

# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL PUENTE NUEVO DE BUEY VACA

MSc. Ing. Alejandro Hernández Hernández<sup>1</sup>, Ing. Reynaldo Giráldez Toledo<sup>2</sup>, Ing. Raiza Domínguez García<sup>3</sup>

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. [alejandro.hdez@umcc.cu](mailto:alejandro.hdez@umcc.cu)
2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. [reynaldo.giraldez@umcc.cu](mailto:reynaldo.giraldez@umcc.cu)
3. Empresa Contratista General de Obras de Varadero ARCOS Calle 12 entre Vía rápida Cárdenas – Varadero y Final, Santa Marta Matanzas, Cuba [rai94@nauta.cu](mailto:rai94@nauta.cu)

## Resumen

La Modelación estructural es el proceso mediante el cual se representa el comportamiento de la estructura lo más real posible. En la ciudad de Matanzas conocida como la “Ciudad de los Puentes” la mayoría de estas estructuras no cuenta con un modelo que nos permita conocer cuál es su estado actual. En este trabajo se presenta el modelo computacional del Puente Nuevo de Buey Vaca ubicado la Vía Matanzas-Varadero. El modelo una vez realizado se somete a distintos escalones de carga donde varían los factores cantidad de vehículos y velocidad de vehículos. En el análisis de los resultados se verifica que la velocidad no influye en los esfuerzos a los que se somete la estructura los cual fueron en todos los casos menores que las cargas que puede resistir el puente actualmente. A pesar de esto, es necesaria una reparación del puente que logre mejorar su estética y su confiabilidad.

*Palabras claves:* Modelación estructura, puentes.

---

## Introducción:

Los puentes de carretera son estructuras fundamentales en el normal desarrollo y desenvolvimiento de las ciudades, muy complejo resulta en ocasiones su construcción debido a diversos factores, pero a veces más complicadas resultan las reparaciones, sobre todo cuando presentan un elevado deterioro producto a la falta de mantenimiento.

No en pocas ocasiones los puentes tienen una vida útil elevada, lo que significa muchas veces que las cargas a las que están sometidas evolucionan en el tiempo, por el propio desarrollo de los medios de transporte o sencillamente cambios en los flujos vehiculares y otros factores; por lo que se hace necesario evaluar su capacidad portante, evidentemente si existiera un modelo computarizado de estas estructuras sería muy sencillo incorporarle los nuevos esquemas de cargas y analizar su efecto, sin embargo en la actualidad en la provincia de Matanzas, conocida como la ciudad de los puentes precisamente por el número elevado de estas estructuras que están presentes en ella no cuenta con modelos computacionales de la mayoría de estas estructuras.

Es por esto que este trabajo busca elaborar un modelo computacional del Puente Nuevo de Buey Vaca, con la utilización del software SAP 2000, a partir del cual sea posible analizar el desempeño y comportamiento estructural de dicho puente.

El proyecto de este puente fue realizado en la década de los 90; en el mismo se contemplaba la ejecución de un puente ubicado en la carretera Matanzas-Canímar para salvar una apertura de 75 m de distancia debido a la topografía del lugar, a las viviendas cercanas y a la existencia de un puente paralelo a este, “el puente viejo”, separando a solo 23 m de eje a eje. (Hernandez. and Dominguez 1990).

Este es un proyecto ejecutado en su totalidad por elementos prefabricados aunque originalmente en el proyecto existían 3 luces de 25 m cada una donde se colocarían vigas isostáticas postensadas de la misma dimensión. Cuando se empezó a ejecutar dicho proyecto se presentaron problemas con el suministro de vainas para pasar los cables de postensionado por lo cual se dificultó la fabricación de dichas vigas y fue necesaria la modificación del proyecto original. (Hernandez. and Dominguez 1990).

El nuevo proyecto contemplaba que al permanecer las mismas condiciones topográficas se colocaría una apertura de 80 m formada por 4 luces de 20 m, con vigas de hormigón armado prefabricadas de la misma dimensión y de sección (0.4x0.85) m.

Finalmente, este proyecto presentaría un puente de carretera que contaba con 4 luces de 20m lo cual suma una apertura de 80m y un ancho de tablero de 12.39m, en cada luz se colocarían 11 vigas isostáticas de hormigón armado de 20m, separadas a 1.2m entre ellas. (Armas 2001)

También forman parte del tablero las losas de hormigón prefabricadas y una losa de hormigón in-situ de 0.10 m de espesor con hormigón de 25 MPa. Además, también existe la proyección de una acera de 0.10 m de espesor y 1.5m de ancho que se elaboró junto con la losa, dicha acera

cuenta con barandas de hormigón in-situ de 0.9m de altura. En el proyecto aparece la colocación de una capa de rodadura de 0.08 m de espesor y la solución para el drenaje fue la utilización de tubos de hierro fundido de 100 mm espaciados a 5 m uno de otros a ambos lados del puente. En los enfoques una vez vertido el relleno de gravilla se colocó las losas de tación de apoyo, las losas interiores, losas exteriores y de enfoque además se colocaron las piezas de brida para la contención del material. (Armas 2001)

La subestructura cuenta con cabezales de 6.40m. En los estribos se colocaron columnas de 2m de altura con sección de (0.5\*0.6) m, mientras que en las pilas las columnas tienen una sección de (0.6\*0.6) m con alturas de 10m en los apoyos 2 y 3 y altura de 6m en el apoyo 4. En los cimientos se utilizaron vasos prefabricados en estribos y pilas menos en el apoyo 2 en el cual se realizó in-situ.

Materiales y métodos.

Geometría: Para la realización del modelo computacional se utiliza el software SAP2000 por ser uno de los más usados en trabajos similares (García, 2016). En este caso se utiliza para cada elemento las correspondientes medidas contempladas en las memorias descriptivas de los proyectos consultados como bibliografía, así como en los planos existentes de los mismos. (Blanco, 2018)

*Tabla1 Dimensiones de las vigas y columnas.*

| <i>Elementos</i>            | <i>Apoyos</i>  | <i>Sección (m)</i> | <i>Longitud</i> |
|-----------------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| <i>Vigas de cabezal</i>     | -              | <i>0.7*0.8</i>     | <i>12</i>       |
| <i>Vigas longitudinales</i> | -              | <i>0.4*0.85</i>    | <i>20</i>       |
| <i>Columnas de estribos</i> | <i>#1 y #5</i> | <i>0.5*0.6</i>     | <i>1.33</i>     |
| <i>Columnas de pilas</i>    | <i>#2</i>      | <i>0.6*0.6</i>     | <i>7.5</i>      |
|                             | <i>#3</i>      |                    | <i>8.0</i>      |
|                             | <i>#4</i>      |                    | <i>5.9</i>      |

Las longitudes de las columnas fueron modeladas tomando como parte inferior de las mismas el suelo hasta su unión con las vigas de cabezal o sea la longitud asumida en el modelo es sólo la visible, sin tener en cuenta la zona cubierta por el terreno.

Todos los apoyos del suelo se asumieron como empotramientos teniendo en cuenta su cimentación (Bermúdez, 2017), mientras que los vínculos superiores según los propios datos del proyecto se tomaron como simple apoyo, es decir las vigas longitudinales que sostienen el tablero descansan simplemente apoyadas sobre los pórticos formados por 3 columnas y vigas de cabezal, abarcando 2 luces de 4.2m cada una.

Materiales: Anteriormente fue definido en la descripción del proyecto como material utilizado para la elaboración de los elementos del puente un hormigón armado con una resistencia a

compresión de 25 MPa y acero A-30 siendo este el que se define en el Catálogo de Elementos prefabricados y los planos del proyecto, estos mismo fueron tomados para la concepción del modelo. (Castañeda, 2018)

Cargas accidentales móviles: para estas cargas en los puentes de autopistas, carreteras y los urbanos se debe realizar el diseño con los vehículos MS-32 y NK-80 (NC733 2009); teniendo en cuenta las características del puente en cuestión y considerando que no tiene fines militares a menos que se presente una situación excepcional es razonable emplear para su análisis de cargas el vehículo MS-32.

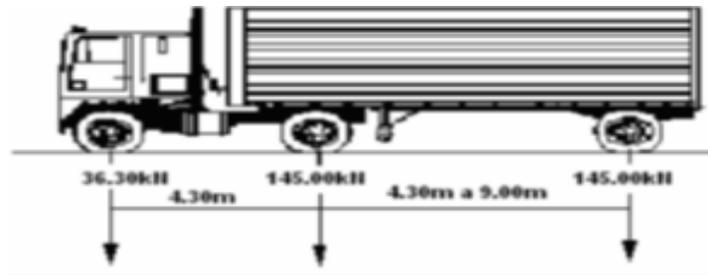
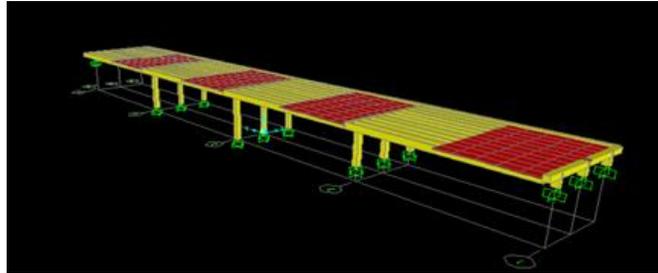


Figura 1 Dimensiones longitudinales del Vehículo MS-32 (NC733 2009)

Tabla 2 Características del vehículo de diseño MS-32 (Simanca, 2017)

| NO.   | Características principales   | Unidad de medida | MS-32                     |
|---|---|------------------|---------------------------|
| 1   | Peso del vehículo   | KN               | 326.30                    |
| 2   | Peso por eje<br>Eje delantero<br>Eje tandem intermedio<br>Eje tandem trasero. | KN<br>KN<br>KN   | 36.30<br>145.00<br>145.00 |
| 3   | Ancho del neumático<br>Delantero<br>Trasero                                   | m<br>m           | 0.25<br>0.50              |
| 4   | Longitud del área de contacto del neumático con el pavimento.                 | m                | 0.20                      |
| 5   | Distancia entre ejes<br>Delantero- intermedio<br>Intermedio- trasero          | m<br>m           | 4.30<br>Variable          |
| 6   | Ancho nominal del vehículo  | m                | 3.00                      |
| 7   | Distancia entre ejes de ruedas transversalmente                               | m                | 1.80                      |
| NOTA: se considera un camión tractor con semirremolque. |   |                  |                           |

A partir de la recopilación de todos los datos mostrados anteriormente los cuales son introducidos en el software SAP 2000 se realiza una modelación del puente y se observa el comportamiento del mismo ante las condiciones y cargas que se le imponen.



*Figura 2 Modelo del puente Buey Vaca en el software SAP2000.*

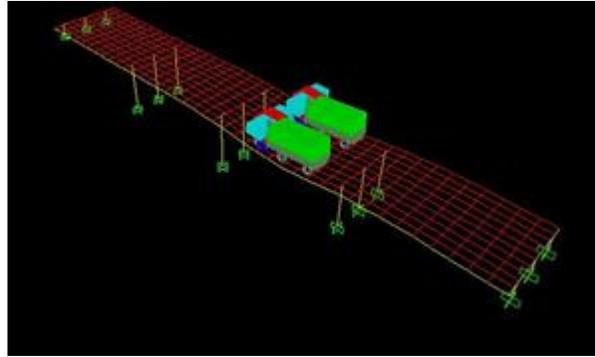
Estados de carga: Para el análisis de cargas se elaboraron varios modelos en los que se somete al puente a distintos esfuerzos de la carga móvil, en ellos se varía las posiciones, cantidades y velocidades de los vehículos. Estos modelos tienen cuatro variantes en las cuales se muestran a los vehículos a diferentes velocidades. Son incluidas además las cargas permanentes actuantes en la estructura (NC283-2003).

Tabla de velocidades para la serie de modelos tomando como velocidad máxima 70 Km/h:

*Tabla 3 Velocidades de los vehículos MS-32 en el modelo*

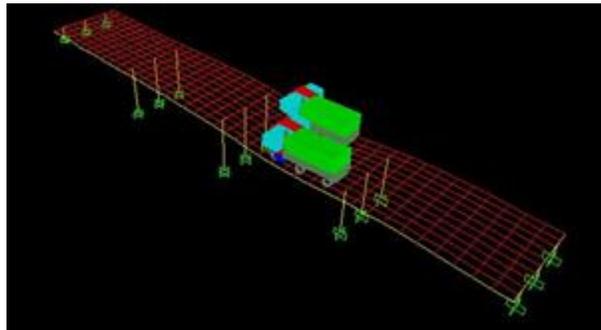
| No. de Modelo | %   | Velocidad (km/h) |
|---------------|-----|------------------|
| 1             | 25  | 17.5             |
| 2             | 50  | 35               |
| 3             | 75  | 52.5             |
| 4             | 100 | 70               |

1era serie de modelos: El primer modelo concebido proyecta dos vehículos de diseño que se trasladan sobre el puente por carriles distintos pero en igual dirección, velocidad y posición en función del tiempo.



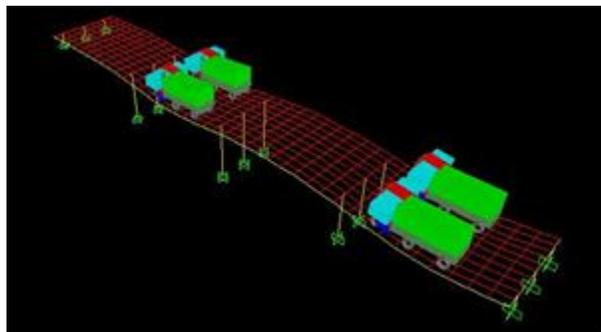
*Figura 3 Primera serie de modelos de cargas móviles. SAP2000.*

2da serie de modelos: Luego fueron elaborados otra serie de modelos en los que se observa los mismos vehículos mostrados anteriormente pero esta vez ocupando una posición distinta sobre el puente aunque mantienen la misma velocidad entre ellos.



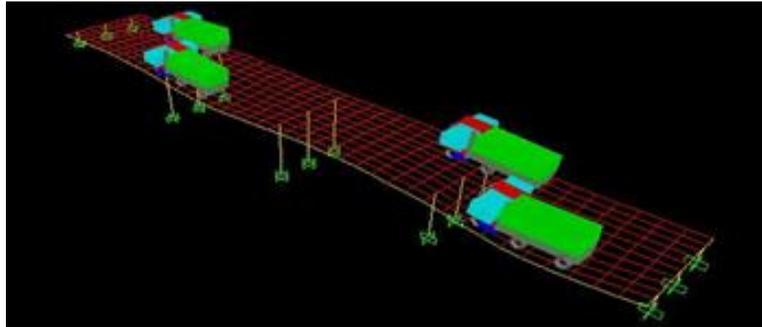
*Figura 4 Segunda serie de modelos de cargas móviles. SAP2000*

3ra serie de modelos: En esta se muestran dos pares de vehículos trasladándose en la misma dirección y a una misma velocidad. Al igual que en los modelos anteriores se realizan una serie de cambios en las velocidades de los mismos, dichas velocidades ya fueron establecidas anteriormente.



*Figura 5 Tercera serie de modelos de cargas móviles. SAP2000.*

4ta serie de modelos: Por último, se realizó una serie de modelos donde se muestran los cuatro vehículos anteriores transitando a la misma velocidad entre ellos pero con posiciones diferentes. Así mismo la serie se desarrolla a partir de la variación de las velocidades en cada modelo con los valores ya establecidos.



*Figura 6 Cuarta serie de modelos de cargas móviles. SAP2000*

## Resultados

### Deformación.

Al analizar el resultado de los diagramas de Deformaciones en los modelos computacionales como resultado de los diferentes escalones de carga a los que fue sometida la estructura, es notable la similitud existente a simple vista entre los mismos, mostrando una mayor flecha en las vigas de los extremos y ocurriendo las mismas en el segundo 1 y el segundo 10 respectivamente.

A pesar de que en cada uno de los modelos se varía el número de vehículos que transitan por el puente, en cada carril solo puede pasar un vehículo a la vez, o sea, aunque por el puente estén transitando 4 vehículos de diseño en un intervalo de tiempo de 10 seg, solamente uno de ellos provoca la deformación máxima al tiempo que se sitúa en la posición más desfavorable. Al mismo tiempo se observa que la velocidad, al menos en el rango permisible no influye en la deformación.

### Momentos Flectores en Vigas

Los resultados de los Momentos los elementos Vigas y Losa del puente fueron similares a los obtenidos en el análisis de las Deformaciones. A pesar de la variación de número de vehículos y velocidades en cada modelo, los valores de momento para estos elementos fueron los mismos, provocados por encontrarse el vehículo en la posición más desfavorable.

*Tabla 4 Valores de Momentos máximos y mínimos.*

| <i>Elementos</i>                     | <i>Momentos positivos</i> | <i>Momentos Negativos</i> |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <i>Vigas longitudinales</i>          | <i>1937.73KNm</i>         | <i>-</i>                  |
| <i>Vigas transversales (cabezas)</i> | <i>299.15KNm</i>          | <i>-722.03KNm</i>         |

En el caso de las losas que componen esta estructura, perfectamente podían obviarse en el modelo pues estructuras similares han demostrado su correcto funcionamiento en otras obras. En este caso la acción de las losas en la estructura real es solo la de transmitir las cargas hacia las vigas longitudinales que son los elementos que verdaderamente aportan la mayor resistencia estructural.

Se decidió incorporar las losas en el modelo numérico para tener en cuenta directamente su aporte en las cargas muertas así como para asignar sobre ella el resto de las cargas, permanentes y móviles, pero los momentos que se generan en ellas son muy bajos, debido a que la longitud entre losas es apenas de 1,2 m, lo cual produce que su demanda sea mucho menor a su capacidad real de carga.

Para conocer si las vigas son capaces de resistir dichos momentos, es necesario calcular los momentos nominales de la sección y compararlos con los actuantes.

*Tabla 5 Comparación de Momentos actuantes y permisibles de las vigas y losa.*

| <i>Elementos</i>           | <i>Momentos (KNm)</i> |                  |
|----------------------------|-----------------------|------------------|
|                            | <i>Actuantes</i>      | <i>Nominales</i> |
| <i>Vigas Transversales</i> | <i>722.03</i>         | <i>1 134.305</i> |
| <i>Vigas Long.</i>         | <i>1937.73</i>        | <i>2 052.6</i>   |

Como se puede observar en cada uno de los análisis de los elementos que se tuvieron en cuenta la capacidad nominal de estos está ampliamente por encima de la demanda estructural que producen las cargas. Esto garantiza el correcto funcionamiento del puente e incluso permitiría un incremento de carga, no sin antes analizar cuál sería el límite superior de carga que puede aplicarse. En el caso de las vigas transversales están trabajando a un 64% de su capacidad máxima y las vigas longitudinales a un 94% de las mismas.

Momento flector y Fuerza Axial en las columnas.

Para cada columna de las pilas y los estribos existe un valor correspondiente de Momentos y Axial el cual no presenta variación entre cada modelo.

Tabla 6 Momentos y Axial de las  
Columnas de las Pilas

| No. columnas | Axial    | M3       |
|--------------|----------|----------|
| 4            | -3909.49 | 45.5581  |
| 4            | -3909.49 | -92.636  |
| 5            | -3754.34 | 0        |
| 6            | -3909.49 | 92.636   |
| 6            | -3909.49 | -45.5581 |
| 7            | -3965.14 | 49.0853  |
| 7            | -3965.14 | -99.7734 |
| 8            | -3803.91 | 0        |
| 9            | -3965.14 | 99.7734  |
| 9            | -3965.14 | -49.0853 |
| 10           | -3901.12 | 54.5046  |
| 10           | -3901.12 | -112.196 |
| 11           | -3756.36 | 0        |
| 12           | -3901.12 | 112.1957 |
| 12           | -3901.12 | -54.0853 |

Tabla 7 Momento y Axial de las  
Columnas de los estribos.

| No. columnas | Axial    | M3       |
|--------------|----------|----------|
| 1            | -1908.22 | 37.41    |
| 1            | 1908.22  | -88.65   |
| 2            | 1836.547 | 0        |
| 3            | -1908.22 | 88.65    |
| 3            | -1908.22 | -37.41   |
| 13           | -1909.8  | 37.466   |
| 13           | -1909.8  | -88.7746 |
| 14           | -1837.7  | 0        |
| 15           | -1909.8  | 88.7746  |
| 15           | -1909.8  | -37.466  |

A continuación se muestran los valores de las combinaciones más críticas que pueden resistir las columnas de los estribos y las pilas respectivamente según sus características. Estos valores deben ser comparados con los valores que actúan realmente sobre la estructura para comprobar que puede resistir las fuerzas que actualmente actúan sobre el puente.

Tabla 8 Combinaciones de valores de Momento y Axial para las columnas.

| Estribos |          | Pilas    |          |
|----------|----------|----------|----------|
| Axial    | M3       | Axial    | M3       |
| -10047.6 | 0        | -5918.81 | 0        |
| -9271.94 | 531.2719 | -5918.81 | 297.8103 |
| -8050.64 | 708.2709 | -5330.44 | 443.001  |
| -6549.04 | 894.6829 | -4484.49 | 564.8594 |
| -4641.77 | 1105.57  | -3543.65 | 662.5136 |
| -2033.17 | 1382.592 | -2457.1  | 747.9027 |
| -989.974 | 1571.887 | -2093.7  | 838.7119 |
| 1683.976 | 1691.244 | -1344.99 | 904.1726 |
| 3816.92  | 1371.213 | -296.155 | 729.6704 |
| 8298.99  | 550.1814 | 1138.389 | 404.5612 |
| 11169.51 | 0        | 2757.725 | 0        |

Con los resultados obtenidos se elabora el diagrama de interacción de las columnas, junto con las combinaciones de cargas más desfavorables anteriormente expuestas para de esta manera demostrar su capacidad resistente.

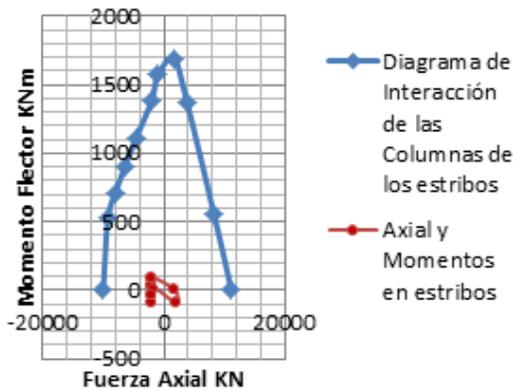


Figura 8 Diagrama de Interacción de las columnas de los Estribos

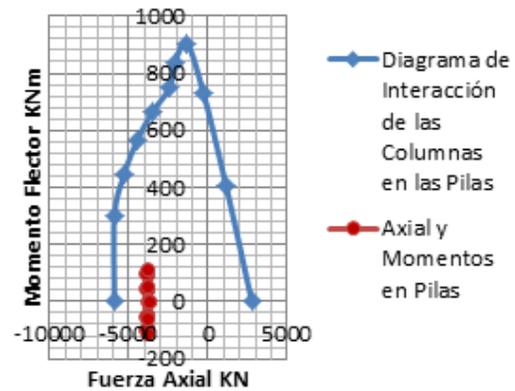


Figura 9 Diagrama de Interacción de las columnas de las Pilas

## Conclusiones

La modelación estructural es el proceso mediante el cual se representa la conducta real de la estructura, es donde se trata de definir las dimensiones de los componentes estructurales con una precisión adecuada. Para realizar el análisis general de un puente es necesario modelar sus elementos independientes. En el caso del Puente Nuevo de Buey Vaca se analiza teniendo en cuenta los elementos que componen el pórtico de la subestructura tales como columnas, vigas cabezales y vigas longitudinales además de la losa del tablero. El puente Nuevo de Buey Vaca requiere actualmente acciones de mantenimiento solamente, no intervenciones constructivas que interesen su capacidad estructural. La velocidad de los vehículos que transitan por el Puente Nuevo de Buey Vaca no influye en los valores de Momento que dicha carga pueda aportarle a la estructura, así como tampoco en la deformación que provoca. Al menos esto ocurre así en el rango de la velocidad permisible, o sea velocidades menores a 70KM/h. Los elementos por los que está compuesta la estructura no debe presentar dificultades para soportar las cargas a las que está sometida actualmente ya que los valores de las cargas permisibles son mayores que las actuantes.

## Bibliografía

- ARMAS, N. d. and L. R. GLEZ. Proyecto de Reparación del Puente Buey Vaca Nuevo. 2001.
- BARREDA, D. B. Comparación entre análisis en estructuras regulares apoyados en la NC46-2017. 2018.
- BERMÚDEZ, A. M. Análisis del comportamiento tenso- deformacional de los aproches del puente del viaducto de matanzas, mediante métodos numéricos. 2017.
- CASTANEDA, C. Y. V. Modelación numérica de base para maquinaria tipo cuchilla del central mario muñoz. 2018.
- GARCÍA, I. J. Modelación numérica de pisos industriales en concreto rígido, Universidad de Matanzas sede Camilo Cienfuegos. 2016.
- HERNÁNDEZ., P. and L. DOMÍNGUEZ. Proyecto Puente Buey Vaca. 1990.
- NC283 (2003). Densidad de Materiales Naturales, Artificiales y de Elementos de Construcción como carga de Diseño.
- NC733 (2009). Carreteras. Puentes y Alcantarillas. Requisitos de diseño y Métodos de cálculo. Cuba.
- SIMANCA, E. G. Evaluación de la capacidad de servicio de los puentes de carretera. 2017.