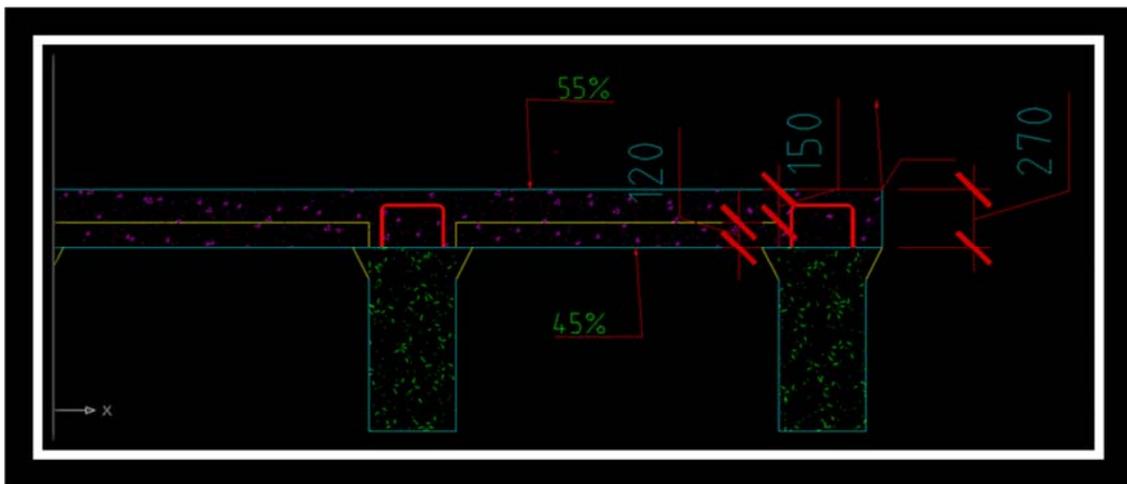


Figura 1.6 Análisis del espesor total de la losa.

Carencia de conectores de cortante en la prelosa:

La colocación del refuerzo como llave de cortante que servirá para soportar el cortante horizontal cumplirá dos funciones, controlar el agrietamiento e impedir la separación de los elementos compuestos. El análisis de la cantidad de llaves de cortantes por m² es de 4 cercos de cortantes:

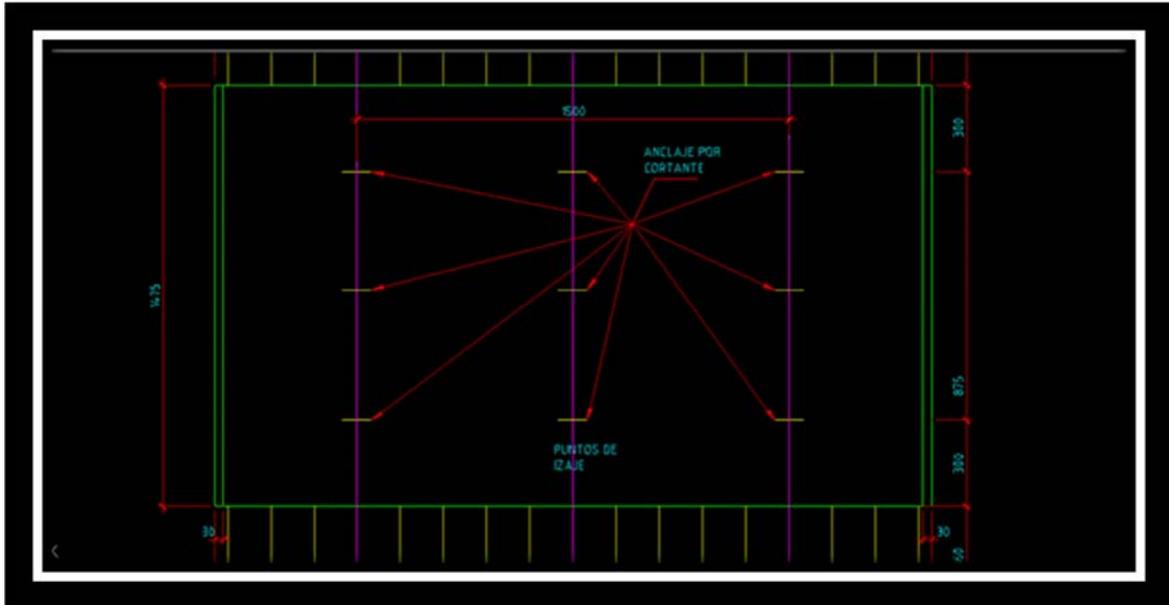


Figura 1.7 Posición y determinación de los anclajes por cortante.

Incorrecta ejecución de la prelosa:

Garantizar el anclaje propuesto en el proyecto de 260 mm y su colocación en obra como está estipulado.

Daños en las juntas sobre las pilas:

La evidencia indica la eliminación necesaria de las juntas intermedias por todos los problemas que acarrea este dispositivo y lograr la continuidad a través de la viga con la función de que trabaje como una sección transversal en forma de T, por el tablero.

Mal funcionamiento de la junta de estribo:

Los problemas de la juntas de estribo se corrigen con la modificación o la adición de una losa de aprobecho continua que logre una transición entre el suelo que es un elemento flexible y puente que es un elemento rígido.

Ausencia de diafragmas entre los apoyos:

La colocación de diafragmas crea una unión que hace la estructura entera continua capaz de soportar cualquier peso adicional.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta las propuestas de diseños mencionadas con anterioridad se realiza un análisis de ambos diseños, o sea, el proyecto típico con las dimensiones estipuladas en el proyecto original para solución de puente no continuo o isostática y el mismo puente de viga-losa pero con la característica de la continuidad o hiperestaticidad en todo el tablero, obediendo las especificaciones de la AASHTO; se aumentaron las dimensiones de los elementos estructurales: losa y prelosa, éste criterio está avalado en la experimentación en varios estados de EE.UU donde se utilizó el análisis descrito, con el uso del software SAP2000 V14.

Ambos modelos constituyen puentes de hormigón armados con vigas de sección transversal en forma de T que trabajan en conjunto con la losa del puente. Se escoge un proyecto típico de tres luces en la cual el vano central es de 16m y los extremos de 14m.

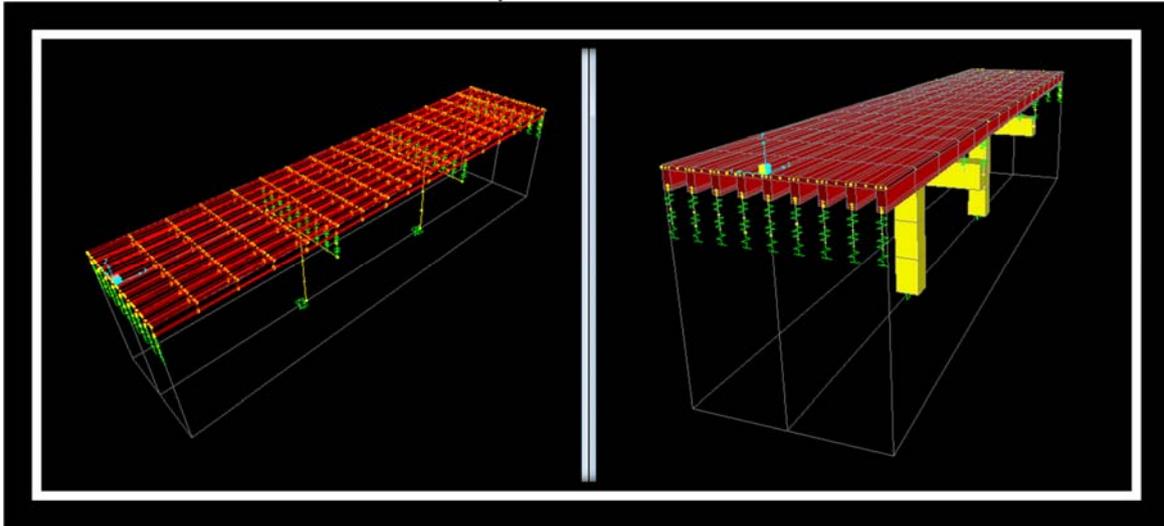


Figura 1.8 Modelación del puente en el SAP2000 V14.

La sección presenta 7 vigas internas y 2 extremas para un total de 9 vigas continuas:

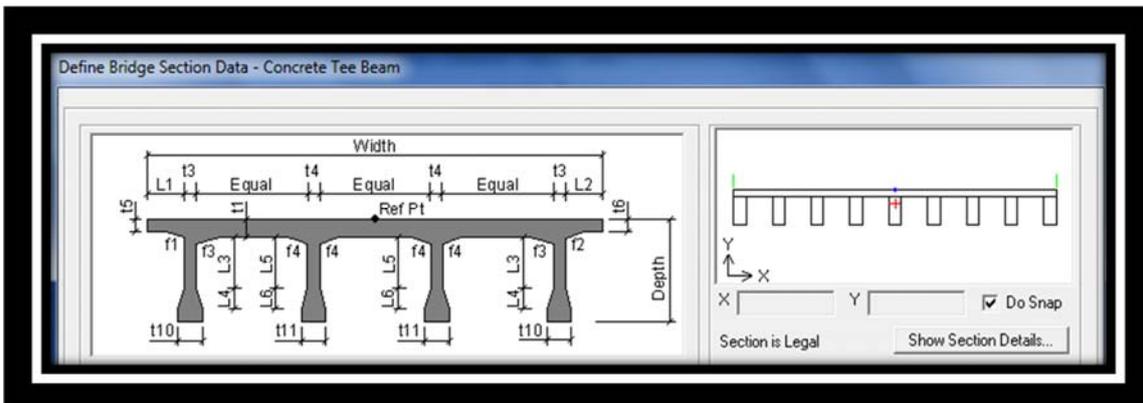


Figura 1.9 Sección transversal del puente.

En la siguiente Tabla 1.2 Aspectos esenciales que diferencian cada modelo:

Modelos	Dim. Peralto de la viga (cm)	Dim. De la prelosa (cm)	Dim. de la losa (cm)
Modelo 1 (no continuo)	65	8	10
Modelo 2 (continuo)	65	12	15

Tabla 1.2 Aspectos esenciales que diferencian cada modelo.

Al obtener los resultados del análisis de cada modelo se puede observar como los resultados de las acciones actuantes aplicadas a ambos modelos reflejan un comportamiento diferente en cuanto resistencia principalmente, la tabla siguiente refleja los resultados:

	Modelo 1 (no continuo)		Modelo 2 (continuo)	
	Valores máximos.(kN-m)	Valores mínimos.(kN-m)	Valores máximos.(kN-m)	Valores mínimos.(kN-m)
Axial (P).	10,5997	-49,3663	5,3438	-14,4065
Cortante vertical (V2).	484,1662	-484,1662	504,2711	-504,2711
Cortante horizontal (V3).	17,3883	-17,3883	52,8229	-52,8229
Torsión (T).	531,0215	-531,0215	539,6251	-539,6251
Momento vertical (M2).	133,6056	-133,6056	728,6716	-728,6716
Momento horizontal (M3).	1586,3774	-179,0789	1204,9767	-876,1391

Tabla 1.3 Referente a las comparaciones entre los modelos 1 y 2 ante las distintas acciones afectan la estructura.

La capacidad de respuesta por parte del modelo 2 realmente es significativa, como los resultados lo demuestran, con este modelo se obtiene mejores prestaciones y una adecuada respuesta estructural por parte del puente. El modelo 2 logra una mejor distribución de los momentos en la superestructura, logrando una disminución del refuerzo positivo en la parte inferior de la estructura equilibrándolo con el refuerzo negativo en la parte superior de la superestructura, si es cierto que el puente continuo requiere un mayor volumen de acero esto se compensa con una serie de ventajas significativas que concluyen en una mayor capacidad de respuesta de esta tipología de puentes ante los puentes no continuos. Por tanto el criterio mejor de diseño avalado por toda una serie de investigaciones para un puente continuo es diseñar con el momento isostático total y el momento negativo con las cargas móviles y el aporte se deduce que como principio se eliminarán las juntas intermedias, se logra una distribución de tensiones más óptima, y por ende se logra optimizar el diseño estructural. Ver figura 3.9 a continuación:

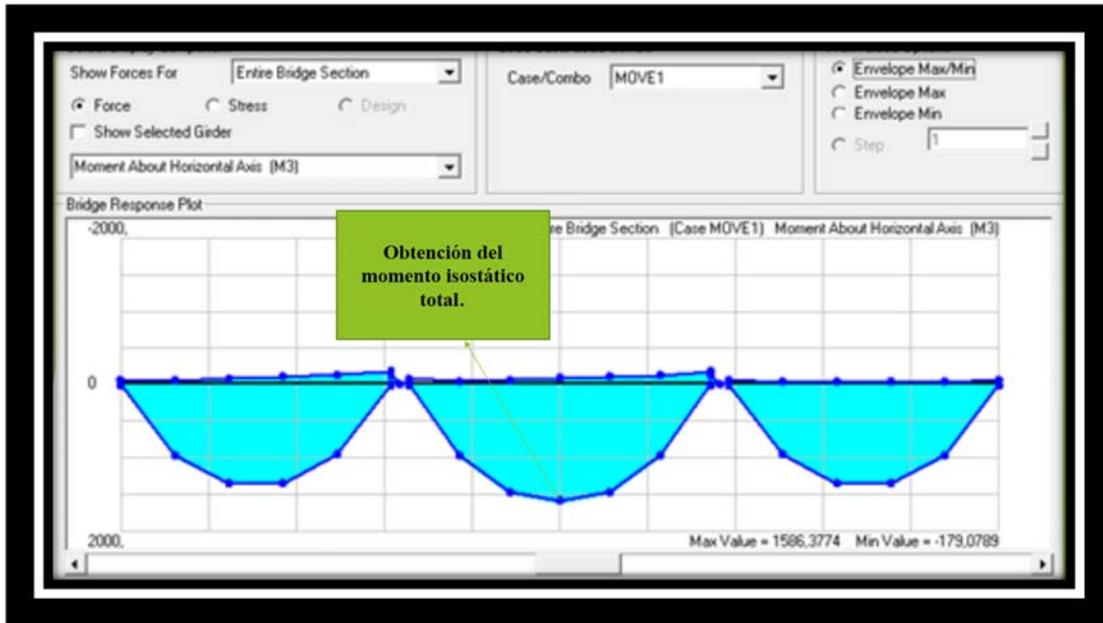


Figura 1.10 Obtención del momento isostático para el diseño óptimo de la estructura.

Tabular Data for: BOBJ1 - Entire Bridge Section (Case MOVE1) Moment About Horizontal Axis (M3)

	Distance m	M3 KN-m	
1	0,00000	12,8660	-63,0858085360183
2	2,70856	965,7980	-52,9650251106874
3	2,70856	965,7980	-52,9650251106912
4	5,41712	1351,5752	-78,9967319962481
5	5,41712	1351,5752	-78,9967319962444
6	8,12568	1351,8641	-105,028438882039
7	8,12568	1351,8641	-105,02843888204
8	10,83424	960,7404	-131,060145768011
9	10,83424	960,7404	-131,060145768024
10	13,54280	12,8660	-178,65520701518
11	13,54280	1,776E-11	-130,158534297607
12	14,00000	4,563E-12	55255963869772E-
13	14,00000	3,827E-12	33809466134851E-
14	14,45720	1,166E-11	63629264424549E-
15	14,45720	11,0677	-72,270218311743E
16	16,97147	971,2262	-38,366181553202E
17	16,97147	971,2262	-38,366181553202E
18	19,48573	1469,1758	-60,059270609674E
19	19,48573	1469,1758	-60,059270609675E
20	22,00000	1586,3774	-81,7523596662321
21	22,00000	1586,3774	-81,752359666240E
22	24,51427	1469,1758	-103,44544872287E
23	24,51427	1469,1758	-103,44544872286E
24	27,02853	971,2262	-125,13853777956E
25	27,02853	971,2262	-125,13853777956E

Units: KN, m, C

Tabla 1.4 Valores de Momento (M3) en cada punto del centro de la estructura del modelo 1.

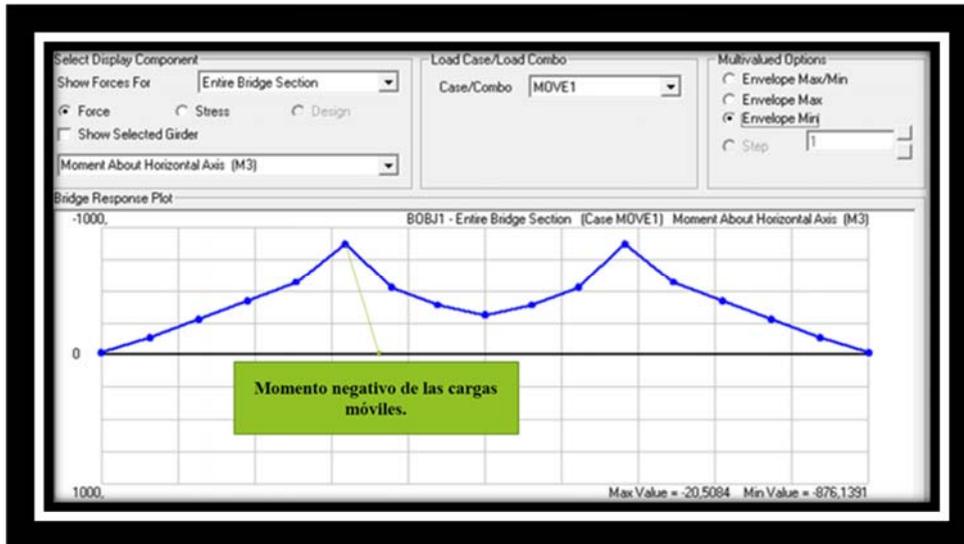


Figura 1.11 Obtención del momento negativo para el diseño óptimo de la estructura.

Tabular Data for: BOBJ1 - Entire Bridge Section (Case MOVE1) Mor			
	Distance	M3	
	m	KN-m	
1	0.00000	-20.5084	-20.5083915532956
2	2.80000	-137.3252	-137.325177380114
3	2.80000	-137.3252	-137.325177380115
4	5.60000	-282.2340	-282.234014678375
5	5.60000	-282.2340	-282.234014678375
6	8.40000	-427.1525	-427.152522828612
7	8.40000	-427.1525	-427.152522828613
8	11.20000	-572.0710	-572.071030978486
9	11.20000	-572.0710	-572.071030978486
10	14.00000	-876.1391	-876.139096885562
11	14.00000	-874.9710	-874.971031156896
12	16.66667	-529.3868	-529.386828152796
13	16.66667	-529.3868	-529.386828152803
14	19.33333	-391.7158	-391.715830861206
15	19.33333	-391.7158	-391.715830861207
16	22.00000	-314.6414	-314.64144679489
17	22.00000	-314.6414	-314.64144679489
18	24.66667	-391.7158	-391.715830867005
19	24.66667	-391.7158	-391.715830867012
20	27.33333	-529.3868	-529.386828160790
21	27.33333	-529.3868	-529.386828160789
22	30.00000	-874.9710	-874.971031157435
23	30.00000	-876.1391	-876.139096880994
24	32.80000	-572.0710	-572.07103098028
25	32.80000	-572.0710	-572.071030980274

Units: KN, m, C

Tabla 1.5 Valores de Momento (M3) en cada punto del centro de la estructura del modelo 2.

CONCLUSIONES

La realización de esta investigación arrojó las siguientes conclusiones:

El análisis del estado de arte concluyó que representa una ventaja la construcción de los puentes continuos, como una solución viable en la reparación de los puentes no continuos perteneciente a la tipificación cubano-soviética debido a la eliminación de las juntas interiores del puente.

Los puentes no continuos del proyecto soviético presentan varias deficiencias de proyecto que pueden corregirse en los existentes y prevenirse en los futuros, convirtiéndolos en puente continuo

al proponer las recomendaciones de como resistir los momentos negativos, originados por la continuidad del puente.

Los resultados de la comparación demuestran las ventajas de reparación de este proyecto típico de puentes, en aras de garantizar su durabilidad.

REFERENCIAS

1. 141, N. (2001). *Bridge Deck Joints*. New York.
2. Leonhardt, F. (2007). conservación de puentes., (pág. 50). Valencia.
3. Miret, E. T. (2005). *Razón y Ser de los tipos estructurales*. Madrid.
4. Ribera, E. (1932). *Puentes de hormigón armado*. España.